

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Air adalah sumber kehidupan bagi makhluk hidup. Dalam semua aspek kehidupan, air merupakan komponen yang mutlak harus tersedia baik sebagai komponen utama maupun sebagai komponen pendukung. Usaha pemenuhan kebutuhan air dalam kehidupan sehari – hari dapat dilakukan dengan memanfaatkan kondisi alam dan hukum dasar fisika ataupun dengan memanfaatkan peralatan mekanis hasil karya manusia.

Letak suatu daerah pedesaan yang berada di pedalaman hingga saat ini mendapat pasokan listrik yang terbatas, baik dari pemerintah maupun swasta. Bahkan banyak pedesaan yang sama sekali tidak dapat menikmati hal tersebut. Akibatnya masyarakat merasa kesulitan untuk melakukan berbagai aktifitas. Salah satu aktifitas yang sulit dirasakan masyarakat adalah untuk mengangkat air dari permukaan rendah ke permukaan yang lebih tinggi. Karena itu diperlukan suatu pompa yang didesain, dirancang dan dibuat yang diperkirakan mampu untuk mengangkat air dari permukaan yang lebih rendah ke permukaan yang lebih tinggi tanpa energi listrik dan bahan bakar.

Pompa tersebut dinamakan **pompa Hydram**, Pompa *Hydraulic Ram pump* (Hydram) adalah sebuah pompa yang tidak memerlukan energi luar sebagai sumber tenaga penggerak utama. Pompa hidram bekerja berdasar prinsip palu air. Ketika air dihentikan secara tiba-tiba, maka perubahan momentum massa fluida tersebut akan meningkatkan tekanan secara tiba – tiba pula. Peningkatan tekanan fluida ini digunakan untuk mengangkat sebagian fluida tersebut ke tempat yang lebih tinggi (Suarda dan Wirawan, 2008). Selain tidak memerlukan energi luar sebagai sumber tenaga penggerak utama, pompa hidram juga memiliki kelebihan lain, yaitu:

- Konstruksinya sederhana
- Tidak memerlukan pelumasan
- Dapat bekerja kontinyu selama 24 jam tanpa berhenti

- Efisiensi tinggi dan tidak menimbulkan kebisingan
- Pengoperasiannya mudah
- Biaya pembuatan dan perawatan murah

1.2. Rumusan Masalah

Dari latar belakang masalah di atas, maka dapat dituliskan perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana merancang/menginstalansi pompa hydram yang mampu mengangkat air ke ketinggian 6 m
2. Bagaimana performa dan efisiensi pompa hydram dalam menaikkan air dari sumber mata air ke ketinggian 6 m
3. Bagaimana peran pompa hydram dalam memenuhi kebutuhan air tanpa energi listrik atau bahan bakar

1.3. Batasan Masalah

Untuk memfokuskan penelitian ini sehingga didapat hasil penelitian yang dapat dipertanggung jawabkan, penelitian ini dibatasi agar tujuan dan sasaran dapat tercapai.

Adapun pembatasan masalah tersebut sebagai berikut :

1. Pompa yang digunakan adalah pompa buatan sendiri yang didesain untuk penelitian ini.
2. Pompa yang digunakan menggunakan pipa pvc (*Polivinil klorida*)
3. Pipa hantar (*delivery pipe*) yang digunakan berdiameter 1”.
4. Ukuran pada klep buang (*waste valve*) berdasarkan pipa masukan (*drive pipe*) yaitu berdiameter 2”.
5. Tinggi sumber air yang digunakan 1 meter.
6. Panjang pipa masukan yang digunakan 10 meter.
7. Pengukuran tekanan air menggunakan manometer yang diletakan pada pipa masuk (*drive pipe*) dan pipa hantar (*delivery pipe*)

8. Pengambilan data dilakukan pada saat pompa beroperasi. Data-data lain yang diperlukan dalam perencanaan dan analisa diambil dari literatur relevan yang sesuai.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah

1. Untuk mengangkat air dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi.
2. Untuk mengetahui dan mampu merancang bangun pompa dengan prinsip hidraulik tanpa listrik dan BBM.
3. Mengetahui besar efisiensi pompa hydam dalam menaikkan air

1.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini yaitu :

a. Bagi penulis

Penelitian ini sebagai sarana kreativitas diri, menambah pengetahuan/wawasan, dan dapat mengaplikasikan teori yang didapat selama dibangku kuliah.

b. lainnya

1. Memperkenalkan dan menyebarluaskan penggunaan pompa hydam sebagai teknologi tepat guna yang efektif, efisien, dan ekonomis guna pemenuhan kebutuhan akan air.
2. Mengurangi penggunaan energi fosil dalam bidang penyediaan air bagi kebutuhan masyarakat.
3. Turut berpartisipasi dalam mengurangi efek pemanasan global dengan menggunakan sumber energi yang ramah lingkungan.
4. Membantu kebutuhan masyarakat dengan peralatan yang lebih ekonomis.

5. Memberikan bahan bacaan yang dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut tentang pompa hidram.

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah pembahasan dan pemahaman penelitian ini, maka dibuat sistematika penulisan yang terdiri dari 5 bab, yaitu :

BAB I

PENDAHULUAN

Berisi latar belakang permasalahan, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, sistematika penulisan dari penulisan tugas akhir ini.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Membahas tentang teori, pendukung yang digunakan dalam upaya pembuatan alat. Teori pendukung ini meliputi definisi pompa, definisi pompa hidram (*hydraulic ram pump*), bagian-bagian pompa hidraulik ram pump, Persamaan Energi Pada Pompa Hidram, gejala *water hammer*, rumus pendukung dalam ukuran pembuatan alat, dan beberapa teori pendukung lainnya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Membahas tentang perencanaan dan pembuatan alat secara keseluruhan.

BAB IV

PENGUJIAN ALAT

Berisi tentang uji coba alat yang telah dibuat, pengoperasian dan perhitungan dari data hasil penelitian

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan kesimpulan dari pembahasan pada bab sebelumnya dan saran untuk pengembangan alat.

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa

Pompa sangat berguna sekali untuk membantu manusia memperbaiki hidupnya. Pompa ini banyak digunakan, baik didesa, dikota, demikian juga di sektor industri.

Secara sederhana, pompa dapat di definisikan sebagai pesawat yang dapat memindahkan fluida dari tempat berenergi rendah ke tempat berenergi lebih tinggi (*Wilson pasaribu 1986*)

Berdasarkan cara bekerjanya pompa dapat diklarifikasikan atas dua macam yaitu :

1. Pompa Tekanan Statis (*Displacement Pump*)

Dalam hal ini pompa memperoleh energi secara periodik akibat terjadinya perubahan volume pada sisi masuk dan sisi keluar.

Jenis – jenis pompa ini yaitu:

- a. Pompa Torak (*Reciprocating Pump*)
- b. Pompa Putar (*Rotary Pump*)
- c. Pompa Diafragma (*Diaphragm Pump*)

2. Pompa Dinamik (*Dynamic Pump*)

Pada pompa dinamik penambahan energi ke dalam fluida kerja dilakukan secara kontinyu untuk menaikkan kecepatan fluida disisi hisap. Kemudian dilakukan penurunan kecepatan fluida dibagian sisi keluar pompa untuk mendapatkan energi tekan. Pompa dinamik dapat dibagi menjadi :

- a. Pompa sentrifugal (*centrifugal pump*)

- Pompa aliran radial (*radial flow*)
- Pompa aliran aksial (*axial flow*)
- Pompa aliran campuran (*mixed flow*)

b. Pompa jenis khusus (*special pump*)

- *Jet pump*
- Pompa gas lift (*gas lift pump*)
- Pompa Hydraulic ram pump (*hydram*)

2.2 Hidraulik Ram Pump

2.2.1 Definisi Hidraulik ram Pump

Pompa hidram atau singkatan dari *hidraulic ram* berasal dari kata hidro = air (cairan), dan ram = hantaman, pukulan atau tekanan, sehingga terjemahan bebasnya menjadi tekanan air. Jadi pompa hydram adalah sebuah pompa yang energi atau tenaga penggerakannya berasal dari tekanan atau hantaman air yang masuk kedalam pompa melalui pipa. Masuknya air yang berasal dari berbagai sumber air ke dalam pompa harus berjalan secara kontinyu atau terus menerus. Alat ini sederhana dan efektif digunakan pada kondisi yang sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan untuk operasinya. Dalam kerjanya alat ini, tekanan dinamik yang ditimbulkan memungkinkan air mengalir dari tinggi vertical (head) yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Penggunaan hidraulik ram tidak terbatas hanya pada penyediaan air untuk kebutuhan rumah tangga, tapi juga dapat digunakan untuk pertanian, peternakan, dan perikanan darat. Karena pompa ini bekerja tanpa menggunakan bahan bakar minyak (BBM) atau tanpa motor listrik maka disebut juga “Pompa Air Tanpa Motor “ (*Motorless Water Pump*) dan disingkat PATM (*Didin, Rudy, Mara 2012*)

2.2.2 Benturan air (*water hammer*)

Gejala palu air terjadi karena adanya air dari reservoir dialirkan melalui pipa secara tiba-tiba dihentikan oleh suatu penutupan katup, maka energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik, sehingga serangkaian gelombang tekanan positif dan negatif akan bergerak maju mundur di dalam pipa sampai terhenti akibat gesekan. Pompa hidram bekerja berdasarkan palu air, ketika suatu aliran fluida dalam pipa dihentikan secara tiba-tiba misalnya dengan menutup katup dengan sangat cepat, sehingga akan membentur katup dan menimbulkan tekanan yang melonjak disertai fluktuasi tekanan di sepanjang pipa untuk beberapa saat.

Sebagian gelombang tekanan tersebut akan menjadi arus balik ke arah reservoir dan ini berarti terjadi penurunan tekanan pada sistem pompa sehingga klep penghantar tertutup kembali sedangkan klep limbah membuka kembali. Akibat dari pembebasan gelombang tekanan tersebut kembali lagi arus massa air dari *reservoir* menuju pompa akan menekan naik klep limbah sehingga terjadi penutupan tiba-tiba yang mengakibatkan terjadi proses palu air. Proses yang terjadi berulang-ulang inilah yang mendorong naik air ke pipa penghantar untuk kemudian diteruskan ke bak penampung. (*Didin, Rudy, Mara 2012*)

Watt 1981 berpendapat bahwa pada sistem pemompaan pompa hidram, gejala *water hammer* ini terjadi karena air yang mengalir dalam pipa dengan kecepatan v masuk ke dalam sistem pompa kemudian naik ke klep buang (*waste valve*) sehingga terjadi penutupan tiba-tiba dan menyebabkan timbulnya tekanan yang cukup besar dalam badan pompa.

