

## HIDRAULIKA DRIVE PIPE PADA POMPA HIDRAM

**Kuswartomo**

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta  
 Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417  
 Email: kuswartomo@ums.ac.id

### Abstrak

*Pompa hidram telah berkembang sejak abad ke-18 tepatnya pada tahun 1775 yang dibuat oleh seorang berkebangsaan Inggris bernama John Whithurst dan masih sangat relevan samapai saat ini. Pompa hidram bekerja secara mekanik dengan menggunakan energi potensial dari air yang akan dipompa. Oleh karena itu, posisi pompa hidram ditempatkan lebih rendah dari sumber air yang akan dipompa. Antara rumah pompa dengan sumber air (water supply) digunakan pipa penghubung yang disebut dengan pipa penghantar (drive pipe). Elevasi muka air sumber diperlakukan tetap atau konstan untuk mempermudah dalam analisis. Aliran dalam pipa inilah yang akan memberikan tenaga untuk memompa. Untuk itu, aliran yang terjadi dalam pompa hidram perlu dilakukan analisis hidraulika. Analisis tersebut untuk mengetahui nilai perubahan kecepatan aliran air yang terjadi dalam drive pipe terhadap perubahan waktu dan gaya angkat yang terjadi pada waste valve dengan menggunakan metode analisis dimensi dengan Pi Theorem atau Buckingham Method. Analisis dimensi dilakukan untuk memberikan manfaat hasil penelitian lebih umum. Persamaan perubahan kecepatan aliran dalam pipe drive terhadap perubahan waktu adalah selisih elevasi muka air sumber dengan jumlah antara elevasi waste valve dan kehilangan energi terjadi selama pengaliran. Persamaan tersebut memperlihatkan tiga titik ekstrem kecepatan yaitu kecepatan aliran saat waste valve mulai terangkat, kecepatan aliran maksimum, dan kecepatan aliran saat waste valve turun. Analisis dimensi memberikan tiga hubungan bilangan tak berdimensi dengan tiga variabel pokok yaitu, kecepatan, debit, dan gaya angkat pada waste valve. Bilangan tak berdimensi tersebut adalah*

$$\pi_1 = \frac{v^2}{Hg}, \quad \pi_2 = \frac{Q^2}{H^5g}, \quad \pi_3 = \frac{H^3\rho F}{g}.$$

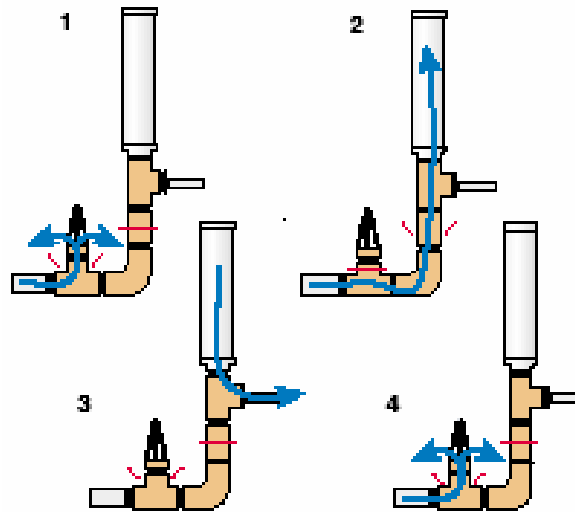
**Kata kunci:** analisis dimensi; drive pipe; hidraulika; pompa hidram

### Pendahuluan

Pompa hidram telah berkembang sejak abad ke 18 tepatnya pada tahun 1775 ditemukan oleh seorang berbangsa Inggris bernama John Whithurst. Di awal perkembangan pompa hidram dioperasikan secara manual dengan pipa pengunci (*stopcock*), kemudian pengoperasian secara otomatis diperkenalkan oleh seorang berkebangsaan Perancis bernama Joseph Montgolfier pada tahun 1797 (Tave, 1998). Hidram adalah singkatan dari *hydraulics ram* yang berarti benturan atau tumbukan air. Sesuai dengan namanya, pompa hidram sebagai pompa yang menggunakan energi air yang dipompa itu sendiri. Oleh karena itu, pompa hidram tidak memerlukan energi fosil untuk menggerakkan. Ada sebagian air yang melalui lubang pembuangan sehingga pompa hidram dapat dikatakan sangat ramah lingkungan. Penjelasan tersebut memberikan predikat pompa hidram sebagai *eco-pump* atau *green pump*.

