

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Pendahuluan**

Air sebagai kebutuhan pokok kehidupan adalah komponen vital bagi kualitas kehidupan suatu kelompok masyarakat. Sebagai salah satu negara agraris, Indonesia memiliki daya konsumsi air yang cukup besar pada bidang pertanian, terutama dalam hal irigasi. Namun sayangnya pada kondisi geografis Indonesia, seringkali beberapa daerah merupakan daerah berbukit-bukit dan pegunungan yang terkadang menjadi kendala untuk memenuhi suplai air bagi pertanian di daerah hulu. Sesuai dengan hukum gravitasi, air selalu mengalir dari tempat tinggi menuju yang lebih tempat rendah. Sepertinya mustahil kalau harus menaikkan air dari sumber atau alirannya menuju tempat yang lebih tinggi, tanpa bantuan energi listrik atau bahan bakar minyak (BBM).

Karena itulah berbagai metode dilakukan oleh kelompok-kelompok petani di berbagai daerah di Indonesia untuk memenuhi kebutuhan air di hulu misalnya dengan membuat sumur bor. Namun hal ini menimbulkan permasalahan baru. Selain memerlukan modal dan biaya operasional yang cukup besar saat dibuat, secara ekologis sumur bor tidak menguntungkan dalam jangka panjang.

Melihat kondisi tersebut dikembangkanlah suatu model teknologi sistem irigasi yang tepat guna dan tentunya akrab dengan lingkungan. Sistem irigasi

ini menggunakan pompa tanpa mesin yang biasa disebut pompa Hidrolik Ram atau dikenal dengan pompa Hidram.

Pompa hidrolik ram (pompa hidram) adalah teknologi pompa air yang bekerja dengan menggunakan memanfaatkan gaya gravitasi. Teknologi pompa otomatis hidrolik ram sendiri sudah ada sejak tahun 1772 yang ditemukan oleh John Whitehurst dari Inggris. Pompa ini kemudian dikembangkan pada tahun 1796 saat Joseph Michel Montgolfier memasang pompa ram otomatis ini di Voiron Perancis. Penemuan ini kemudian dipatenkan pada tahun 1797. Di Indonesia sendiri teknologi pompa hidram ini juga sudah dikembangkan termasuk dilakukan modifikasi desain untuk meningkatkan efisiensinya.

## **2.2 Teori *Water Hammer***

Peristiwa palu air (*water hammer*) terjadi pada jaringan pipa dengan sistem pengaliran tertekan. Peristiwa tersebut berupa perubahan tekanan yang terjadi karena perubahan kecepatan aliran di dalam pipa secara mendadak, misal karena penutupan katup, perubahan beban pada turbin hidraulik, dan sebagainya. Tekanan palu air tersebut merambat sepanjang jaringan pipa dengan kecepatan suara. Untuk menghindari rusaknya pipa atau peralatan hidraulik lainnya, maka sistem jaringan pengaliran tertekan harus dirancang untuk menerima tekanan oleh palu air tersebut. Peristiwa palu air tersebut merupakan peristiwa pengaliran tak tetap (*'transient flow'*), persamaan dasarnya merupakan persamaan diferensial parsial fungsi waktu dan tempat. Ada berbagai cara penyelesaian persamaan tersebut yang umum digunakan.

Seperti misalnya dengan cara grafis, pendekatan deret aritmatika, dan sebagainya.