2.2.3 Sejarah Pompa Hydram

Pompa Hydram pertama kali dibuat oleh John Whitehurst seorang peneliti asal Inggris pada tahun 1772. Pompa Hydram buatan Whitehurst masih berupa Hydram manual, dimana katup limbah masih digerakkan secara manual. Pompa ini pertama kali digunakan untuk menaikkan air sampai ketinggian 4,9

meter (16 kaki). Pada tahun 1783, Whitehurst memasang pompa sejenis ini di Irlandia untuk keperluan air bersih sehari-hari. (deni andriyansyah.2014.)

Pompa Hydrum otomatis pertama kali dibuat oleh seorang ilmuwan Prancis bernama Joseph Michel Montgolfier pada tahun 1796. Desain pompa buatan Montgolfier sudah menggunakan 2 buah katup (*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.

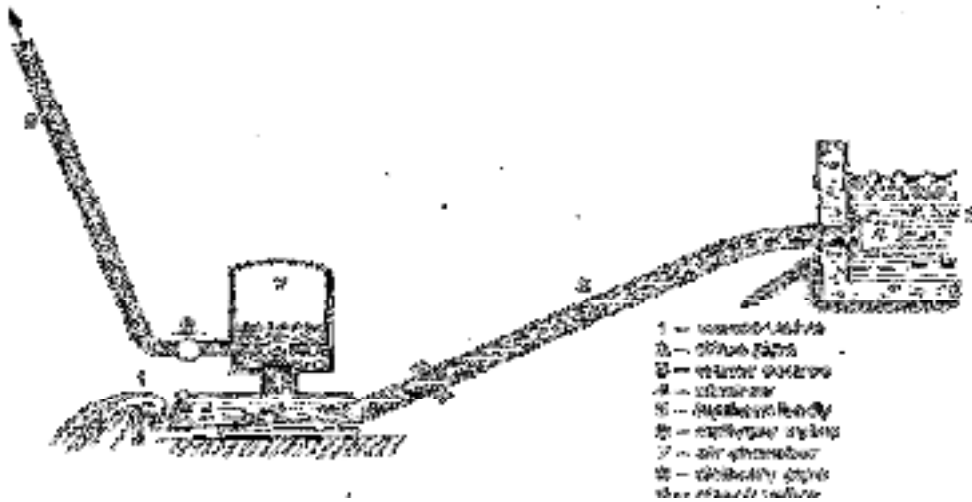
Pada tahun 1820, melalui Easton's Firma yang mengkhususkan usahanya di bidang air dan sistem drainase, Josiah Easton mengembangkan *Hydrum* hingga menjadi usaha ram terbaik dalam penyediaan air bersih untuk keperluan rumah tangga, peternakan dan masyarakat desa. Pada tahun 1929, usaha Eastons ini dibeli oleh Green and Carter, yang kemudian meneruskan manufaktur ram tersebut.

Di Benua Amerika, hak paten *Hydrum* pertama kali di pegang oleh J. Cernau dan SS Hallet, di New York. Pompa tersebut sebagian besar digunakan di daerah pertanian dan peternakan. Periode berikutnya kepopuleran *Hydrum* mulai berkurang, seiring berkembangnya pompa elektrik.

Di kawasan Asia, pompa *Hydrum* mulai dioperasikan di Taj Mahal, Agra, India pada tahun 1900. Pompa *Hydrum* yang di pasang di daerah tersebut adalah Black's *Hydrum* yang dibuat oleh John Black Ltd., sebuah perusahaan asal Inggris. Black's *Hydrum* digunakan untuk memompa air dengan debit 31,5 liter per detik. Selain di Agra, Black's *Hydrum* juga dipasang di daerah Risalpur, Pakistan, pada tahun 1925. Ditempat itu, Black's *Hydrum* berhasil memompa air hingga ketinggian 18,3 m dengan debit mencapai 56,5 Liter/detik.

Pada akhir abad 20, penggunaan pompa *Hydrum* kembali digunakan lagi, karena kebutuhan pembangunan teknologi di negara-negara berkembang, dan juga karena isu konservasi energi dalam mengembangkan perlindungan ozon. Contoh pengembang pompa Hydrum yang baik adalah AID Foundation di Filipina. Pompa Hydrum disana dikembangkan dan digunakan untuk desa-desa terpencil. Oleh sebab itu mereka meraih Penghargaan Ashden. (deni andriyansyah.2014)

2.2.3 Bagian – bagian pompa *hydram*



gambar. 2.1. Pompa Hydram

1. *Waste valve* (Klep Buang)

Katup limbah ini adalah katup yang berfungsi sebagai pengatur laju aliran keluar pompa hydram. Air yang mengalir dari pipa masuk dengan kecepatan tertentu melakukan kerja untuk menaikkan (mengangkat) katup limbah sehingga laluan air pada katup menjadi tertutup.

2. *Drive pipe* (pipa masukan)

Adalah pipa yang berfungsi menghantar air dari water source ke body hydram

3. *Water source* (penampung)

Adalah sebuah penyediaan/penampung air yg digunakan untuk kebutuhan menggerakkan pompa Hydram

4. *Strainer* (saringan)

adalah sebuah alat penyaring yang berada dibagian ujung selang hisap berfungsi untuk menyaring kotoran agar tidak masuk ke badan pompa hidram.

5. *Hydrum body*

Adalah badan dari pompa hidram dimana sebagai tempat dudukan pipa masukan (derive pipe), katup buang (waste valve) dan pipa hantar (delivery valve)

6. *Delivery valve*

Adalah klep masuk harus mempunyai lubang yang besar, sehingga memungkinkan air yang dipompa memasuki ruang udara tanpa hambatan pada aliran. Klep ini dibuat dengan bentuk yang sederhana dan dinamakan klep searah (*non return*). Klep searah (*one direction*) ini yang akan mencegah air yang sudah dipompa untuk kembali ke pompa.

7. *Air Chamber* (ruang udara)

Ruang udara harus dibuat sebesar mungkin untuk memampatkan udara dan menahan tegangan tekanan (*pressure pulse*) dari siklus ram, memungkinkan aliran air secara tetap melalui pipa penghantar dan kehilangan tenaga karena gesekan di perkecil. Jika ruang udara penuh dengan air, ram akan bergetar keras dan dapat mengakibatkan ruang udara pecah.

8. *Delivery pipe* (Pipa penghantar)

Pipa masuk adalah bagian yang sangat penting dari sebuah pompa hidram. Dimensi pipa masuk juga harus diperhitungkan dengan teliti dan terbuat dari bahan yang kuat agar dapat menahan tekanan tinggi yang disebabkan menutupnya katup limbah secara tiba-tiba. Untuk menentukan panjang pipa masuk dapat digunakan beberapa referensi yang telah tersedia berikut ini:

$6H < L < 12H$ (Eropa dan Amerika Utara)

$$L = 900 H / (N^2 * D) \text{ (Rusia)}$$

$$L = 150 < L/D < 1000 \text{ (Calvert)}$$

dengan :

L = panjang pipa masuk

H = head supply

h = head output

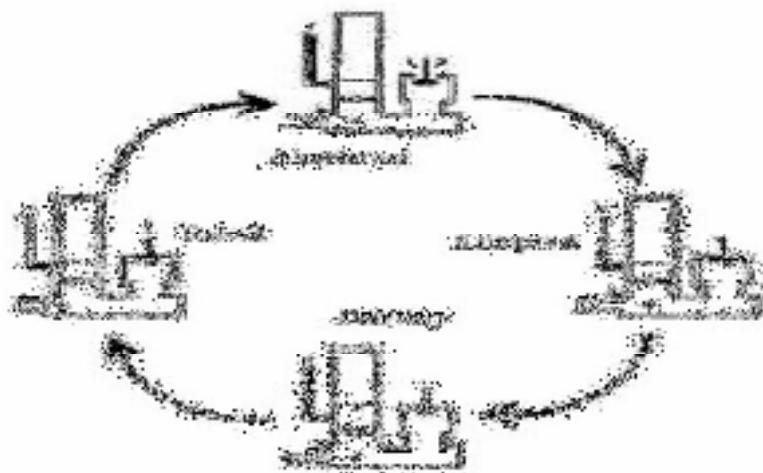
D = diameter pipa masuk

N = jumlah ketukan per menit

Menurut beberapa penelitian yang dilakukan, referensi perhitungan *Calvert* memiliki hasil yang lebih bagus. (Ahmad Nur, 2010)

2.2.4 Cara Kerja Pompa *Hydrum*

Perlu diingat bahwa air dalam jumlah sedikit tetapi dijatuhkan dari ketinggian yang besar mampu mengalirkan air sebanyak air dalam jumlah besar tetapi dijatuhkan dari ketinggian yang kecil sesuai dengan persamaan kesetimbangan energi. Semakin tinggi *head* penyaluran, akan semakin sedikit air yang dipompakan. Pompa *hydrum* bekerja dalam suatu siklus pemompaan yang didasarkan pada posisi katup impulsnya (*impulse valve*). Siklus kerja pompa *hydrum* terbagi dalam empat periode seperti Gambar 2.2 (Taye, 1998).



Gambar 2.2. Siklus kerja pompa *hydrum* (Silvers, 1977)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat hubungan antara kecepatan dengan waktu dalam satu kali siklus *hydram*, mulai dari *recoil*, *akselerasi*, *kompresi* dan *delivery*.

Dalam perhitungan, satu siklus pompa *hydram* dihitung dari saat katup buang terbuka (t_1) hingga saat katup searah tertutup (t_2).