Energi air diperoleh dari perbedaan antara elevasi permukaan sumber air (*water supply*) dengan elevasi ujung pipa penghantar, yaitu pada lubang pembuangan atau *waste valve*. Sistem pompa hidram terdiri dari sumber air, pipa pesat atau *drive pipe*, tabung udara, lubang pembuangan, katup penghantar, dan pipa penghantar. Masing-masing peralatan dalam pompa hidram tersebut bekerja secara otomatis dan sistematis. Energi air yang digunakan untuk memompa air adalah energi potensialnya sehingga membutuhkan posisi rumah pompa berada di bawah sumber air. Air yang berada di sumber air mengalir melalui pipa penghantar sehingga akan menimbulkan momentum berupa *water hammer*. Hal ini mengakibatkan katub limbah tertutup dan katup pada tabung udara membuka, sehinggasebagian air masuk ke tabung udara tersebut dan sebagian air lainnya keluar melalui katup limbah. Tekanan udara pada tabung udara meningkat dengan masuknya air melalui katub tabung udara. Pada saat tekanan udara sama dengan tumbukan air (*water hammer*), maka katub udara menutup dan air yang berada pada tabung udara dipompakan melalui pipa penghantar keluar dari tabung udara atau *chamber*. Katub limbah menutup sehingga

terjadi *water hammer* yang mengakibatkan katub udara membuka dan diikuti proses masuknya air pada tabung udara. Meningkatnya tekanan udara tersebut menyebabkan air akan dipompa melalui pipa penghantar dan diikuti menutupnya katub udara. Proses tersebut di atas akan berulang secara sangat cepat sehingga air dapat dipompa secara kontinyu.



Gambar 1 Siklus kerja pompa hidram  
(Siregar, 2012)

### Metode Penelitian

Bagian *drive pipe* adalah merupakan salah satu komponen penting dalam pompa hidram yang berfungsi sebagai pipa penghantar antara sumber air sebagai tenaga dengan bagian rumah pompa hidram. Pada *drive pipe* terjadi pergerakan massa air dengan kecepatan tertentu yang akan menghasilkan momentum. Momentum yang terjadi inilah yang akan berubah menjadi suatu gaya penggerak katup penghantar atau *delivery valve* yang berada pada rumah pompa hidram sehingga air masuk ke tabung udara yang kemudian dialirkan ke luar sebagai debit pemompaan. Kekuatan momentum ini ditunjukkan dengan kemampuan aliran untuk mengangkat katup limbah. Oleh karena itu, aliran dalam *drive pipe* tersebut sangat penting dan perlu untuk dilakukan analisis hidraulik. Hal ini merupakan bagian dari analisis awal dalam penelitian lebih lanjut tentang pompa hidram.

Analisis hidraulika yang akan dilakukan dalam pipa penghantar tersebut merupakan analisis awal sebagai dasar untuk melakukan penelitian selanjutnya. Analisis hidraulika pada *drive pipe* pompa hidram yang dimaksud dalam makalah ini adalah analisis perubahan kecepatan aliran air terhadap perubahan waktu yang terjadi dalam *drive pipe* dan analisis gaya angkat yang terjadi pada *waste valve* dengan menggunakan metode analisis dimensi. Metode tersebut adalah *Buckingham Method* atau *Pi Theorem Methode*. Analisis dimensi ini akan memberikan suatu hasil parameter-parameter non-dimensional. Analisis dimensi ini dilakukan sebagai salah satu cara untuk menggeneralisasi hasil penelitian nantinya, sehingga hasil penelitian dapat berlaku lebih luas. Penelitian ini mempertahankan elevasi muka air pada sumber tetap atau selalu konstan agar supaya didapatkan debit aliran atau pemompaan yang konstan juga. Persamaan pengarah yang digunakan dalam analisis hidraulika yaitu persamaan energi aliran fluida yang dikemukakan oleh Bernoulli untuk aliran fluida real dan Hukum Newton II tentang massa. Hukum Newton II berlaku sebagai persamaan pengarah untuk dinamika aliran yang terjadi dalam pipa penghantar.