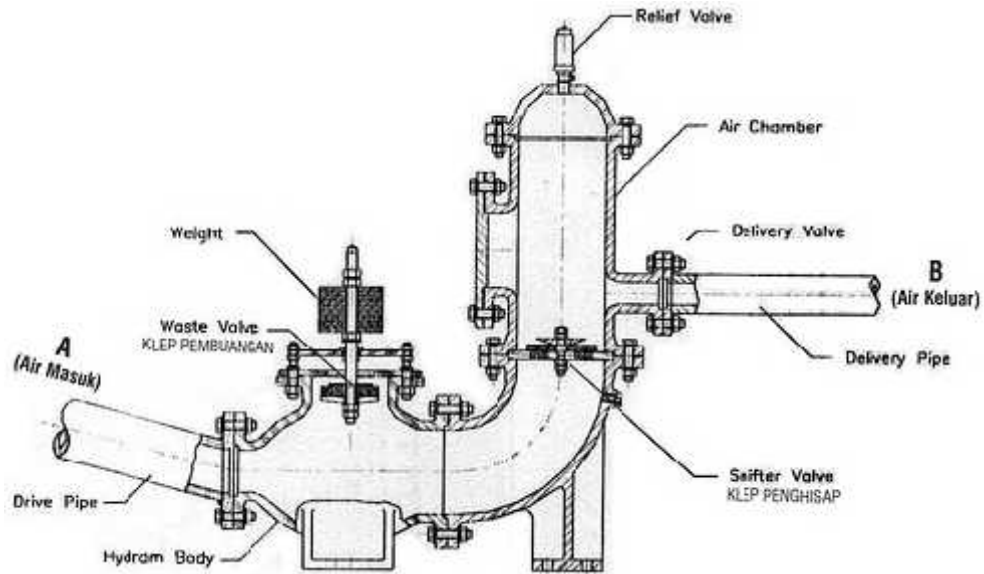
### **2.3 Penerapan *Water Hammer***

Aplikasi sistem perpipaan untuk distribusi fluida banyak kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari. Fenomena water hammer merupakan salah satu parameter yang harus diperhitungkan dalam merancang sebuah sistem perpipaan. Fenomena ini terjadi akibat kenaikan gelombang tekanan ketika aliran dihentikan secara tiba-tiba, dimana gelombang tekanan yang terjadi bisa bernilai positif maupun negatif. Sebagai contoh terdapat pada pompa hidram (*water hammer pump*) adalah teknologi pompa tanpa menggunakan bahan bakar listrik dan bahan bakar minyak, prinsip kerja pompa hidram adalah menggunakan sistem water hammer atau efek pukulan air, yang dapat mengalirkan air dari hilir sungai sampai ke daerah perbukitan tanpa menggunakan listrik dan BBM, di lihat dari harga listrik dan BBM yang mahal maka penggunaan pompa ini sangat efisien sekali. Indonesia sudah banyak di terapkan khususnya di tempat-tempat yang minim air dan sumber airnya jauh dari pemukiman.

### **2.4 Prinsip Kerja Pompa Hidram**

Prinsip kerja hidram adalah pemanfaatan gravitasi dimana akan menciptakan energi dari hantaman air yang menabrak faksi air lainnya untuk mendorong ke tempat yang lebih tinggi. Untuk mendapatkan energi

potensial dari hantaman air diperlukan syarat utama yaitu harus ada terjunan air yang dialirkan melalui pipa dengan beda tinggi elevasi dengan pompa hidram minimal 1 meter. Syarat utama kedua adalah sumber air harus kontinu dengan debit minimal 7 liter per menit. Prinsip kerja dari pompa hidram dapat dilihat dari gambar 4 berikut ini :



Gambar 2.1. Prinsip Kerja Pompa Hidram

Keterangan gambar

1. Periode 1: Akhir siklus yang sebelumnya, kecepatan air melalui ram bertambah, air melalui katup limbah yang sedang terbuka, timbul tekanan negatif yang kecil dalam hidram.
2. Periode 2: Aliran bertambah sampai maksimum melalui katup limbah yang terbuka dan tekanan dalam pipa pemasukan juga bertambah secara bertahap.
3. Periode 3 : Katup limbah mulai menutup dengan demikian menyebabkan naiknya tekanan dalam hidram, kecepatan aliran dalam pipa pemasukan telah mencapai maksimum.