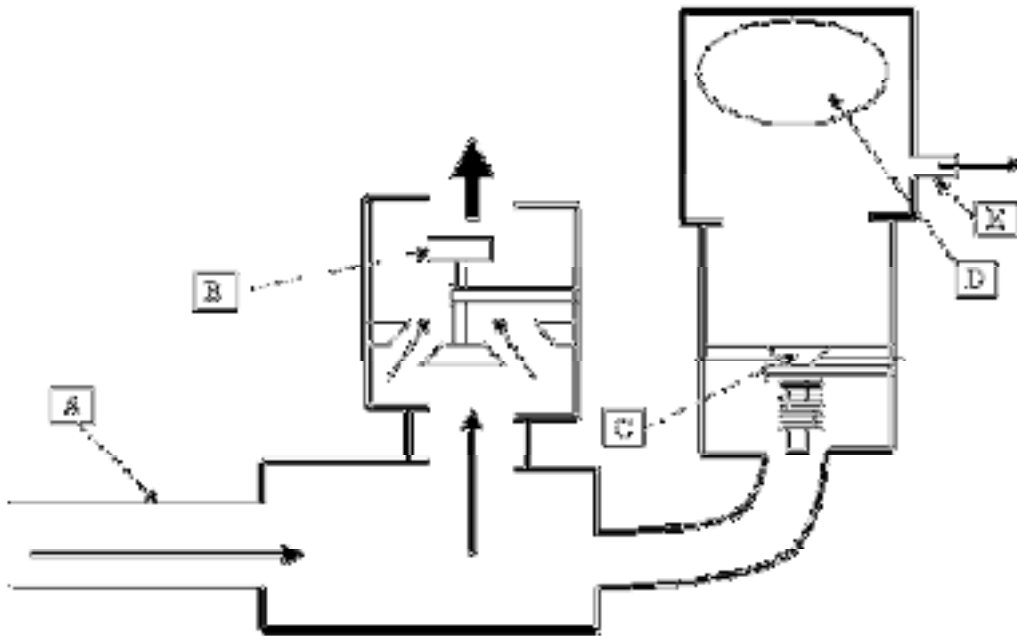
Gambar 2.3. Grafik waktu - kecepatan pada pompa *hydram* (taye 1998)

Perhatikan Gambar 2.3 diatas. Posisi a ke b adalah kondisi *recoil*. Hal ini ditandai dengan kecepatan aliran air yang negatif, yang berarti arah alirannya berlawanan dengan arah aliran semula (arah positif adalah arah aliran air dari *head* sumber ke pompa). Posisi b ke c adalah kondisi *akselerasi*, hal ini ditandai dengan naiknya kecepatan aliran hingga hampir mencapai kecepatan maksimumnya. Posisi c ke d adalah kondisi *kompresi*, Proses *kompresi* berlangsung sangat singkat dimana katup buang tertutup penuh dan timbul hentakan yang menyebabkan tekanan dalam tabung udara meningkat. Posisi d ke c adalah kondisi *delivery*. Tabung udara berfungsi seperti pegas yang melakukan gaya dorong balik yang digunakan untuk memompakan air.

a. Pembalikan (*Recoil*)

Pada tahap *recoil*, tekanan air mulai berkurang. Air mengalir yang telah kehilangan gaya dorong itu akan mengalir balik ke arah pipa suplai. Bersamaan

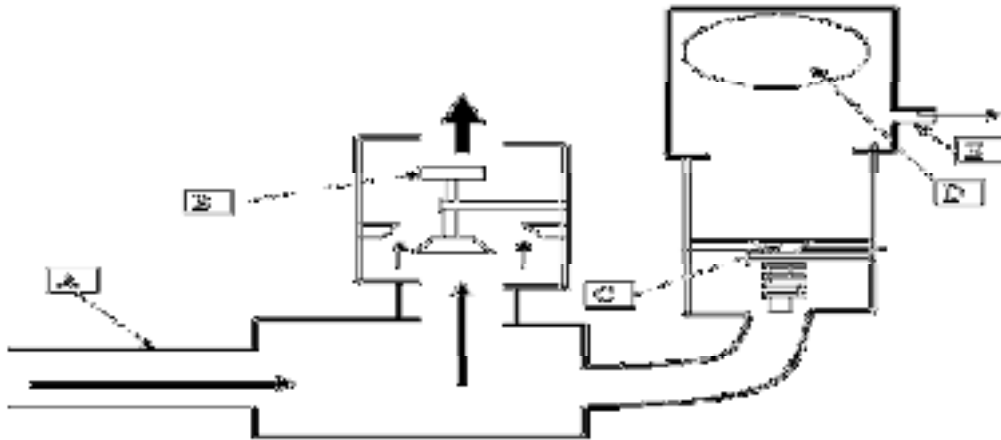
dengan itu, katup buang mulai terbuka kembali karena adanya gaya berat dari katup impuls tersebut.



Gambar 2.4 Skema pompa hidram pada kondisi recoil

b. Akselerasi

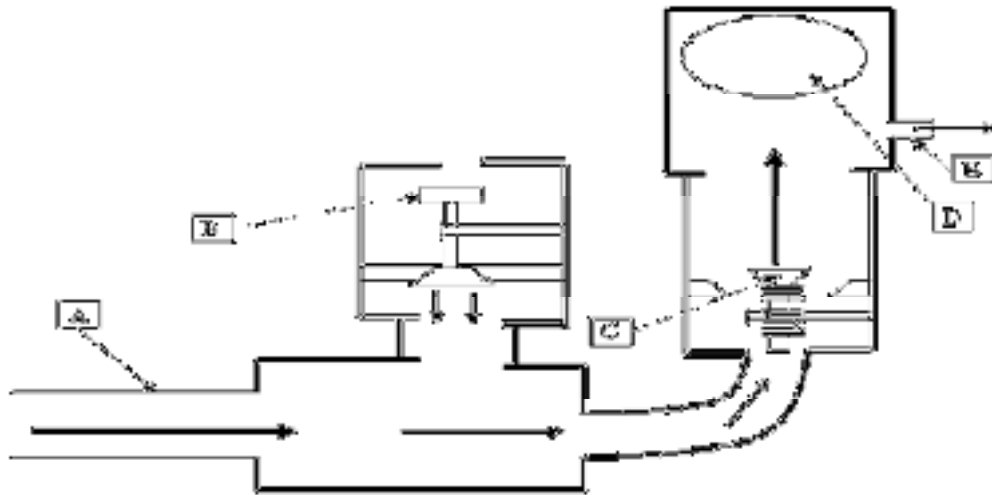
Pada tahap *akselerasi*, air pada pipa suplai mulai mengalir dengan cepat. Dan sebagian air keluar melalui katup buang. Semakin lama tekanan air terus membesar, hingga sampai pada saat dimana tekanan air mulai melebihi berat katup buang, sehingga katup buang mulai terangkat karena gaya dorong air.



Gambar 2.5 Skema pompa hidram pada kondisi *Akselerasi*

c. Kompresi

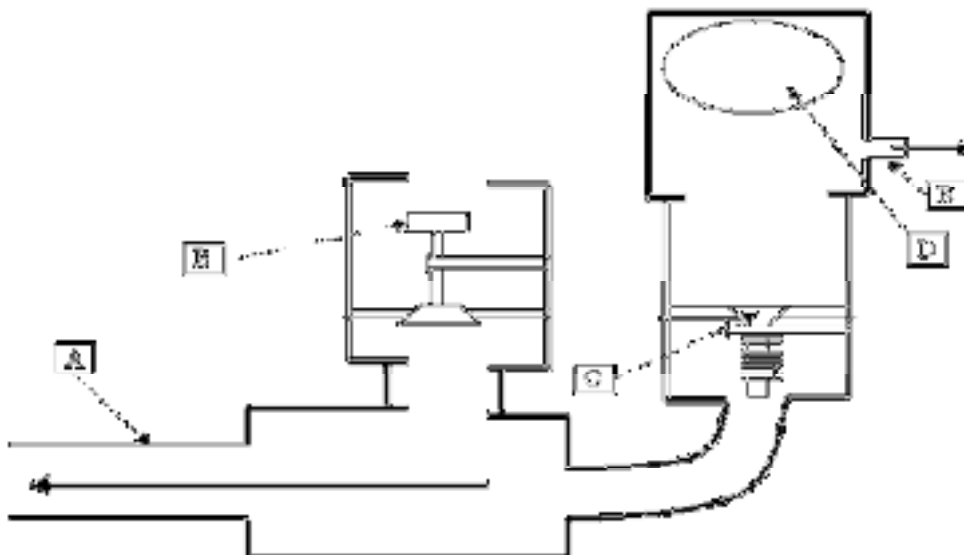
Pada tahap *kompresi*, tekanan air telah menyebabkan katup buang menutup secara sempurna, sehingga aliran air tidak dapat mengalir melalui katup buang. Akibatnya, air hanya mampu mengalir ke arah tabung udara. Air terus mengalir, menekan udara di dalam tabung, hingga saat dimana gaya dorong air tidak lagi mampu menekan udara di dalam tabung. Pada saat itu, air disekitar pompa tiba-tiba berhenti. Partikel air tidak mampu lagi bergerak, baik melalui katup impuls, atau melalui tabung udara. Bersamaan dengan itu, partikel air di pipa suplai masih terus mengalir dengan cepat, sehingga terjadilah tumbukan antara partikel air yang tiba-tiba terhenti dengan partikel air dalam pipa suplai yang masih bergerak cepat. Proses tabrakan itu menghasilkan hentakan yang kembali menekan udara sehingga udara dalam tabung kembali terkompresi.



Gambar 2.6 Skema pompa hidram pada kondisi kompresi

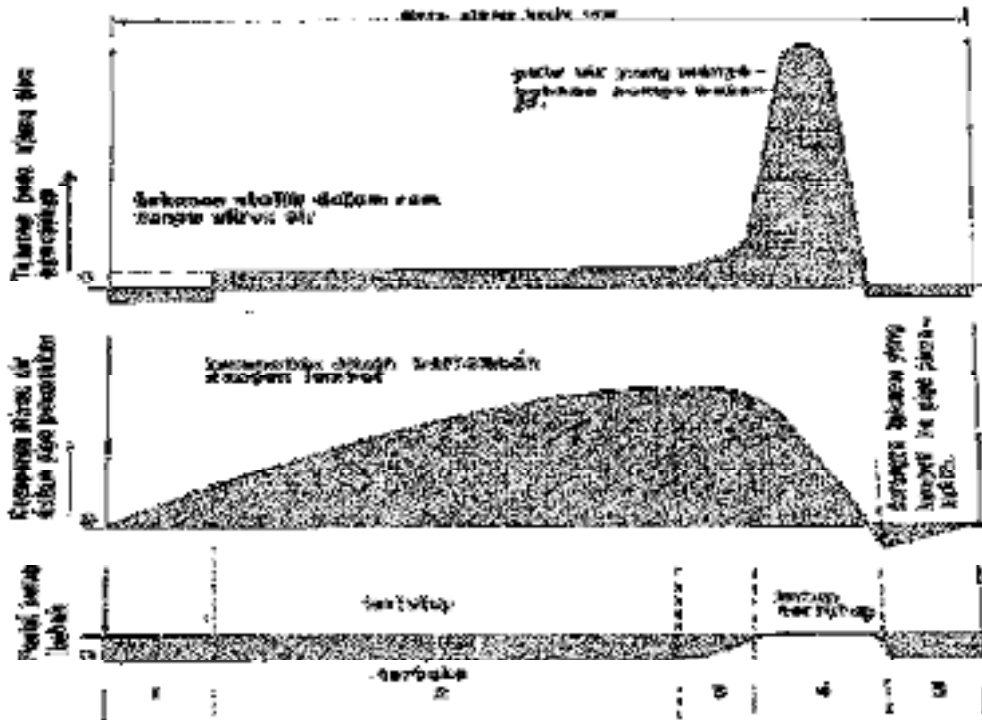
d. Penyaluran (Delivery)

Sesaat setelah terjadinya hentakan, udara akan menekan balik air didalam tabung, mirip seperti pegas. Air yang telah masuk kedalam tabung udara tak bisa lagi balik ke katup buang dan pipa suplai, karena adanya katup searah. Akibatnya, tekanan balik itu akan mendorong air mengalir masuk ke pipa penyaluran (*delivery pipe*).