### Persamaan Bernoulli

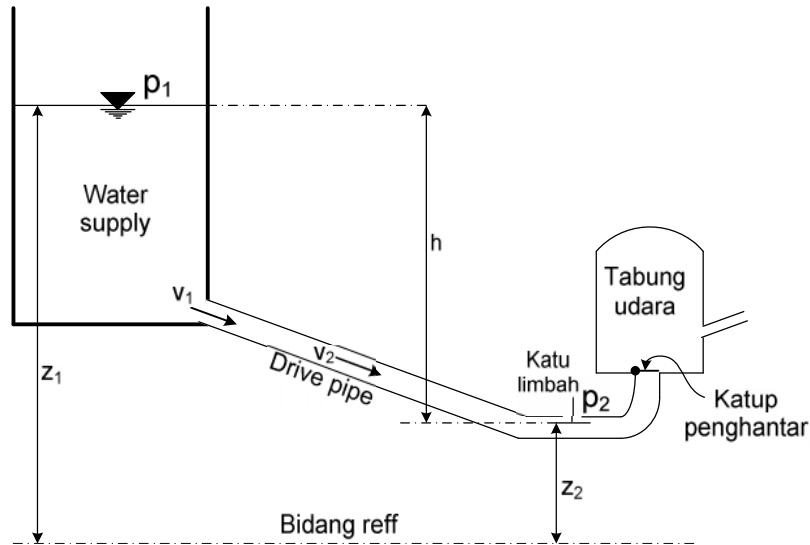
Aliran yang terjadi pada *drive pipe* adalah adanya perbedaan tinggi energi, yaitu energi potensial dan energi kinetik, dan tinggi tekanan dalam sistem pompa tersebut. Oleh karena itu, persamaan energi yang digunakan adalah persamaan Bernoulli untuk menyelesaikan permasalahan aliran di *drive pipe*. Persamaan Bernoulli yang dinyatakan dalam persamaan (1) ini mempresentasikan bahwa jumlah energi dalam suatu sistem aliran tidak berubah.

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{v_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Sigma h_f + \Sigma h_e \quad (1)$$

dengan

- $z_1$  = elevasi muka air di tandan diukur dari rumah pompa (m)
- $p_1$  = tekanan udara pada permukaan air di *water supply* ( $N/m^2$ )
- $v_1$  = kecepatan aliran keluar dari *water supply* (m/dt) (muka air di tandan dipertahankan konstan)
- $\gamma$  = berat volume air ( $N/m^3$ )

- $z_2$  = elevasi rumah pompa (m)
- $p_2$  = tekanan pada katup limbah ( $N/m^2$ )
- $v_2$  = kecepatan aliran pada *drive pipe* (m/dt)
- $\Sigma h_f$  = jumlah kehilangan tenaga akibat gesekan (m)
- $\Sigma h_e$  = kehilangan tenaga sekunder (m)



Gambar 2. Aplikasi persamaan Bernoulli

Kehilangan tenaga akibat gesekan digunakan persamaan dari Darcy-Weisbach (Traitmodjo, 2010)

$$h_f = f \frac{Lv_2^2}{2gD} \tag{2}$$

dengan

- $h_f$  = kehilangan tenaga karena gesekan (m)
- $f$  = koefisien gesek
- $L$  = panjang *drive pipe* (m)
- $v_2$  = kecepatan pada *drive pipe* (m/dt)
- $g$  = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )
- $D$  = diameter *drive pipe* (m)

Kehilangan sekunder yang terjadi adalah (Triatmodjo 2010)

$$h_e = k \frac{v_2^2}{2g} \tag{3}$$

- $h_e$  = kehilangan sekunder (m)
- $k$  = konstanta kehilangan energi sekunder

Kehilangan sekunder sangat tergantung dari sistem pipe drive. Apabila sistem *pipe drive* berupa pipa lurus, maka kehilangan energi sekunder hanya terjadi pada *out-let* pada *water supply*. Nilai  $k$  sesuai dengan bentuk *out-let* dari *water supply*, dalam makalah ini diambil nilai  $k$  sebesar 0,5.