4. Periode 4 : Katup limbah tertutup, menyebabkan terjadinya palu air (*water hammer*) yang mendorong air melalui katup pengantar. Kecepatan aliran pipa pemasukan berkurang dengan cepat.
5. 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.

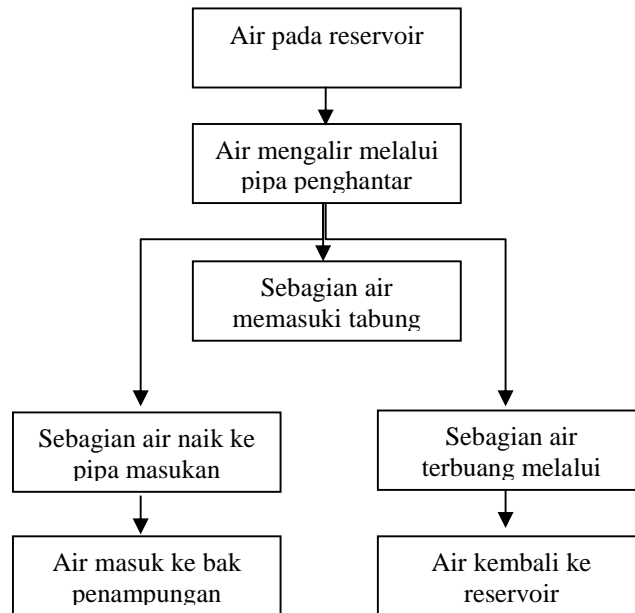
Bagian kunci dari hidram adalah dua buah klep, yaitu: klep pembuangan dan klep penghisap. Air masuk dari terjunan melalui pipa A, klep pembuangan terbuka sedangkan klep penghisap tertutup. Air yang masuk memenuhi rumah pompa mendorong ke atas klep pembuangan hingga menutup. Dengan tertutupnya klep pembuangan 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,  $\frac{2}{3}$  debit keluar lubang pembuangan, sementara yang  $\frac{1}{3}$  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.

Secara umum prinsip kerja pompa hidram dapat dilihat pada skema berikut :



Gambar 2.2.Skema Prinsip Kerja Pompa Hidram

## 2.5 Karakteristik Pompa Hidram

Karakteristik pompa hidrolis ram atau hidram yang bekerja pada keadaan tertentu dimana jarak antara lubang dan katup limbah konstan, tinggi vertikal tangki pemasukan tetap tinggi, sedangkan tinggi pemompaan berubah-ubah, ternyata menunjukkan bahwa jumlah denyutan katup limbah tiap menit bertambah pada setiap penambahan tinggi pemompaan. Pompa hidrolis ram yang dirancang dengan baik dapat bekerja baik pada semua keadaan dengan pemeliharaan yang minimum.

Pompa yang terbuat dari bahan besi cor yang kuat dapat bekerja dengan baik hingga bertahun-tahun. Hal ini merupakan penghematan investasi yang luar biasa bagi kelompok petani. Ukuran pompa hidrolis ram ditentukan oleh kapasitas yang dikehendaki dan juga dibatasi oleh jumlah air yang tersedia untuk menggerakkan pompa. Pompa harus dipasang serata mungkin untuk meyakinkan bahwa katup limbah yang diberi beban dapat jatuh tegak lurus ke bawah dengan gesekan sekecil mungkin. Pemasangan pipa juga harus diperhatikan agar tidak ada belokan-belokan tajam atau sudut yang mengurangi kekuatan aliran air. Beberapa hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa adanya ruang udara pada pompa hidram semakin meningkatkan efisiensi pompa dalam mengalirkan air ke tempat yang lebih tinggi. Pemasangan ruang udara meningkatkan efisiensi pompa Hidram dari 0,7 % menjadi 19,45 %.

