

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Kajian Pustaka

Hasbullah (2010) melakukan penelitian *sling Pump* jenis kerucut berskala laboratorium. Dengan pengaruh variasi 6 lilitan selang plastik dan kecepatan putar 40 rpm. *Sling pump* menghasilkan debit sebesar 9,37 liter/menit.

Kurniawan (2015) pernah melakukan penelitian unjuk kerja *sling pump* jenis kerucut menggunakan variasi kecepatan putar dan kondisi pencelupan 50-90%, serta ketinggian *delivery* 2 m. Dari hasil penelitian diketahui debit optimal terjadi pada kecepatan 50 rpm dengan kondisi pencelupan 50% yaitu sebesar 4,71 liter/menit.

Waliyadi (2016) melakukan penelitian *sling pump* dengan variasi ketinggian dan kondisi pengcelupan dengan menggunakan kecepatan maksimal hanya menghasilkan *Head* tertinggi 2 meter dengan debit air 3,46 liter/menit.

Pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya dengan menggunakan *water mur*, debit dan *Head* yang di hasilkan kurang optimal. Hal ini disebabkan karena adanya kebocoran yang terjadi pada *water mur*. Dari penelitian ini dapat dikembangkan dengan melakukan penggantian *water mur* dengan *water swivel joint* supaya tidak ada kebocoran lagi.

Metode yang digunakan pada penelitian *sling pump* dengan variasi jumlah lilitan ini adalah pergantian *water mur* dengan *water swivel joint*. Menggunakan kecepatan putar *sling pump* 40 rpm, dengan ketinggian 2 meter dan kondisi pengecelupan 80%. Serta membandingkan hasil debit yang didapat oleh peneliti sebelumnya.

#### 2.2. Dasar Teori

*Sling pump* diperkenalkan oleh *Archimedes* pada kisaran tahun 287-212 SM. Alat ini digunakan untuk memindah air dari danau keseluruh irigasi pertanian Syracuse di Sicily. Cara kerja pompa ini yaitu ujung engkol diputar menggunakan tenaga manusia, sehingga air akan naik dari elevasi rendah ke elevasi lebih tinggi.

Alat ini kemudian dikenal dengan sebutan “*Archimedean Screw pump*” seperti Gambar 2.1 (Rorres, 2000).



Gambar 2.1. *Archimedean Screw pumps* (Rorres, 2000)

### 2.2.1. *Sling Pump*

Berdasarkan prinsip kerja *Archimedean screw pump* diatas, perlunya sedikit memodifikasi untuk memperoleh sebuah pompa yang bersifat konvensional namun tidak memerlukan energi listrik. Pemodelasian pompa tersebut difokuskan pada penggantian ulir pipa dengan lilitan selang ke rangka pompa dan penggantian poros engkol dengan sebuah *propeller* (balung-balung). Namun, pompa hasil modifikasi ini tidak dapat diaplikasikan lagi di danau, karena pompa ini memerlukan energi aliran sungai untuk memutar propellernya. Dengan demikian, pompa hasil ini hanya dapat diaplikasikan di sungai yang air mengalir sepanjang waktu.

Akibat *propeller* berputar, maka selang sebagai pengganti ulir akan merauk air secara terus menerus, sehingga terjadi tekanan dan laju aliran air di sepanjang lilitan selang yang mengakibatkan air memiliki gaya dorong. Selanjutnya, air akan berpindah dari daerah yang elevasinya rendah menuju daerah yang elevasinya lebih tinggi. Pompa hasil modifikasi ini disebut dengan *sling pump*.

*Sling pump* memiliki beberapa kelebihan yaitu konstruksi *sling pump* sederhana, mudah untuk perawatannya, jumlah komponen *sling pump* sedikit, biaya murah, pengoperasiannya aman dan mampu beroperasi terus menerus selagi ada

aliran sungai. Sedangkan kekurangan *sling pump* yaitu debit yang dihasilkan relatif kecil, debit yang dihasilkan tergantung oleh kecepatan arus sungai, dan relatif digunakan untuk head yang rendah.

### 2.2.2. *Water Swivel Joint*

*Water Swivel Joint* pada Gambar 2.2 merupakan komponen penting dalam industri pengeboran. *Swivel* terletak pada bagian paling atas dari rangkaian pipa bor. Alat ini mempunyai fungsi sebagai berikut:

- a. Memberikan kebebasan rangkaian pipa bor untuk berputar.
- b. Memberikan perpaduan gerak vertikal dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama.
- c. Untuk meneruskan aliran lumpur dari alat yang tidak bergerak ke peralatan yang bergerak pada rangkaian pengeboran.