Gambar 2.7 Skema pompa hidram pada kondisi *delivery*

2.2.5 Diagram satu siklus Pompa *Hydrum*



Gambar 2.8 Diagram satu siklus kerja hidram (watt 1974)

Keterangan gambar 2.8 :

Periode 1 : Akhir siklus yang sebelumnya, kecepatan air melalui ram bertambah, air melalui katup limbah yang sedang terbuka, timbul tekanan negatif yang kecil dalam *hydrum*.

Periode 2 : Aliran bertambah sampai maksimum melalui katup limbah yang terbuka dan tekanan dalam pipa pemasukan juga bertambah secara bertahap.

Periode 3 : Katup limbah mulai menutup dengan demikian menyebabkan naiknya tekanan dalam *hydrum*, kecepatan aliran dalam pipa pemasukan telah mencapai maksimum.

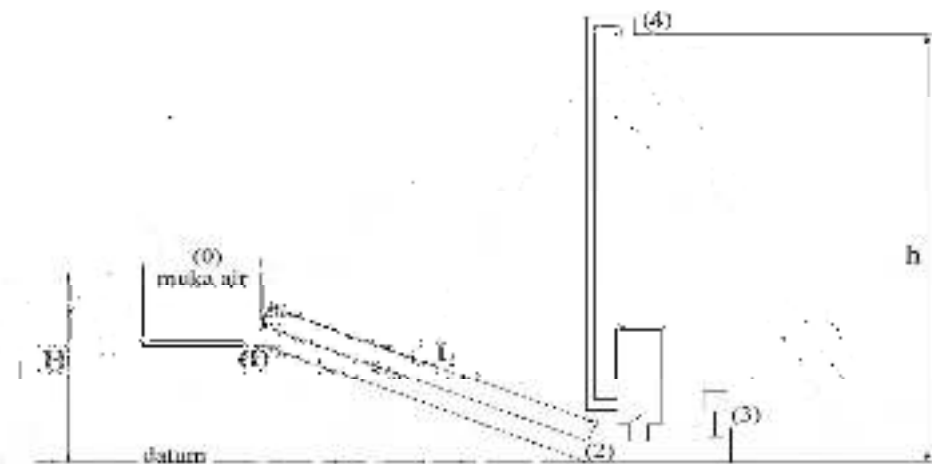
Periode 4 : Katup limbah tertutup, menyebabkan terjadinya palu air (*water hammer*) yang mendorong air melalui katup pengantar. Kecepatan aliran pipa pemasukan berkurang dengan cepat.

Periode 5 : Denyut tekanan terpukul ke dalam pipa pemasukan, menyebabkan timbulnya hisapan kecil dalam hidram. Katup limbah terbuka karena hisapan tersebut dan juga karena beratnya sendiri. Air mulai mengalir lagi melalui katup limbah dan siklus hidram terulang kembali.

2.3 Persamaan Energi Pada Pompa *Hydram*

2.3.1 Energi Yang Dibangkitkan Pada Pompa *Hydram*

Energi yang dibangkitkan (bisa juga disebut energi yang dibutuhkan) pada pompa hidram berasal dari energi fluida itu sendiri. Air yang mengalir melalui pipa masuk dari ketinggian H (ketinggian permukaan air dalam *supply tank*), mengalami percepatan. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.9



Gambar 2.9 Skema instalasi pompa *hydram*

(sumber : Arianta, 2010)

Berdasarkan gambar di atas, dapat dituliskan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$\frac{P_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} + Z_0 - H_f = \frac{P_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} + Z_1 \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

p_0 = tekanan pada titik 0 yaitu tekanan atmosfer [= 0], (N/m^2)

p_3 = tekanan pada titik 3, (N/m^2)

v_0 = kecepatan aliran air pada titik 0 [= 0] karena debit konstan, (m/s)

v_3 = kecepatan aliran air pada titik 3 [= 0] karena aliran air terhenti seiring menutupnya katup limbah, (m/s)

Z_0 = ketinggian titik 0 dari datum, (m)

Z_3 = ketinggian titik 3 [= 0] karena diasumsikan segaris datum, (m)

HL = head losses, (m)

ρ = massa jenis fluida, untuk air = 1000 , (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (= 9,81) ,(m/s^2)

Jika dimasukkan harga – harga yang telah ditentukan, maka persamaan Bernoulli di atas menjadi:

$$H - H_L = \frac{P_3}{\rho g} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan HL atau *Head Loss* terdiri dari *Major Head Loss* dan *Minor Head Loss*. Karena air mengalir dari *supply tank* yang memiliki ketinggian tertentu, maka akan timbul gaya yang disebabkan percepatan yang dialami air, yang besarnya sama dengan hasil kali massa fluida yang mengalir dan percepatan yang dialami fluida (Hukum Newton). Seperti di bawah ini:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

F = gaya fluida yang mengalir, (N)

m = massa fluida yang mengalir, (kg) $m = \rho AL$

a = percepatan fluida yang mengalir, (m/s^2)

$a = dv/dt$

ρ = massa jenis fluida, untuk air = 1000 kg/m^3

A = luas penampang pipa masuk, (m^2)

L = panjang pipa masuk, (m)

Tekanan di titik 3 dapat dicari dengan cara membagi gaya pada titik 3 (gaya akibat percepatan air) dengan luas penampang pipa masuk (A).

$$P_3 = \frac{F}{A} = \rho L \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

karena,

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{L}{g} \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan H_L adalah *head losses* pada pipa, yang besarnya ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$H_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum \left(K \frac{v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

H_L = *head losses*, (m)

F = faktor gesekan bahan pipa masuk

L = panjang pipa masuk, (m)

D = diameter pipa masuk, (m)

K = faktor kontraksi

Untuk menghitung besarnya energi yang dibangkitkan pada pompa hidram, kita tinjau kondisi di masing – masing titik saat awal pengoperasian pompa hidram, dimana pada kondisi demikian air yang masuk ke badan *hydram* langsung keluar melalui katup limbah dengan kecepatan tertentu (v_3), dan tekanan di titik 3, p_3 , akan sama dengan atmosfer (= 0) karena katup limbah dalam keadaan terbuka penuh. Sehingga persamaan Bernoulli akan menjadi:

$$H - H_L = \frac{v_3^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

Kecepatan v_3 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas, dimana harga debit (Q) bernilai konstan (kondisi awal semua fluida yang masuk langsung keluar melalui katup limbah). Sehingga:

$$Q = v_3 \times A_{waste} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

Q = debit air yang keluar melalui katup limbah, (m^3/s)

v_3 = kecepatan air di titik 3 (yang melalui katup limbah), (m/s)

A_{waste} = luas penampang lubang katup limbah, (m^2)

Setelah nilai v_3 didapatkan, maka kita dapat menghitung energi yang dibangkitkan hidram, dengan rumus:

$$E = \frac{1}{2} m v_3^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

E = energi *hydram*, (J)

m = massa fluida yang mengalir, (kg)

= massa fluida yang mengalir melalui pipa masuk

= $LA\rho$

v_3 = kecepatan massa fluida yang mengalir, (m/s)

L = panjang pipa masuk, (m)

A = luas penampang pipa masuk, (m^2)

ρ = massa jenis air, (=1000), (kg/m^3)

2.3.2 Daya Pompa Hidram

Untuk menghitung daya yang dihemat oleh pompa hidram digunakan rumus:

$$P = \rho g Q \square_p \dots\dots\dots (2.10)$$

dimana:

P = daya yang dihemat (W)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = debit limbah (m^3/s)

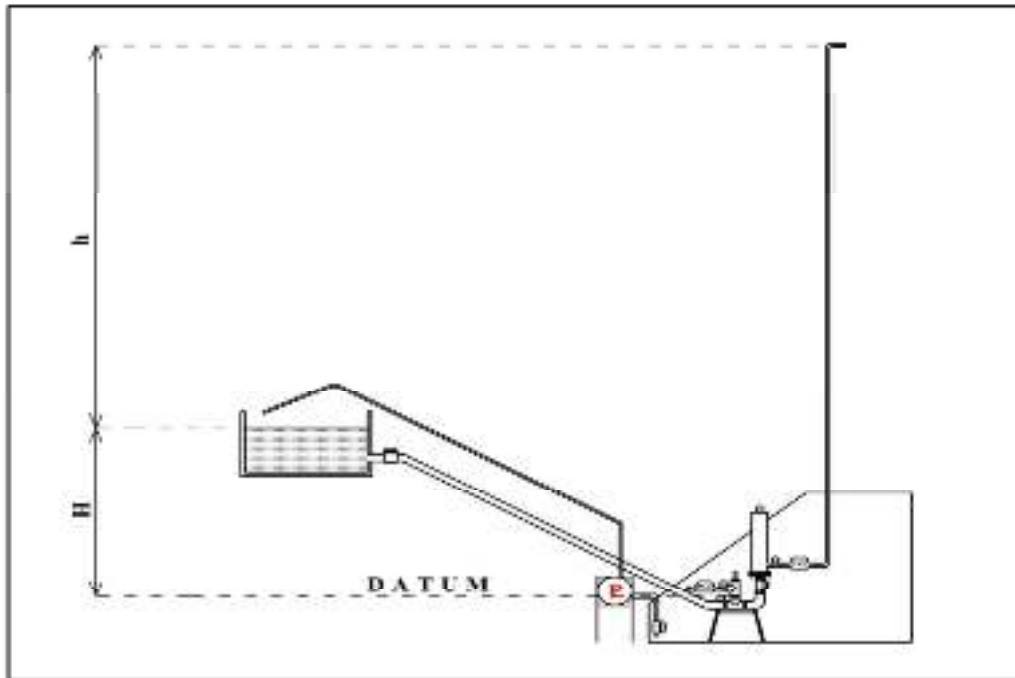
\square_p = *head* pemompaan (m)

2.3.3 Efisiensi Daya Pompa Hidram

Untuk mengetahui efisiensi pompa hidram, dalam penelitian ini digunakan dua persamaan efisiensi yaitu efisiensi D'Aubuisson dan efisiensi Rankine. (Michael and Kheepar,1997).