Secara spesifik, menurut Direktorat Pengelolaan Air Departemen Pertanian, daerah yang bisa memanfaatkan teknologi irigasi pompa Hidram adalah memiliki ciri sebagai berikut :

1. Merupakan daerah sentra produksi pertanian yang memiliki potensi luas lahan untuk dijadikan sebagai lahan pertanian beririgasi.
2. Di sekitar lokasi pengembangan, terdapat sumber air permukaan seperti sungai dengan jumlah dan kualitas air yang memadai, terutama pada musim kemarau.
3. Di lokasi pengembangan terdapat kelompok tani yang aktif.
4. Lokasi merupakan lahan milik petani dan sekaligus penggarap.

5. Penentuan/penetapan lokasi berdasarkan kesepakatan kelompok dan tidak menuntut ganti rugi atas pemanfaatan lahan.

Syarat tersebut dimaksudkan agar sistem irigasi tersebut dapat digunakan dan terpelihara dalam jangka panjang. Jika suatu daerah sudah memenuhi syarat umum tersebut, maka pembangunan sistem irigasi dengan menggunakan pompa hidram bisa dimulai.

Selain syarat utama tadi, pembuatan pompa hidram perlu memperhatikan perbandingan tinggi terjunan dan tinggi pemompaan air yaitu 1:5. Tiap beda tinggi terjunan 1 meter akan mampu memompa air setinggi 5 meter dari rumah pompa ke tempat tandon air. Jadi bukan hal yang mustahil ketika beda tinggi terjunan air 12 meter di perkebunan teh mampu memompa air hingga ketinggian lebih dari 50 meter dengan jarak lebih dari 500 meter. Hal kedua yang perlu diperhatikan adalah penyesuaian diameter pompa dengan debit air. Dalam mengoptimalkan tekanan semakin besar debit air, diameter pompa semakin besar pula.

## **2.6 Sifat Dasar Fluida**

Cairan dan gas disebut fluida, sebab zat cair tersebut dapat mengalir. Untuk mengerti aliran fluida maka harus mengetahui beberapa sifat dasar fluida. Adapun sifat – sifat dasar fluida yaitu; kerapatan (density), berat jenis (specific gravity), tekanan (pressure), kekentalan (viscosity).



### 2.6.1. Kerapatan (*Density*)

Kerapatan dinyatakan dengan  $\rho$  ( $\rho$  adalah huruf Yunani yang dibaca “rho”), didefinisikan sebagai massa per satuan volume.

$$\rho = \frac{m}{V} \dots\dots\dots (1)^1$$

Dimana:

$\rho$  = kerapatan ( $kg/m^3$ )

m = massa (kg)

V = volume ( $m^3$ )

Kerapatan adalah suatu sifat karakteristik setiap bahan murni. Benda tersusun atas bahan murni, misalnya emas murni, yang dapat memiliki berbagai ukuran ataupun massa, tetapi kerapatannya akan sama untuk semuanya.

### 2.6.2. Berat Jenis Spesifik (*Specific Gravity*)

Berat jenis spesifik suatu bahan didefinisikan sebagai perbandingan kerapatan bahan terhadap kerapatan air. Berat jenis (specific gravity disingkat SG) adalah besaran murni tanpa dimensi maupun satuan, dinyatakan pada persamaan sebagai berikut :

Untuk fluida cair:

---

<sup>1</sup>Santoso, G., 2003, “Studi Karakteristik Volume Tabung Udara dan Beban Katup Limbah Terhadap Efisiensi Pompa Hydraulic Ram”, Universitas Kristen Petra, Surabaya. hal, 34

$$SG_c = \frac{\rho_c}{\rho_w} \dots \dots \dots (2)^2$$

Untuk fluida gas:

$$SG_g = \frac{\rho_g}{\rho_a} \dots \dots \dots (3)^3$$

dimana:

$\rho_c$  = massa jenis cairan ( $g/cm^3$ )

$\rho_w$  = massa jenis air ( $g/cm^3$ )

$\rho_g$  = massa jenis gas ( $g/cm^3$ )

$\rho_a$  = massa jenis udara ( $g/cm^3$ )