Gambar 2.2. *Water Swivel Joint* ([www.diedrichdrill.com](http://www.diedrichdrill.com))

Penggunaan *Water Swivel Joint* pada penelitian *sling pump* terletak diantara poros kerangka kerucut *sling pump* dengan pipa *delivery*. Komponen tersebut berfungsi perpaduan gerak vertikal dengan gerak berputar dapat bekerja bersama-sama untuk meneruskan air menuju penampung.

### **2.2.3. Mekanika Fluida**

Mekanika fluida adalah ilmu bagian dari bidang mekanika terapan yang mengkaji perilaku dari gas dan zat-zat cair dalam keadaan bergerak maupun diam. Kebanyakan bahan bisa disebut entah sebagai zat cair, zat padat, atau gas. Walaupun sebagian diantaranya mempunyai sifat-sifat yang memungkinkan diperolehnya sebutan ganda. Sebuah zat padat pada umumnya mempunyai bentuk tertentu, sedangkan zat cair dan gas mempunyai bentuk yang ditetapkan oleh wadahnya masing-masing. Perbedaan pokok antara zat cair dan gas (keduanya digolongkan sebagai fluida) adalah bahwa gas akan menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditempatinya. Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dengan fluida adalah dari karakteristik deformasi bahan-bahan tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketika menerima atau mengalami suatu gaya geser. Fluida boleh didefinisikan sebagai suatu zat yang terus-menerus berubah bentuk apabila mengalami tegangan geser. Fluida tidak mampu menahan tegangan geser tanpa berubah bentuk. Kendati demikian, ada bahan-bahan seperti jeli, cat, ter, larutan polimer yang menunjukkan karakteristik entah zat padat atau fluida tergantung dari tingkat tegangan geser yang dialami (Olson, 1990).

Analisa perilaku aliran fluida didasarkan pada hukum dasar mekanika terapan tentang konversi massa momentum dan hukum termodinamika. Selain biasanya juga diperlakukan hukum lain yang mengatakan sifat/keadaan fluida, hukum newton tentang kekentalan, konsep panjang campur dan penyempitan karena adanya batas.

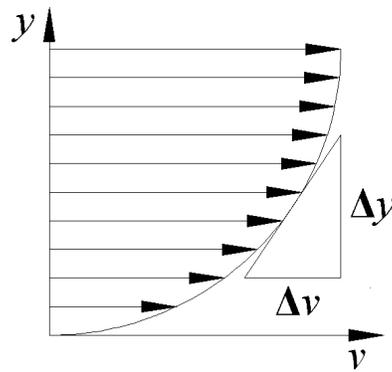
### **2.2.4. Kekentalan (viskositas)**

Diantara semua sifat-sifat fluida, viskositas memerlukan perhatian yang terbesar tentang aliran fluida. Viskositas adalah sifat dari fluida untuk melawan tegangan geser pada waktu bergerak/mengalir. Kekentalan disebabkan oleh kohesi antara partikel fluida (Robert dkk, 2003). Viskositas rendah maksudnya partikel

fluida bergeser dengan mudah seperti air dan kerosin. Viskositas tinggi maksudnya bahwa partikel fluida tidak bergeser dengan mudah seperti oli, fuel, dan aspal.

#### 2.2.4.1. Viskositas dinamik

Menurut *newton*, laju perubahan kecepatan normal/kecepatan aliran sebanding dengan tegangan geser dalam suatu fluida. Laju kecepatan sering disebut dengan gradien kecepatan, seperti pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3. Profil kecepatan dan gradient kecepatan (Streeter, dkk, 1985)

Dari Gambar 2.3, setiap harga yang melalui sumbu  $y$  pada gradien kecepatan dapat didefinisikan sebagai berikut (Olson, 1990):

$$\frac{dv}{dy} = \lim_{\Delta y \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta y} \dots\dots\dots (2.1)$$

Sehingga, tegangan geser fluida yang timbul diformulasikan sebagai (Olson, 1993):

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} \dots\dots\dots (2.2)$$

dengan, -  $\tau$  : Tegangan geser fluida ( $Pa$ )

-  $\mu$  : Viskositas fluida ( $kg/m.s$ )

-  $dv/dy$  : Gradien kecepatan ( $s^{-1}$ )