**Water Hammer**

Hukum II Newton dalam ilmu hidraulika sering digunakan untuk menyelesaikan masalah dinamika aliran. Hukum II Newton menyatakan bahwa jumlah gaya yang bekerja pada suatu massa adalah berbanding lurus dengan waktu laju perubahan momentum massa tersebut. Hukum II Newton untuk massa yang konstan secara matematis dinyatakan dalam persamaan (4).

$$F = M \cdot a \tag{4}$$

dengan

- $F$  = gaya (N)
- $M$  = massa (kg)
- $a$  = percepatan sesaat ( $m/dt^2$ )

Percepatan sesat dalam ilmu mekanika secara matematis dinyatakan dengan persamaan (5). (Gancoli, 2001)

$$a = \frac{dv}{dt} \quad (5)$$

Massa aliran yang melalui *drive pipe* adalah

$$M = \rho V \quad (6)$$

dengan

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$V$  = jumlah volume aliran dalam *drive pipe* ( $\text{m}^3$ )

Gaya yang ditimbulkan oleh aliran air adalah

$$F = \rho \frac{V}{dt} dv \quad (7)$$

Pada variabel volume per satuan waktu adalah debit ( $Q$ ) maka gaya yang ditimbulkan oleh aliran air dalam *drive pipe* dapat dinyatakan dalam persamaan (8).

$$F = \rho Q (dv) \quad (8)$$

dengan

$F$  = gaya tumbukan (N)

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$Q$  = debit aliran ( $\text{m}^3$ )

$dv$  = perubahan kecepatan aliran ( $\text{m/dt}$ )

Persamaan (8) adalah besarnya *water hammer* yang membentur pada waste valve sehingga katup limbah tersebut akan terangkat ke atas. *Waste valve* mulai terangkat sebagian air ada yang keluar melalui lubang limbah. Pada saat *waste valve* telah menutup lubang limbah secara penuh maka air mengalirkan air menuju tabung udara (*chamber*). Kemampuan *water hammer* yang terjadi tersebut dapat dinyatakan tiap satu satuan waktu.

### Pi-Theorem

Pi-Theorem adalah salah satu metode untuk menentukan hubungan bilangan tak berdimensi. Bilangan tak berdimensi dapat memberikan gambaran suatu hasil penelitian sehingga hasil tersebut dapat digeneralisir. Jumlah hubungan bilangan tak berdimensi dengan menggunakan Pi-Theorem Method ditentukan oleh parameter penelitian dan jumlah elemen pokok atau dimensi dasar, yaitu  $M, L, T$ . (Yuwono, 1994)

Prosedure penyelesaian Pi-Theorem Method sebagai berikut: (Fengel dan Cimbala, 2006)

1. Tentukan parameter-parameter dalam penelitian dan hitung jumlah parameter tersebut,  $n$
2. Tentukan dimensi pokok untuk setiap  $n$  parameter
3. Masukkan pengurangan  $j$  sebagai dimensi pokoknya, hitung  $k$  sebagai jumlah hubungan bilangan tak berdimensi,  $k = n - j$
4. Pilih  $j$  parameter berulang
5. Buat jumlah  $k \pi$  dan selesaikan
6. Tulis hubungan parameter-parameter yang dicari

### Analisis Hidraulika

Fungsi *drive pipe* hampir sama dengan fungsi pipa penghantar pada pembangkit listrik tenaga air (PLTA) atau *penstock pipe*, maka aliran yang terjadi pada *drive pipe* berupa aliran gravitasi. Gaya berat air sangat berperan untuk terjadinya aliran jenis ini, sehingga dapat dikatakan bahwa adanya perbedaan energi gravitasi sebagai sumber utama aliran. Jumlah energi aliran tersebut merupakan jumlah seluruh energi yang terjadi dalam sistem *drive pipe* tersebut. Perbedaan energi yang terjadi pada *drive pipe* pompa hidram diekspresikan dalam persamaan (9). (lihat Gambar 2)

$$\Delta E = E_1 - E_2 \quad (9)$$

dengan

$\Delta E$  = selisih energi (Joule)

$E_1$  = total energi pada *water supply* (Joule)

$E_2$  = total energi pada *waste valve* (Joule)