### 2.6.3. Tekanan (*Pressure*)

Tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, dengan gaya F dianggap bekerja secara tegak lurus terhadap luas permukaan A, maka :

$$p = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (4)^4$$

dimana:

p = tekanan ( $N/m^2$ )

F = gaya (N)

A = luas permukaan ( $m^2$ )

---

<sup>2</sup>Widarto; Sudarto C.Ph., 1997, "Membuat Pompa Hidram", Kanisius, Yogyakarta. hal, 14

<sup>3</sup> Ibid, hal 14

<sup>4</sup> Hanafie, J., 1979, "Teknologi Pompa Hidraulik Ram", Pusat Teknologi Pembangunan Institut Teknologi Bandung, hal, 12

Dalam termodinamika, tekanan secara umum dinyatakan dalam harga absolutnya. Tekanan absolut tergantung pada tekanan pengukuran sistem, bisa dijelaskan sebagai berikut :

1. Bila tekanan pengukuran sistem diatas tekanan atmosfer, maka :

tekanan absolut = tekanan pengukuran + tekanan atmosfer

$$P_{abs} = P_{gauge} + P_{atm} \dots\dots\dots (5)^5$$

2. Bila tekanan pengukuran dibawah tekanan atmosfer, maka :

tekanan absolut = tekanan atmosfer – tekanan pengukuran

$$P_{abs} = P_{atm} - P_{gauge} \dots\dots\dots (6)^6$$

#### 2.6.4. Kekentalan (*Viscosity*)

Kekentalan didefinisikan sebagai gesekan internal atau gesekan fluida terhadap wadah dimana fluida itu mengalir. Ini ada dalam cairan atau gas, dan pada dasarnya adalah gesekan antar lapisan fluida yang berdekatan ketika bergerak melintasi satu sama lain atau gesekan antara fluida dengan wadah tempat ia mengalir. Dalam cairan, kekentalan disebabkan oleh gaya kohesif antara molekul-molekulnya sedangkan gas, berasal tumbukan diantara molekul-molekul tersebut. Untuk fluida yang berbeda, fluida yang kental, diperlukan gaya yang lebih besar.

## 2.7 Aliran Laminar dan Turbulen

---

<sup>5</sup>Ibid, hal 16

<sup>6</sup>Ibid, hal 13

Aliran fluida di dalam sebuah pipa mungkin merupakan aliran laminar atau aliran turbulen. Osborne Reynolds (1842-1912), ilmuwan dan ahli matematika Inggris, adalah orang yang pertama kali membedakan dua klasifikasi aliran ini dengan menggunakan sebuah peralatan sederhana.

Aliran dikatakan laminar jika partikel-partikel fluida yang bergerak mengikuti garis lurus yang sejajar pipa dan bergerak dengan kecepatan sama. Aliran disebut turbulen jika tiap partikel fluida bergerak mengikuti lintasan sembarang di sepanjang pipa dan hanya gerakan rata-ratanya saja yang mengikuti sumbu pipa.

Dari hasil eksperimen diperoleh bahwa koefisien gesekan untuk pipa silindris merupakan fungsi dari bilangan Reynold (Re). Dalam menganalisa aliran di dalam saluran tertutup, sangatlah penting untuk mengetahui tipe aliran yang mengalir dalam pipa tersebut. Untuk itu harus dihitung besarnya bilangan Reynold dengan mengetahui parameter-parameter yang diketahui besarnya. Besarnya Reynold (Re), dapat dihitung dengan menggunakan persamaan :

$$Re = \frac{\rho d v}{\mu} \dots\dots\dots (7)^7$$

Dimana :

= massa jenis fluida (kg/m<sup>3</sup>)

d = diameter dalam pipa (m)

---

<sup>7</sup>Sularso, Haruo Tahara, Pompa dan Kompresor, Pemilihan, Pemakaian dan Pemeliharaan, PTPradnya Paramita, Jakarta, 2006, hal 49

$v$  = kecepatan aliran rata-rata fluida (m/s)