Persamaan 2.2 adalah persamaan viskositas yang berlaku untuk fluida *Newtonian*. Maka, persamaan 2.2 pada fluida *non Newtonian* akan menjadi (Streeter, 1985):

$$\mu = \frac{\tau}{dv/dy} \dots\dots\dots (2.3)$$

$$\mu = \frac{F/A}{dv/dy} \dots\dots\dots (2.4)$$

Dengan faktor  $\mu$  (viskositas dinamik) kesebandingan yang dikenal sebagai koefesien viskositas dinamik. Pada satuan SI, tegangan geser diekspresikan dalam  $N/m^2$  (*Pa*) dan gradien kecepatan dalam  $(m/s)/m$ , karena itu satuan SI untuk viskositas dinamik adalah (Olson, 1990).

$$\mu = \frac{N/m^2}{(m/s)/m} = \frac{N.s}{m^2} = \frac{kg}{m.s} \dots\dots\dots (2.5)$$

#### 2.2.4.2. Viskositas kinematik

Viskositas kinematik ( $\nu$ ) adalah perbandingan (*ratio*) antara viskositas dinamik ( $\mu$ ) dengan massa jenisnya ( $\rho$ ) (Streeter, 1985).

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (2.6)$$

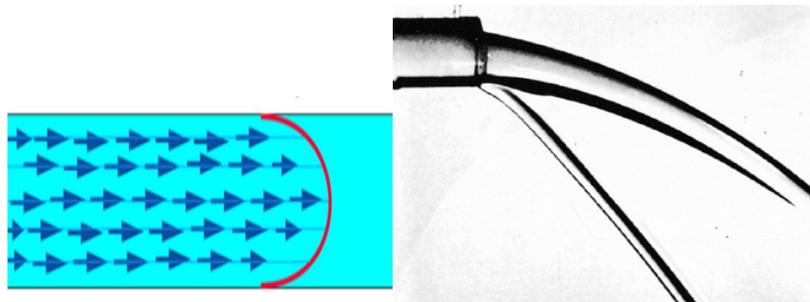
Dalam satuan  $\nu$  untuk SI adalah luas persatuan waktu ( $m^2/s$ ).

Banyak penerapan yang muncul pada viskositas kinematik, misalnya bilangan *Reynolds* yang tanpa dimensi untuk gerakan suatu benda melalui fluida,  $Vl/\nu$ , dimana  $V$  adalah kecepatan benda dan  $l$  ialah suatu ukuran linear yang mewakili ukuran benda tersebut. Dimensi  $\nu$  adalah  $L^2T^{-1}$ . Satuan SI, untuk *viskositas kinematik* adalah  $1 m^2/s$ , dan satuan USC-nya ialah  $1 ft^2/s$ . satuan cgs-nya yang dinamakan *stoke* (*St*) adalah  $1 cm^2/s$ . (Streeter, 1985).

### 2.2.5. Aliran *Laminar* Dan *Turbulen*

Aliran merupakan sebuah keadaan dimana suatu benda umumnya air dan gas berjalan melalui sebuah wadahnya dengan kecepatan tertentu. Banyak faktor yang mempengaruhi kecepatan fluida pada saat air dan gas mengalir. Misalnya, kerapatan jenis fluida dan luas dari wadah yang dilaluinya. Karena hal tersebut sangat terkait satu sama lainnya. Setelah mengetahui luas permukaan dan kecepatan fluidanya, kita bisa mencari tahu berapa besar bilangan Reynold yang ada pada titik-titik wadah yang akan ditinjau. Sehingga bisa ditentukan seberapa besar bilangan reynoldnya dan bisa ditarik kesimpulan apakah aliran tersebut aliran laminar atau aliran turbulen

Aliran *laminar* adalah suatu aliran laminar fluida yang sifat alirannya cenderung stabil seperti pada Gambar 2.4. aliran fluida ini bergerak dengan kondisi lapisan-lapisan yang membentuk garis-garis alir dan tidak berpotongan satu sama lain. Alirannya relatif mempunyai kecepatan rendah, fluidanya bergerak sejajar (*laminar*) dan mempunyai batasan-batasan yang berisi aliran fluida. Aliran *laminar* akan mengalami ketidakstabilan ketika memiliki viskositas dan kecepatan tinggi. Aliran jenis ini akan terjadi apabila bilangan Reynold yang dihasilkan kurang dari 2300.

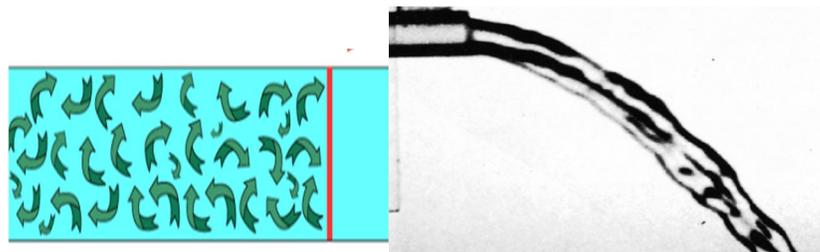


Gambar 2.4. Aliran *Laminar* keluar melalui pipa (Olson, 1990).