❖ Menurut D' Aubuisson :

Menurut D' Aubuisson, katup limbah digunakan sebagai datum. Untuk lebih memahami, dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Datum dalam perhitungan efisiensi menurut D'Aubuisson Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_A = \frac{q(H+h)}{(Q+q)H} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

η_A = efisiensi daya pompa hidram menurut D' Aubuisson

q = debit hasil, (m^3/s)

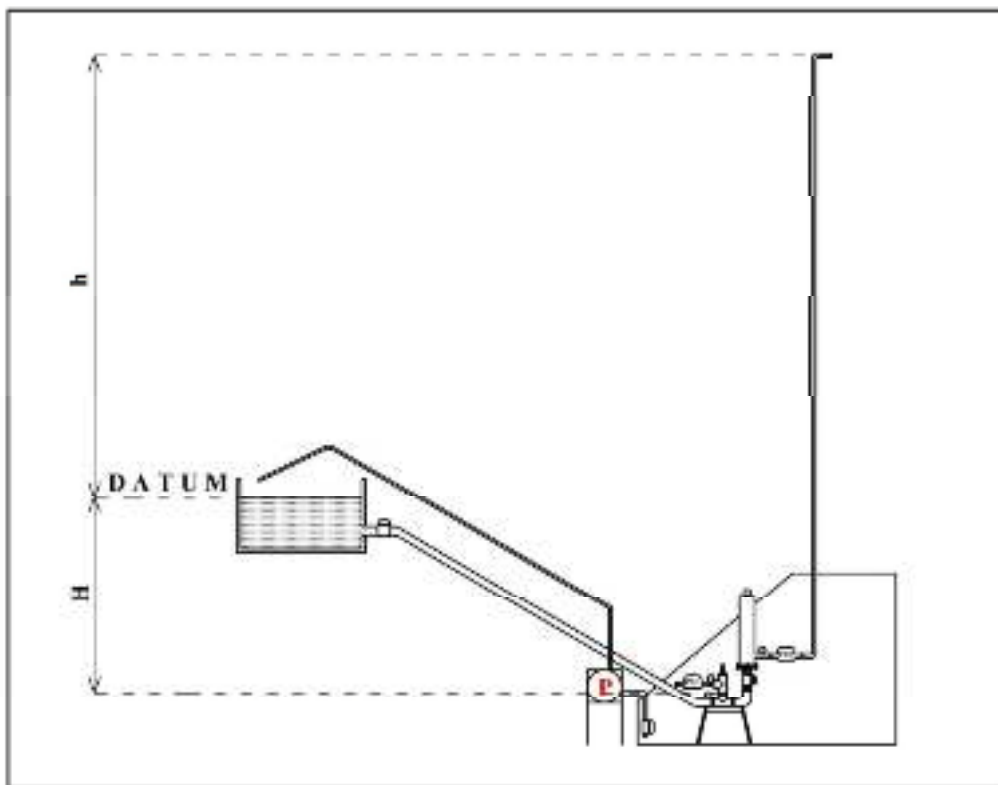
Q = debit limbah, (m^3/s)

$h = \text{head}$ keluar, (m)

$H = \text{head}$ masuk, (m)

❖ Menurut Rankine :

Menurut Rankine, permukaan air pada tangki pemasukan digunakan sebagai datum. Untuk lebih memahami, dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Datum dalam perhitungan efisiensi menurut Rankine Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_R = \frac{qh}{QH} \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

η_R = efisiensi hidram menurut Rankine

q = debit hasil, (m^3/s)

Q = debit limbah, (m^3/s)

$h = \text{head}$ keluar, (m)

$H = \text{head masuk, (m)}$

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pompa

Pompa sangat berguna sekali untuk membantu manusia memperbaiki hidupnya. Pompa ini banyak digunakan, baik didesa, dikota, demikian juga di sektor industri.

Secara sederhana, pompa dapat di definisikan sebagai pesawat yang dapat memindahkan fluida dari tempat berenergi rendah ke tempat berenergi lebih tinggi (*Wilson pasaribu 1986*)

Berdasarkan cara bekerjanya pompa dapat diklarifikasikan atas dua macam yaitu :

1. Pompa Tekanan Statis (*Displacement Pump*)

Dalam hal ini pompa memperoleh energi secara periodik akibat terjadinya perubahan volume pada sisi masuk dan sisi keluar.

Jenis – jenis pompa ini yaitu:

- d. Pompa Torak (*Reciprocating Pump*)
- e. Pompa Putar (*Rotary Pump*)
- f. Pompa Diafragma (*Diaphragm Pump*)

2. Pompa Dinamik (*Dynamic Pump*)

Pada pompa dinamik penambahan energi ke dalam fluida kerja dilakukan secara kontinyu untuk menaikkan kecepatan fluida disisi hisap. Kemudian dilakukan penurunan kecepatan fluida dibagian sisi keluar pompa untuk mendapatkan energi tekan. Pompa dinamik dapat dibagi menjadi :

- a. Pompa sentrifugal (*centrifugal pump*)
 - Pompa aliran radial (*radial flow*)
 - Pompa aliran aksial (*axial flow*)
 - Pompa aliran campuran (*mixed flow*)
- b. Pompa jenis khusus (*special pump*)
 - *Jet pump*
 - Pompa gas lift (*gas lift pump*)
 - Pompa Hydraulic ram pump (*hydram*)

2.2 Hidraulik Ram Pump

2.2.1 Definisi Hidraulik ram Pump

Pompa hidram atau singkatan dari *hidraulic ram* berasal dari kata hidro = air (cairan), dan ram = hantaman, pukulan atau tekanan, sehingga terjemahan bebasnya menjadi tekanan air. Jadi pompa hidram adalah sebuah pompa yang energi atau tenaga penggerakannya berasal dari tekanan atau hantaman air yang masuk kedalam pompa melalui pipa. Masuknya air yang berasal dari berbagai sumber air ke dalam pompa harus berjalan secara kontinyu atau terus menerus. Alat ini sederhana dan efektif digunakan pada kondisi yang sesuai dengan syarat-syarat yang diperlukan untuk operasinya. Dalam kerjanya alat ini, tekanan dinamik yang ditimbulkan memungkinkan air mengalir dari tinggi vertical (head) yang rendah ke tempat yang lebih tinggi. Penggunaan hidraulik ram tidak terbatas hanya pada penyediaan air untuk kebutuhan rumah tangga, tapi juga dapat digunakan untuk pertanian, peternakan, dan perikanan darat. Karena pompa ini bekerja tanpa menggunakan bahan bakar minyak (BBM) atau tanpa motor listrik maka disebut juga “Pompa Air Tanpa Motor” (*Motorless Water Pump*) dan disingkat PATM (Didin, Rudy, Mara 2012)

2.2.2 Benturan air (*water hammer*)

Gejala palu air terjadi karena adanya air dari reservoir dialirkan melalui pipa secara tiba-tiba dihentikan oleh suatu penutupan katup, maka energi potensial akan berubah menjadi energi kinetik, sehingga serangkaian gelombang tekanan positif dan negatif akan bergerak maju mundur di dalam pipa sampai terhenti akibat gesekan. Pompa hidram bekerja berdasarkan palu air, ketika suatu aliran fluida dalam pipa dihentikan secara tiba-tiba misalnya dengan menutup katup dengan sangat cepat, sehingga akan membentur katup dan menimbulkan tekanan yang melonjak disertai fluktuasi tekanan di sepanjang pipa untuk beberapa saat.

Sebagian gelombang tekanan tersebut akan menjadi arus balik ke arah reservoir dan ini berarti terjadi penurunan tekanan pada sistem pompa sehingga

klep penghantar tertutup kembali sedangkan klep limbah membuka kembali. Akibat dari pembebasan gelombang tekanan tersebut kembali lagi arus massa air dari *reservoir* menuju pompa akan menekan naik klep limbah sehingga terjadi penutupan tiba-tiba yang mengakibatkan terjadi proses palu air. Proses yang terjadi berulang-ulang inilah yang mendorong naik air ke pipa penghantar untuk kemudian diteruskan ke bak penampung. (*Didin, Rudy, Mara 2012*)

Watt 1981 berpendapat bahwa pada sistem pemompaan pompa hidram, gejala *water hammer* ini terjadi karena air yang mengalir dalam pipa dengan kecepatan v masuk ke dalam sistem pompa kemudian naik ke klep buang (*waste valve*) sehingga terjadi penutupan tiba tiba dan menyebabkan timbulnya tekanan yang cukup besar dalam badan pompa.

2.2.3 Sejarah Pompa Hydram

Pompa Hydram pertama kali dibuat oleh John Whitehurst seorang peneliti asal Inggris pada tahun 1772. Pompa Hydram buatan Whitehurst masih berupa Hydram manual, dimana katup limbah masih digerakkan secara manual. Pompa ini pertama kali digunakan untuk menaikkan air sampai ketinggian 4,9 meter (16 kaki). Pada tahun 1783, Whitehurst memasang pompa sejenis ini di Irlandia untuk keperluan air bersih sehari-hari. (deni andriyansyah.2014.)

Pompa Hydram otomatis pertama kali dibuat oleh seorang ilmuwan Prancis bernama Joseph Michel Montgolfier pada tahun 1796. Desain pompa buatan Montgolfier sudah menggunakan 2 buah katup (*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 di bidang air dan sistem drainase, Josiah Easton mengembangkan *Hydram* hingga menjadi usaha ram terbaik dalam penyediaan air bersih untuk keperluan rumah

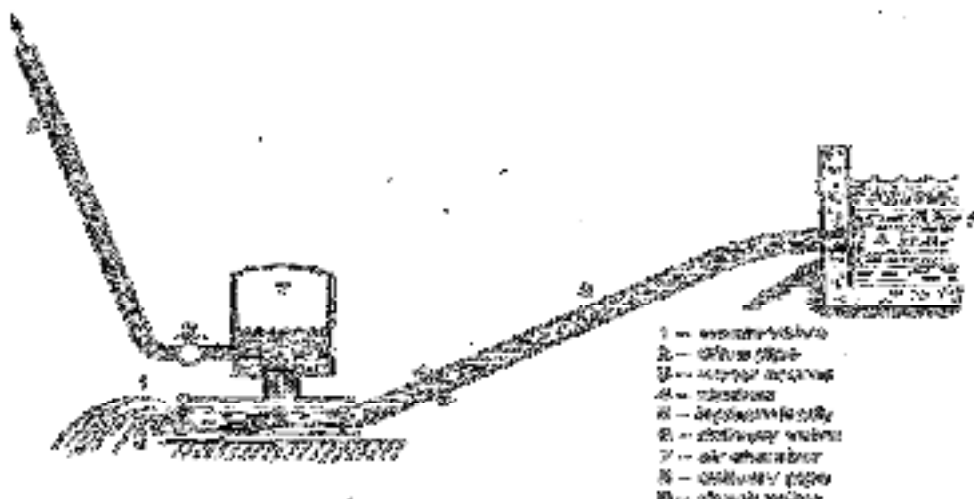
tangga, peternakan dan masyarakat desa. Pada tahun 1929, usaha Eastons ini dibeli oleh Green and Carter, yang kemudian meneruskan manufaktur ram tersebut.

Di Benua Amerika, hak paten *Hydrum* pertama kali di pegang oleh J. Cernau dan SS Hallet, di New York. Pompa tersebut sebagian besar digunakan di daerah pertanian dan peternakan. Periode berikutnya kepopuleran *Hydrum* mulai berkurang, seiring berkembangnya pompa elektrik.

Di kawasan Asia, pompa *Hydrum* mulai dioperasikan di Taj Mahal, Agra, India pada tahun 1900. Pompa *Hydrum* yang di pasang di daerah tersebut adalah Black's *Hydrum* yang dibuat oleh John Black Ltd., sebuah perusahaan asal Inggris. Black's *Hydrum* digunakan untuk memompa air dengan debit 31,5 liter per detik. Selain di Agra, Black's *Hydrum* juga dipasang di daerah Risalpur, Pakistan, pada tahun 1925. Di tempat itu, Black's *Hydrum* berhasil memompa air hingga ketinggian 18,3 m dengan debit mencapai 56,5 Liter/detik.