Aliran air dalam perjalanan keluar dari *water supply* sampai dengan *waste valve* mengalami gesekan dan perubahan penampang. Proses ini menimbulkan adanya kehilangan energi aliran. Dalam energi aliran dinyatakan bahwa jumlah energi aliran di setiap titik adalah sama, apabila tidak ada energi masuk atau keluar dari sistem tersebut. Pernyataan ini sering disebut dengan Prinsip Bernoulli. (Douglas dan Mathews, 1996)

$$h_f + h_e = E_1 - E_2 \tag{10}$$

$h_f$  = kehilangan energi akibat gesekan sepanjang *drive pipe* (m) (lihat persamaan (2))

$h_e$  = kehilangan energi akibat perubahan penampang selampengaliran (m) (lihat persamaan (3))

$$E_1 = z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{v_1^2}{2g} \tag{11}$$

Persamaan (10) tersebut di atas terdapat kondisi-kondisi batas sebagai berikut; tekanan udara di atas permukaan air di *water supply*  $p_1$  adalah tekanan atmosfer yang terjadi di tempat *water supply* berada sama dengan nol. Kecepatan aliran pada *water supply*  $v_1$  sama dengan nol karena elevasi permukaan air pada *water supply* di pertahankan konstan. Persamaan (11) tersebut dapat ditulis kembali menjadi persamaan (12).

$$E_1 = z_1 \tag{12}$$

Energi yang ditunjukkan dalam persamaan (12) merupakan persamaan tinggi energi potensial gravitasi, karena persamaan energi tersebut merupakan fungsi dari elevasi. Energi inilah yang menimbulkan aliran pada *drive pipe*.

Berdasarkan Gambar 2 di depan energi yang terjadi pada *waste valve* sebagai berikut

$$E_2 = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{v_{wv}^2}{2g} \tag{13}$$

Tekanan  $p_2$  adalah tekanan ditimbulkan akibat dari aliran dalam *drive pipe* yang mengenai *waste valve* sehingga katup tersebut bergerak naik-turun. Kecepatan aliran  $v_{wv}$  adalah kecepatan yang terjadi pada *waste valve*. Kecepatan pada *waste valve* pada saat menutup secara penuh sama dengan nol. Persamaan selisih tinggi energi antara *water supply* dengan *waste valve* adalah

$$h = \frac{p_2}{\rho g} + (h_f + h_e) \tag{14}$$

dengan

$h = z_1 - z_2$  (m)

Aliran Gaya angkat pada *waste valve* sama dengan gaya yang ditimbulkan oleh aliran dengan kecepatan  $v_2$  dalam *drive pipe* dan  $\Delta v_2/\Delta t$  adalah percepatan sesaat menurut Hukum II Newton, maka persamaan (7) dapat diubah menjadi persamaan (15).

$$p_2 = \rho L \frac{dv_2}{dt} \tag{15}$$

dengan  $L$  adalah panjang *drive pipe* (m). Hasil substitusi persamaan (15) ke dalam persamaan (14) adalah

$$\frac{dv_2}{dt} = \frac{g}{L} (h - (h_f + h_e)) \tag{16}$$

Persamaan (16) adalah persamaan diferensial kecepatan aliran dalam *drive pipe* terhadap waktu. Kecepatan maksimum terjadi ketika  $dv_2/dt$  sama dengan nol, yaitu

$$v_{maks} = \sqrt{2gh \left( \frac{D}{fL + kD} \right)} \tag{17}$$

dengan

$v_{maks}$  = kecepatan maksimum di *drive pipe* (m/dt)

$h$  = selisih tinggi energi antara *water supply* dengan *waste valve* (m)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

$D$  = diameter *drive pipe* (m)

$L$  = panjang *drive pipe* (m)

$f$  = koefisien gesek *drive pipe*

$k$  = konstanta kehilangan energi sekunder

Pada kondisi *waste valve* mulai terangkat dicapai pada saat gaya angkat aliran dalam *drive pipe* sama dengan berat beban di atas *waste valve* ( $w$ ) atau  $F = w$ . Hubungan antara berat beban di atas *waste valve* dengan kecepatan saat mulainya katub tersebut akan terangkat adalah

$$w = \rho g A_{wv} \left( h - \left( fL \frac{v_{up}^2}{2gD} - k \frac{v_{up}^2}{2g} \right) \right) \tag{18}$$