$\mu$  = viskositas dinamik fluida (Pa.s)

Karena viskositas dinamik dibagi dengan massa jenis fluida merupakan viskositas kinematik ( $\nu$ ) maka bilangan Reynold, dapat juga dinyatakan :

$$Re = \frac{vu}{\nu} \dots\dots\dots (8)^8$$

Aliran akan laminar jika bilangan Reynold kurang dari 2000 dan akan turbulen jika bilangan Reynold lebih besar dari 4000. Jika bilangan Reynold terletak antara 2000 – 4000 maka disebut aliran transisi.

## 2.8 Energi dan Head

Energi pada umumnya didefenisikan sebagai kemampuan untuk melakukan kerja. Kerja merupakan hasil pemanfaatan dari sebuah gaya yang melewati suatu jarak dan umumnya didefenisikan secara matematika sebagai hasil perkalian dari gaya dan jarak yang dilewati pada arah gaya yang diterapkan tersebut. Energi dan kerja dinyatakan dalam satuan N.m (Joule).Setiap fluida yang sedang bergerak selalu mempunyai energi.Dalam menganalisa masalah aliran fluida yang harus dipertimbangkan adalah mengenai energi potensial, energi kinetik dan energi tekanan.Energi potensial menunjukkan energi yang dimiliki fluida dengan tempat jatuhnya. Energi potensial ( $E_p$ ),dirumuskan sebagai :

$$EP = W.z \dots\dots\dots (9)^9$$

---

<sup>8</sup>Ibid, hal 50

<sup>9</sup>Ibid, hal 53

Dimana :

EP = energi potensial (J)

W = berat fluida (N)

z = beda ketinggian (m)

## 2.9 Persamaan Bernoulli

Hukum kekekalan energi menyatakan energi tidak dapat diciptakan dan tidak dapat dimusnahkan namun dapat diubah dari suatu bentuk ke bentuk lain. Energi yang ditunjukkan dari persamaan energi total di atas, atau dikenal sebagai head pada suatu titik dalam aliran steady adalah sama dengan total energi pada titik lain sepanjang aliran fluida tersebut. Hal ini berlaku selama tidak ada energi yang ditambahkan ke fluida atau yang diambil dari fluida.

Konsep ini dinyatakan ke dalam bentuk persamaan yang disebut dengan persamaan Bernoulli, yaitu [1] :

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \dots \dots \dots (10)^{10}$$

Dimana :

$p_1$  dan  $p_2$  = tekanan pada titik 1 dan 2

$v_1$  dan  $v_2$  = kecepatan aliran pada titik 1 dan 2

$z_1$  dan  $z_2$  = ketinggian titik 1 dan 2 diukur dari bidang referensi

$\rho$  = berat jenis fluida

$g$  = percepatan gravitasi = 9,81 m/s<sup>2</sup>

Persamaan di atas digunakan jika diasumsikan tidak ada kehilangan energi antara dua titik yang terdapat dalam aliran fluida, namun biasanya beberapa head losses terjadi diantara dua titik. Jika head losses tidak diperhitungkan maka akan menjadi masalah dalam penerapannya di lapangan.

---

<sup>10</sup>Ibid, hal 55

Jika head losses dinotasikan dengan “hl” maka persamaan Bernoulli di atas dapat ditulis menjadi persamaan baru, dirumuskan sebagai:

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + z_2 + hl \dots \dots \dots (11)^{11}$$

Persamaan di atas digunakan untuk menyelesaikan banyak permasalahan tipe aliran, biasanya untuk fluida inkompresibel tanpa adanya penambahan panas atau energi yang diambil dari fluida. Namun, persamaan ini tidak dapat digunakan untuk menyelesaikan aliran fluida yang mengalami penambahan energi untuk menggerakkan fluida oleh peralatan mekanik, misalnya pompa, turbin dan peralatan lainnya.

---

<sup>11</sup>Ibid, hal 55