Pada akhir abad 20, penggunaan pompa *Hydrum* kembali digunakan lagi, karena kebutuhan pembangunan teknologi di negara-negara berkembang, dan juga karena isu konservasi energi dalam mengembangkan perlindungan ozon. Contoh pengembang pompa *Hydrum* yang baik adalah AID Foundation di Filipina. Pompa *Hydrum* disana dikembangkan dan digunakan untuk desa-desa terpencil. Oleh sebab itu mereka meraih Penghargaan Ashden. (deni andriyansyah.2014)

2.2.3 Bagian – bagian pompa *hydrum*



gambar. 2.1. Pompa Hydrum

1. *Waste valve* (Klep Buang)

Katup limbah ini adalah katup yang berfungsi sebagai pengatur laju aliran keluar pompa hydrum. Air yang mengalir dari pipa masuk dengan kecepatan tertentu melakukan kerja untuk menaikkan (mengangkat) katup limbah sehingga laluan air pada katup menjadi tertutup.

2. *Drive pipe* (pipa masukan)

Adalah pipa yang berfungsi menghantar air dari water source ke body hydrum

3. *Water source* (penampung)

Adalah sebuah penyediaan/penampung air yg digunakan untuk kebutuhan menggerakkan pompa Hydrum

4. *Strainer* (saringan)

adalah sebuah alat penyaring yang berada dibagian ujung selang hisap berfungsi untuk menyaring kotoran agar tidak masuk ke badan pompa hydrum.

5. *Hydrum body*

Adalah badan dari pompa hidram dimana sebagai tempat dudukan pipa masukan (derive pipe), katup buang (waste valve) dan pipa hantar (delivery valve)

6. *Delivery valve*

Adalah klep masuk harus mempunyai lubang yang besar, sehingga memungkinkan air yang dipompa memasuki ruang udara tanpa hambatan pada aliran. Klep ini dibuat dengan bentuk yang sederhana dan dinamakan klep searah

(*non return*). Klep searah (*one direction*) ini yang akan mencegah air yang sudah dipompa untuk kembali ke pompa.

7. *Air Chamber* (ruang udara)

Ruang udara harus dibuat sebesar mungkin untuk memampatkan udara dan menahan tegangan tekanan (*pressure pulse*) dari siklus ram, memungkinkan aliran air secara tetap melalui pipa penghantar dan kehilangan tenaga karena gesekan di perkecil. Jika ruang udara penuh dengan air, ram akan bergetar keras dan dapat mengakibatkan ruang udara pecah.

8. *Delivery pipe* (Pipa penghantar)

Pipa masuk adalah bagian yang sangat penting dari sebuah pompa hidram. Dimensi pipa masuk juga harus diperhitungkan dengan teliti dan terbuat dari bahan yang kuat agar dapat menahan tekanan tinggi yang disebabkan menutupnya katup limbah secara tiba-tiba. Untuk menentukan panjang pipa masuk dapat digunakan beberapa referensi yang telah tersedia berikut ini:

$6H < L < 12H$ (Eropa dan Amerika Utara)

$L = 900 H / (N^2 * D)$ (Rusia)

$L = 150 < L/D < 1000$ (Calvert)

dengan :

L = panjang pipa masuk

H = head supply

h = head output

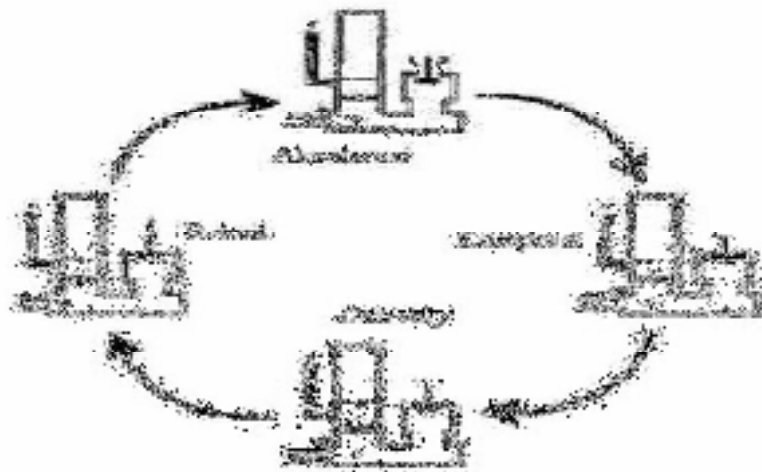
D = diameter pipa masuk

N = jumlah ketukan per menit

Menurut beberapa penelitian yang dilakukan, referensi perhitungan *Calvert* memiliki hasil yang lebih bagus. (*Ahmad Nur, 2010*)

2.2.4 Cara Kerja Pompa *Hydram*

Perlu diingat bahwa air dalam jumlah sedikit tetapi dijatuhkan dari ketinggian yang besar mampu mengalirkan air sebanyak air dalam jumlah besar tetapi dijatuhkan dari ketinggian yang kecil sesuai dengan persamaan kesetimbangan energi. Semakin tinggi *head* penyaluran, akan semakin sedikit air yang dipompakan. Pompa *hydram* bekerja dalam suatu siklus pemompaan yang didasarkan pada posisi katup impulsnya (*impulse valve*). Siklus kerja pompa *hydram* terbagi dalam empat periode seperti Gambar 2.2 (Taye, 1998).



Gambar 2.2. Siklus kerja pompa *hydram* (Silvers, 1977)

Pada Gambar 2.2 dapat dilihat hubungan antara kecepatan dengan waktu dalam satu kali siklus *hydram*, mulai dari *recoil*, *akselerasi*, *kompresi* dan *delivery*. Dalam perhitungan, satu siklus pompa *hydram* dihitung dari saat katup buang terbuka (t_1) hingga saat katup searah tertutup (t_2).

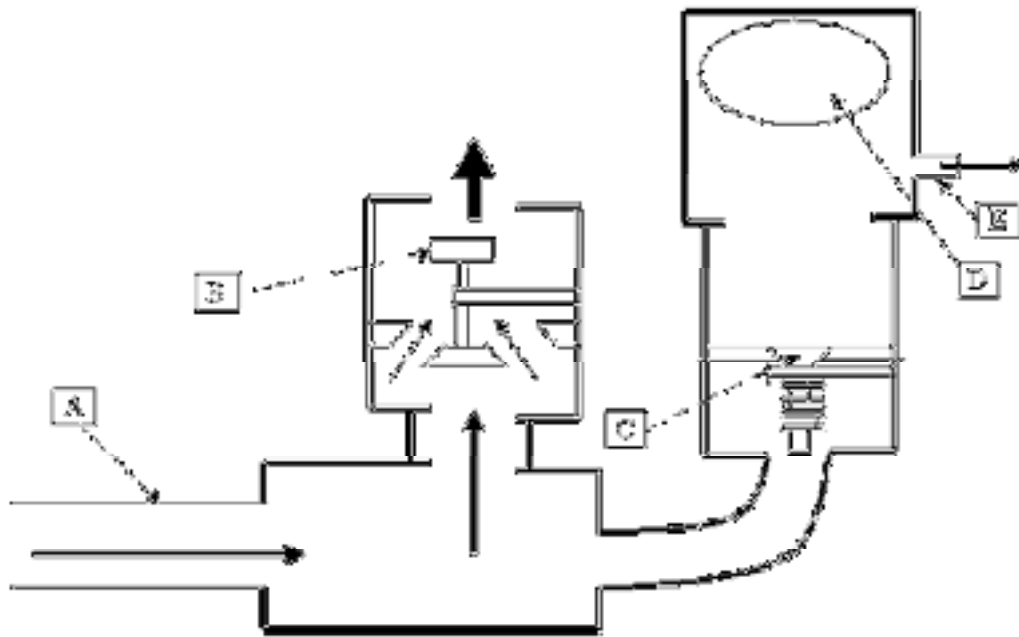


Gambar 2.3. Grafik waktu - kecepatan pada pompa *hydram* (taye 1998)

Perhatikan Gambar 2.3 diatas. Posisi a ke b adalah kondisi *recoil*. Hal ini ditandai dengan kecepatan aliran air yang negatif, yang berarti arah alirannya berlawanan dengan arah aliran semula (arah positif adalah arah aliran air dari *head* sumber ke pompa). Posisi b ke c adalah kondisi *akselerasi*, hal ini ditandai dengan naiknya kecepatan aliran hingga hampir mencapai kecepatannya maksimumnya. Posisi c ke d adalah kondisi *kompresi*, Proses *kompresi* berlangsung sangat singkat dimana katup buang tertutup penuh dan timbul hentakan yang menyebabkan tekanan dalam tabung udara meningkat. Posisi d ke c adalah kondisi *delivery*. Tabung udara berfungsi seperti pegas yang melakukan gaya dorong balik yang digunakan untuk memompakan air.

a. Pembalikan (*Recoil*)

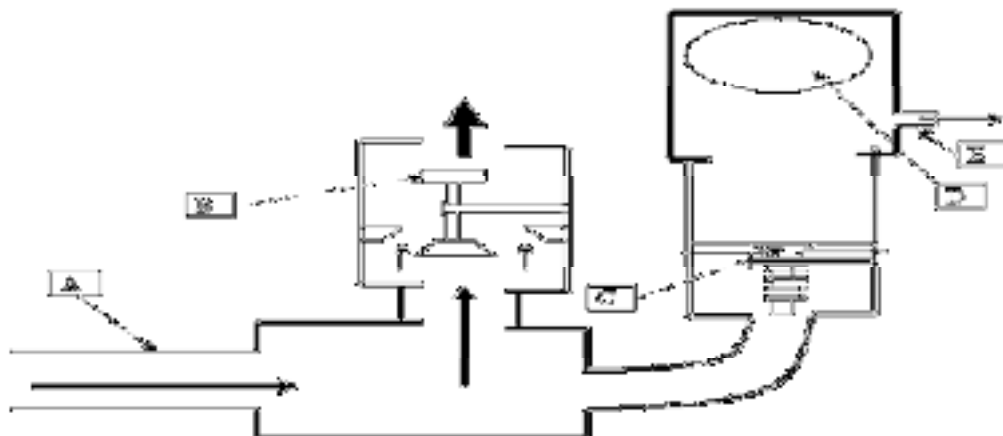
Pada tahap *recoil*, tekanan air mulai berkurang. Air mengalir yang telah kehilangan gaya dorong itu akan mengalir balik ke arah pipa suplai. Bersamaan dengan itu, katup buang mulai terbuka kembali karena adanya gaya berat dari katup impuls tersebut.