Dengan

$w$  = berat beban di atas *waste valve* (N)

$\rho$  = rapat masa air (kg/m<sup>3</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi (m/dt<sup>2</sup>)

- $A_{wv}$  = luas *waste valve* ( $m^2$ )
- $Hh$  = tinggi energi *water supply* terhadap *waste valve* (m)
- $f$  = koefisien gesek *drive pipe*
- $L$  = panjang *drive pipe*
- $v_{up}$  = kecepatan aliran di *drive pipe* ( $m/dt^2$ )
- $D$  = diameter *drive pipe* (m)
- $k$  = koefisien kehilangan energi sekunder

Kecepatan  $v_{up}$  pada persamaan (18) harus lebih kecil dari kecepatan maksimum dalam persamaan (17) tersebut di atas.

Bersamaan dengan menutupnya katup penghantar (*delivery valve*) maka kecepatan pada *drive pipe* akan berkurang. Berkurangnya kecepatan ini mengakibatkan *waste valve* bergerak turun. Gaya saat turunya *waste valve* ini berlangsung ketika gaya aliran dalam *drive pipe* sama besar dengan nilai kekuatan tarik (drag forces,  $F_D$ ). Nilai drag forces sebesar (Çengel dan Cimbala, 2006)

$$F_D = C_D \frac{1}{2} \rho v^2 A \tag{19}$$

dengan

- $F_D$  = drag force pada *waste valve* (N)
- $C_D$  = koefisien drag force =  $13,6/Re$ , untuk lempeng dengan aliran sejajar lempeng (Çengel dan Cimbala, 2006)
- $Re$  = bilangan Reynold
- $\rho$  = rapat massa air ( $kg/m^3$ )
- $v$  = kecepatan aliran ( $m/dt$ )
- $A$  = luas penampang ( $m^2$ )

Aplikasi persamaan (19) pada pompa hidram menghasilkan persamaan (20) berikut

$$v_d = \sqrt{\frac{2g}{C_D}(h - (h_f - h_e))} \tag{20}$$

dengan  $v_d$  adalah kecepatan aliran ketika *waste valve* turun ( $m/dt$ ). Pada kecepatan inilah *waste valve* mulai turun hingga mencapai kecepatan aliran berharga nol. Pada saat kecepatan aliran dalam *drive pipe* adalah nol berarti proses pemompaan berhenti sehingga terjadilah tekanan hidrostatika kemudian pompa bekerja lagi. Hal akan berulang secara terus menerus tanpa henti selama air dalam *water supply* masih mencukupi untuk membangkitkan tenaga.

**Analisis Dimensi**

Bilangan tak berdimensi sangat penting dalam hubungannya dengan masalah hasil suatu penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Pi – Theorem Method adalah salah satu cara untuk menentukan bilangan tak berdimensi. Gaya angkat pada *waste valve* pompa hidram dapat dituliskan sebagai berikut  $F = (h, Q, v, \rho, g)$ . Persamaan gaya angkat tersebut terdapat 6 variabel dan 3 dimensi dasar (M, L, T). Dalam metode ini akan menghasilkan 3 buah hubungan bilangan tak berdimensi. Hubungan tersebut adalah

1.  $\pi_1 = h \cdot g \cdot \rho \cdot Q$
2.  $\pi_2 = h \cdot g \cdot \rho \cdot F$
3.  $\pi_3 = h \cdot g \cdot \rho \cdot v$

Untuk menghasilkan hubungan bilangan tak berdimensi dapat dijelaskan sebagai berikut

$$\pi_1 = h \cdot g \cdot \rho \cdot Q$$

$$[M L T]^0 = [L]^a \left[ \frac{L}{T^2} \right]^b \left[ \frac{M}{L^3} \right]^c \frac{L^3}{T}$$

Untuk dimensi M di dapatkan  $c = 0$

Untuk dimensi L di dapatkan  $a + b - 3c + 3 = 0$

Untuk dimensi T di dapatkan  $2b + 1 = 0$

Penyelesaian ketiga persamaan tersebut di atas di dapatkan  $a = 2\frac{1}{2}$ ,  $b = \frac{1}{2}$ , dan  $c = 0$  sehingga bilangan tak

berdimensi  $\pi_1 = \frac{Q^2}{h^5 g}$

$$\pi_2 = h \cdot g \cdot \rho \cdot F$$

$$[M L T]^0 = [L]^a \left[ \frac{L}{T^2} \right]^b \left[ \frac{M}{L^3} \right]^c \frac{ML}{T^2}$$