Gambar 2.4 Skema pompa hidram pada kondisi recoil

b. Akselerasi

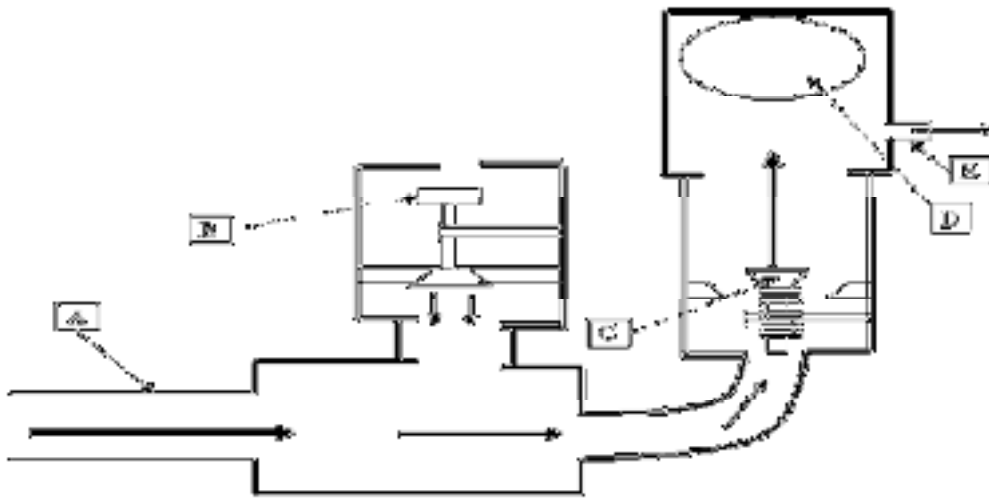
Pada tahap *akselerasi*, air pada pipa suplai mulai mengalir dengan cepat. Dan sebagian air keluar melalui katup buang. Semakin lama tekanan air terus membesar, hingga sampai pada saat dimana tekanan air mulai melebihi berat katup buang, sehingga katup buang mulai terangkat karena gaya dorong air.



Gambar 2.5 Skema pompa hidram pada kondisi *Akselerasi*

c. Kompresi

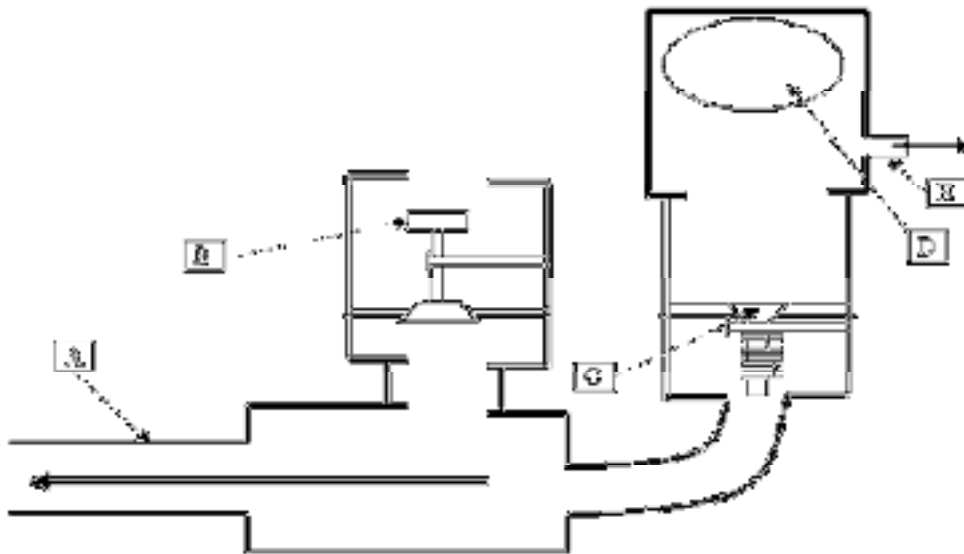
Pada tahap *kompresi*, tekanan air telah menyebabkan katup buang menutup secara sempurna, sehingga aliran air tidak dapat mengalir melalui katup buang. Akibatnya, air hanya mampu mengalir ke arah tabung udara. Air terus mengalir, menekan udara di dalam tabung, hingga saat dimana gaya dorong air tidak lagi mampu menekan udara di dalam tabung. Pada saat itu, air disekitar pompa tiba-tiba berhenti. Partikel air tidak mampu lagi bergerak, baik melalui katup impuls, atau melalui tabung udara. Bersamaan dengan itu, partikel air di pipa suplai masih terus mengalir dengan cepat, sehingga terjadilah tumbukan antara partikel air yang tiba-tiba terhenti dengan partikel air dalam pipa suplai yang masih bergerak cepat. Proses tabrakan itu menghasilkan hentakan yang kembali menekan udara sehingga udara dalam tabung kembali terkompresi.



Gambar 2.6 Skema pompa hidram pada kondisi kompresi

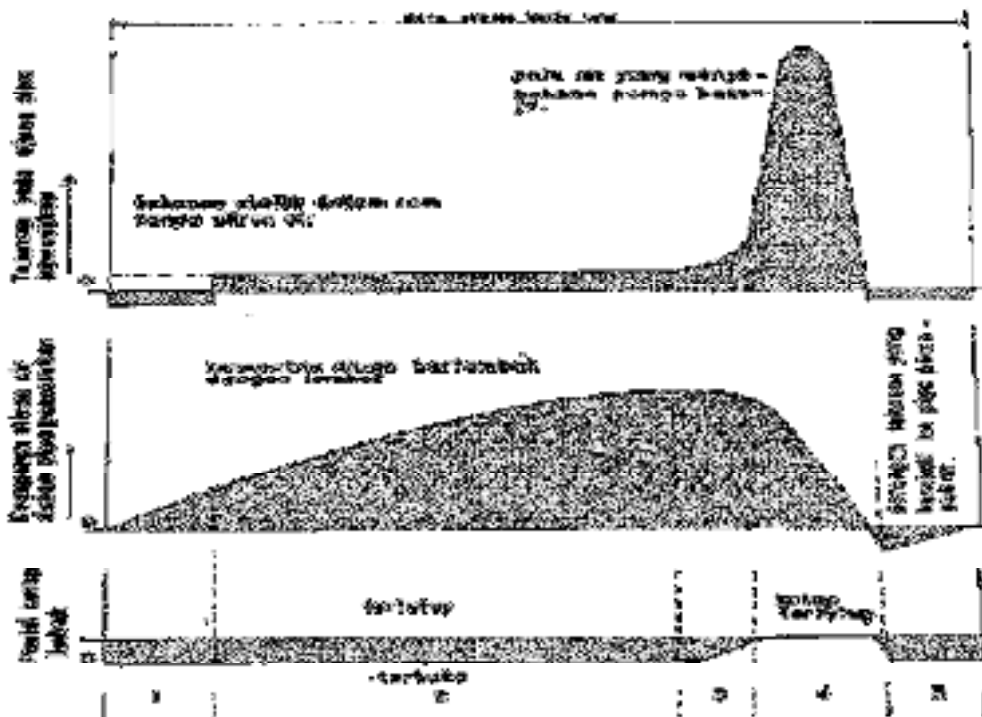
d. Penyaluran (Delivery)

Sesaat setelah terjadinya hentakan, udara akan menekan balik air didalam tabung, mirip seperti pegas. Air yang telah masuk kedalam tabung udara tak bisa lagi balik ke katup buang dan pipa suplai, karena adanya katup searah. Akibatnya, tekanan balik itu akan mendorong air mengalir masuk ke pipa penyaluran (*delivery pipe*).



Gambar 2.7 Skema pompa hidram pada kondisi *delivery*

2.2.5 Diagram satu siklus Pompa *Hydrum*



Gambar 2.8 Diagram satu siklus kerja hidram (*watt 1974*)

Keterangan gambar 2.8 :

Periode 1 : Akhir siklus yang sebelumnya, kecepatan air melalui ram bertambah, air melalui katup limbah yang sedang terbuka, timbul tekanan negatif yang kecil dalam *hydram*.

Periode 2 : Aliran bertambah sampai maksimum melalui katup limbah yang terbuka dan tekanan dalam pipa pemasukan juga bertambah secara bertahap.

Periode 3 : Katup limbah mulai menutup dengan demikian menyebabkan naiknya tekanan dalam *hydram*, kecepatan aliran dalam pipa pemasukan telah mencapai maksimum.

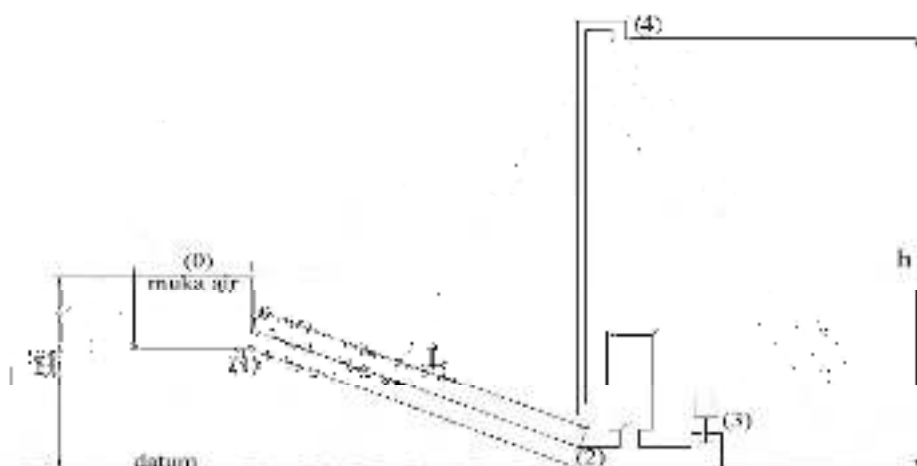
Periode 4 : Katup limbah tertutup, menyebabkan terjadinya palu air (*water hammer*) yang mendorong air melalui katup pengantar. Kecepatan aliran pipa pemasukan berkurang dengan cepat.

Periode 5 : Denyut tekanan terpukul ke dalam pipa pemasukan, menyebabkan timbulnya hisapan kecil dalam hidram. Katup limbah terbuka karena hisapan tersebut dan juga karena beratnya sendiri. Air mulai mengalir lagi melalui katup limbah dan siklus hidram terulang kembali.

2.3 Persamaan Energi Pada Pompa *Hydram*

2.3.1 Energi Yang Dibangkitkan Pada Pompa *Hydram*

Energi yang dibangkitkan (bisa juga disebut energi yang dibutuhkan) pada pompa hidram berasal dari energi fluida itu sendiri. Air yang mengalir melalui pipa masuk dari ketinggian H (ketinggian permukaan air dalam *supply tank*), mengalami



percepatan. Untuk lebih jelasnya bisa dilihat pada gambar 2.9

Gambar 2.9 Skema instalasi pompa *hydram*
(sumber : Arianta, 2010)

Berdasarkan gambar di atas, dapat dituliskan persamaan Bernoulli sebagai berikut:

$$\frac{p_0}{\rho g} + \frac{v_0^2}{2g} + Z_0 - H_L = \frac{p_3}{\rho g} + \frac{v_3^2}{2g} + Z_3 \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

p_0 = tekanan pada titik 0 yaitu tekanan atmosfer [= 0], (N/m^2)

p_3 = tekanan pada titik 3, (N/m^2)

v_0 = kecepatan aliran air pada titik 0 [= 0] karena debit konstan, (m/s)

v_3 = kecepatan aliran air pada titik 3 [= 0] karena aliran air terhenti seiring menutupnya katup limbah, (m/s)

Z_0 = ketinggian titik 0 dari datum, (m)

Z_3 = ketinggian titik 3 [= 0] karena diasumsikan segaris datum, (m)

H_L = *head losses*, (m)

ρ = massa jenis fluida, untuk air = 1000 , (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (= 9,81) ,(m/s^2)

Jika dimasukkan harga – harga yang telah ditentukan, maka persamaan Bernoulli di atas menjadi:

$$H - H_L = \frac{p_3}{\rho g} \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan H_L atau *Head Loss* terdiri dari *Major Head Loss* dan *Minor Head Loss*. Karena air mengalir dari *supply tank* yang memiliki ketinggian tertentu, maka akan timbul gaya yang disebabkan percepatan yang dialami air, yang besarnya sama dengan hasil kali massa fluida yang mengalir dan percepatan yang dialami fluida (Hukum Newton). Seperti di bawah ini:

$$F = m \cdot a \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan:

F = gaya fluida yang mengalir, (N)

m = massa fluida yang mengalir, (kg) $m = \rho AL$

a = percepatan fluida yang mengalir, (m/s^2)

$$a = dv/dt$$

ρ = massa jenis fluida, untuk air = 1000 kg/m^3

A = luas penampang pipa masuk, (m^2)

L = panjang pipa masuk, (m)

Tekanan di titik 3 dapat dicari dengan cara membagi gaya pada titik 3 (gaya akibat percepatan air) dengan luas penampang pipa masuk (A).

$$P_3 = \frac{F}{A} = \rho L \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2.4)$$

karena,

$$\frac{P_3}{\rho g} = \frac{L}{g} \frac{dv}{dt} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan HL adalah *head losses* pada pipa, yang besarnya ditentukan dengan persamaan di bawah ini:

$$H_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + \sum \left(K \frac{v^2}{2g} \right) \dots\dots\dots(2.6)$$

dengan:

HL = *head losses*, (m)

f = faktor gesekan bahan pipa masuk

L = panjang pipa masuk, (m)

D = diameter pipa masuk, (m)

K = faktor kontraksi

Untuk menghitung besarnya energi yang dibangkitkan pada pompa hidram, kita tinjau kondisi di masing – masing titik saat awal pengoperasian pompa hidram, dimana pada kondisi demikian air yang masuk ke badan *hydram* langsung keluar melalui katup limbah dengan kecepatan tertentu (v_3), dan tekanan di titik 3, p_3 , akan sama dengan atmosfer (= 0) karena katup limbah dalam keadaan terbuka penuh. Sehingga persamaan Bernoulli akan menjadi:

$$H - H_L = \frac{v_3^2}{2g} \dots\dots\dots(2.7)$$

Kecepatan v_3 dapat dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas, dimana

harga debit (Q) bernilai konstan (kondisi awal semua fluida yang masuk langsung keluar melalui katup limbah). Sehingga:

$$Q = v_3 \times A_{waste} \dots\dots\dots(2.8)$$

dengan:

Q = debit air yang keluar melalui katup limbah, (m^3/s)

v_3 = kecepatan air di titik 3 (yang melalui katup limbah), (m/s)

A_{waste} = luas penampang lubang katup limbah, (m^2)

Setelah nilai v_3 didapatkan, maka kita dapat menghitung energi yang dibangkitkan hidram, dengan rumus:

$$E = \frac{1}{2} m v_3^2 \dots\dots\dots(2.9)$$

dengan:

E = energi *hydram*, (J)

m = massa fluida yang mengalir, (kg)

= massa fluida yang mengalir melalui pipa masuk

= $LA\rho$

v_3 = kecepatan massa fluida yang mengalir, (m/s)

L = panjang pipa masuk, (m)

A = luas penampang pipa masuk, (m^2)

ρ = massa jenis air, (=1000), (kg/m^3)

2.3.2 Daya Pompa Hidram

Untuk menghitung daya yang dihemat oleh pompa hidram digunakan rumus:

$$P = \rho g Q \square_p \dots\dots\dots(2.10)$$

dimana:

P = daya yang dihemat (W)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (m/s^2)

Q = debit limbah (m^3/s)

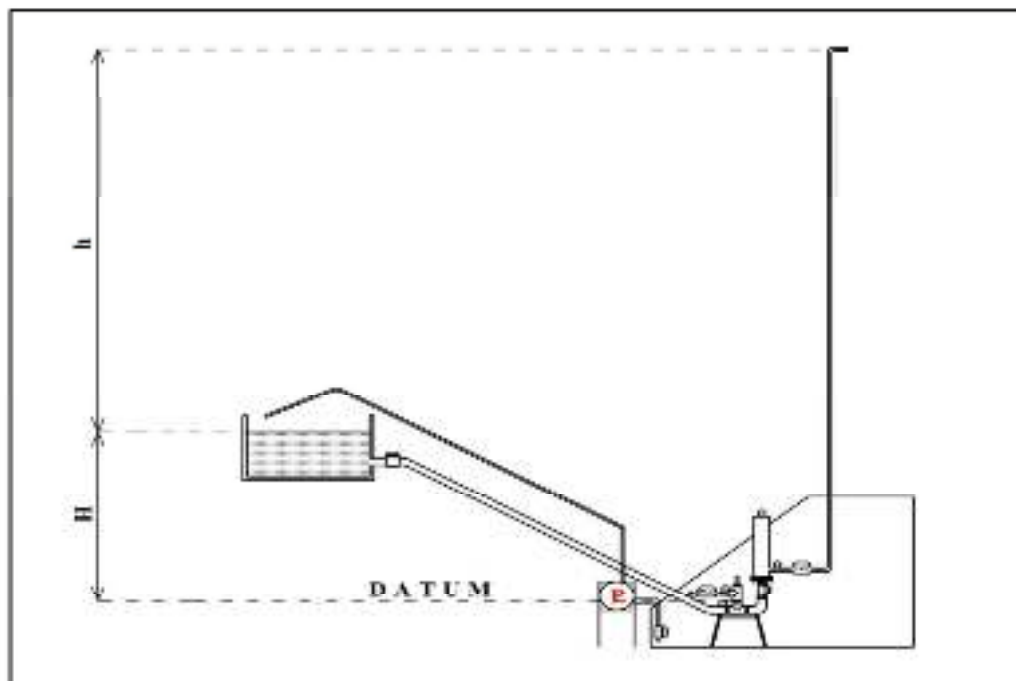
p = *head* pemompaan (m)

2.3.3 Efisiensi Daya Pompa Hidram

Untuk mengetahui efisiensi pompa hidram, dalam penelitian ini digunakan dua persamaan efisiensi yaitu efisiensi D'Aubuisson dan efisiensi Rankine. (*Michael and Kheepar, 1997*).

❖ Menurut D' Aubuisson :

Menurut D' Aubuisson, katup limbah digunakan sebagai datum. Untuk lebih memahami, dapat dilihat pada gambar 2.10.



Gambar 2.10 Datum dalam perhitungan efisiensi menurut D'Aubuisson Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_A = \frac{q(H+h)}{(Q+q)H} \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana:

η_A = efisiensi daya pompa hidram menurut D' Aubuisson

q = debit hasil, (m^3/s)

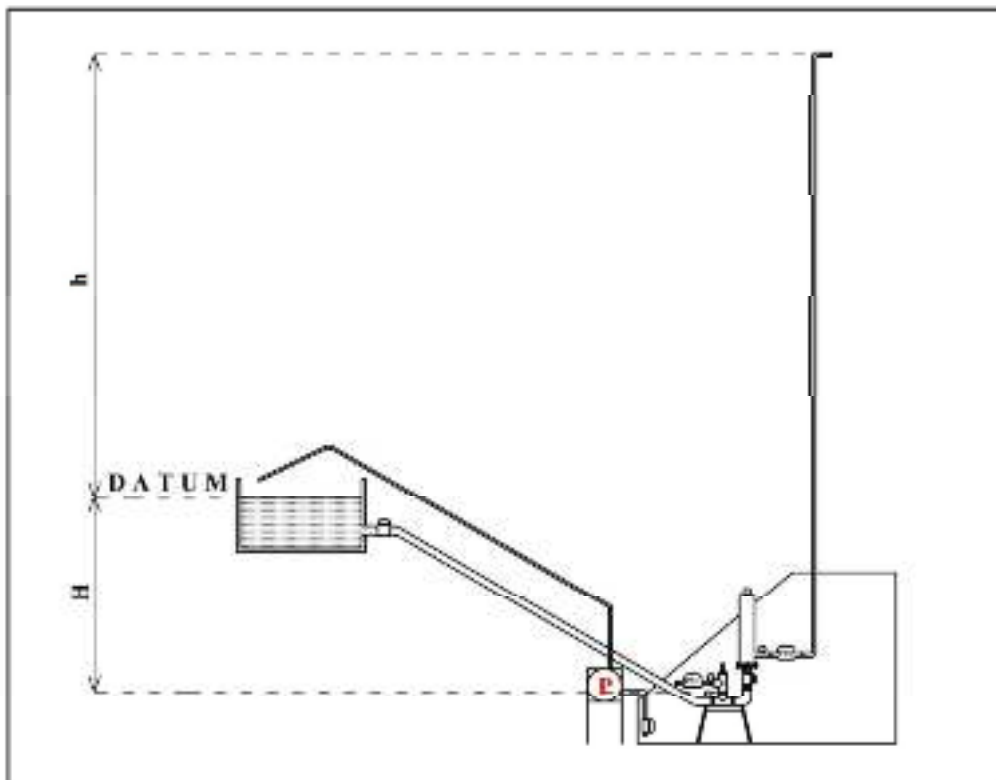
Q = debit limbah, (m^3/s)

h = *head* keluar, (m)

H = *head* masuk, (m)

❖ Menurut Rankine :

Menurut Rankine, permukaan air pada tangki pemasukan digunakan sebagai datum. Untuk lebih memahami, dapat dilihat pada gambar 2.11.



Gambar 2.11 Datum dalam perhitungan efisiensi menurut Rankine Sehingga dapat dirumuskan :

$$\eta_R = \frac{qh}{QH} \dots\dots\dots(2.12)$$

dimana:

η_R = efisiensi hidram menurut Rankine

q = debit hasil, (m^3/s)

Q = debit limbah, (m^3/s)

h = *head* keluar, (m)

H = *head* masuk, (m)