Untuk dimensi M di dapatkan  $c + 1 = 0$

Untuk dimensi L di dapatkan  $a + b - 3c + 1 = 0$

Untuk dimensi T di dapatkan  $2b + 2 = 0$

Penyelesaian ketiga persamaan tersebut di atas di dapatkan  $a = 3\frac{1}{2}$ ,  $b = 2\frac{1}{2}$ , dan  $c = 1$  sehingga bilangan tak berdimensi  $\pi_2 = \frac{h^3 \rho F}{g}$

$$[M L T]^{-3} = [L]^a \left[ \frac{L}{T^2} \right]^b \left[ \frac{M}{L^3} \right]^c \frac{L}{T}$$

Untuk dimensi M di dapatkan  $c = 0$

Untuk dimensi L di dapatkan  $a + b - 3c + 1 = 0$

Untuk dimensi T di dapatkan  $2b + 1 = 0$

Penyelesaian ketiga persamaan tersebut di atas di dapatkan  $a = 1$ ,  $b = \frac{1}{2}$ , dan  $c = 0$  sehingga bilangan tak berdimensi

$$\pi_2 = \frac{v^2}{gh}$$

Jadi hubungan bilangan tak berdimensinya adalah

$$\Phi \left( \frac{Q^2}{h^5 g}, \frac{h^3 \rho F}{g}, \frac{v^2}{gh} \right) \quad (21)$$

Dengan

$Q$  = debit aliran ( $m^3/dt$ )

$h$  = selisih tinggi energy antara *water supply* dengan *waste valve* (m)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/dt^2$ )

$\rho$  = rapat massa air ( $kg/m^3$ )

$F$  = gaya angkat aliran pada *waste valve* (N)

$v$  = kecepatan aliran ( $m/dt$ )

### Kesimpulan

1. Hasil analisis hidrolikan memberikan hasil tiga titik ekstrem kecepatan yaitu kecepatan aliran saat *waste valve* mulai terangkat, kecepatan aliran maksimum, dan kecepatan aliran saat *waste valve* mulai turun.
2. Analisis dimensi memberikan tiga hubungan bilangan tak berdimensi dengan tiga variabel pokok yaitu, kecepatan, debit, dan gaya angkat pada *waste valve*. Bilangan tak berdimensi tersebut adalah  $\pi_1 = \frac{Q^2}{H^5 g}$ ,

$$\pi_2 = \frac{H^3 \rho F}{g}, \pi_3 = \frac{v^2}{Hg}$$

### Daftar Pustaka

- Çengel, A., Y., Cimbala, M., J., (2006), "*Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications*", Mc Graw-Hill, United State
- Douglas, J.F., and Mathews, R.D., (1996), "*Solving Problems in Fluid Mechanics*", Addison Wesley Longman Limited, Volume 1
- Giancoli, C.,D., (2001), "*Fisika*", Edisi kelima, Erlangga
- Yuwono, N., (1994), "*Perencanaan Model Hidraulik (Hydraulics Modelling)*", Laboratorium Hidraulik dan Hidrologi Pusat Antar Universitas Ilmu Teknik Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Siregar, H., P., "*Analisis Perencanaan dan Instalasi Pompa Hydraulic Ram di Desa Jinkang – Tanjung Kerta, Sumedang*", [http://180.246.204.45/bahanajar/download/ebooks\\_kimia/makalah/instalasi%20Pompa%20Hydraulic%20Ram.pdf](http://180.246.204.45/bahanajar/download/ebooks_kimia/makalah/instalasi%20Pompa%20Hydraulic%20Ram.pdf), opened 2011.
- Tave, T., (1998), "*Hydraulic Ram Pump*", [www.africantechforum.com/ESME/HydRam2.htm](http://www.africantechforum.com/ESME/HydRam2.htm)
- Triatmodjo, B., (2010), "*Hidraulika II*", Beta Offset, Yogyakarta