Aliran *turbulen* adalah suatu aliran fluida yang partikel-partikelnya bergerak secara acak dan tidak sinergi menuju suatu arah saja, melainkan memiliki arah masing-masing yang bahkan banyak yang berlawanan arah seperti pada Gambar 2.5. Hal ini terjadi, karena akibat dari kecepatan yang berubah-ubah dan pada kecepatan

yang relatif tinggi, sehingga alirannya bertabrakan dengan dinding wadah. Aliran jenis ini akan terjadi apabila bilangan Reynold yang dihasilkan lebih besar dari 4000.

Sedangkan aliran yang terjadi pada besaran bilangan Reynold antara 2300-4000 adalah aliran perubahan dari aliran laminer menuju turbulen, biasa disebut aliran transisi.



Gambar 2.5. Aliran *turbulen* keluar melalui pipa (Olson, 1990).

Pada Gambar 2.6 adalah batasan bilangan Re untuk mengetahui sebuah aliran bersifat *laminar* atau *turbulen* maka dapat dibedakan dengan menggunakan bilangan Reynold, yaitu (Clifford, 1984):

Nilai Re:

$Re < 2300$  : *Laminar*

$2300 \leq Re \leq 4000$  : *Transisi*

$Re > 4000$  : *Turbulen*

$$Re_d = \frac{\rho \cdot v \cdot d}{\mu} \dots\dots\dots (2.7)$$

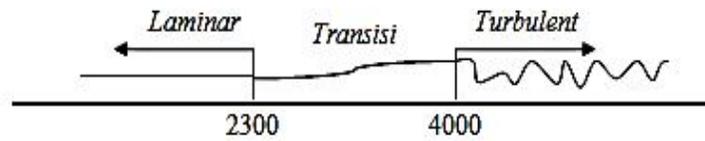
dengan, -  $v$  : Kecepatan aliran ( $m/s$ )

-  $\rho$  : Massa jenis ( $kg/m^3$ )

-  $\mu$  : Viskositas dinamik ( $kg/m.s$ )

-  $Re_d$  : Bilangan *Reynolds*

-  $d$  : Diameter dalam pipa ( $m$ )



Gambar 2.6. Batasan bilangan *Reynolds* ( $Re_d$ ) (Kurniawan,2012)

### 2.2.6. Tegangan Permukaan

Tegangan permukaan adalah gaya atau tarikan ke bawah yang menyebabkan permukaan cairan berkontraksi dan benda dalam keadaan tegang. Hal ini disebabkan oleh gaya-gaya tarik yang tidak seimbang pada antar muka cairan. Gaya ini biasa segera diketahui pada kenaikan cairan biasa dalam pipa kapiler dan bentuk suatu tetesan kecil cairan. Tegangan permukaan merupakan fenomena menarik yang terjadi pada zat cair (fluida) yang berada dalam keadaan diam (statis).

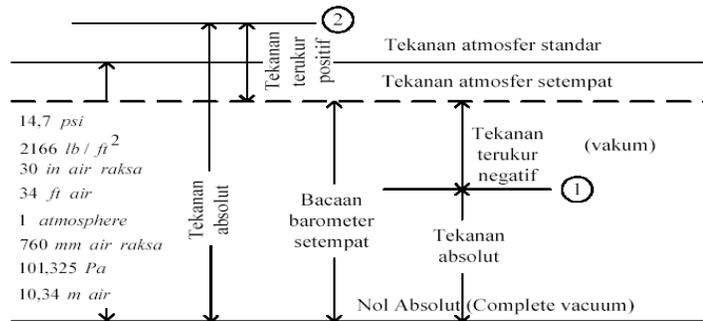
Menurut Triatmodjo (1991) tegangan permukaan  $\sigma$  (sigma) bekerja pada bidang permukaan yang sama besar disemua titik. Gaya tarik yang bekerja pada permukaan akan berusaha meminimumkan luas permukaan. Oleh karena itu, tetesan zat cair akan berusaha untuk berbentuk bulat agar luas permukaannya minimum.

### 2.2.7. Kapilaritas

Kapilaritas disebabkan oleh gaya kohesi dan adesi. Kohesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang sama jenisnya. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain tidak dapat menempel karena molekulnya saling tolak menolak. Sedangkan adesi adalah gaya tarik menarik antar molekul yang berbeda jenisnya. Gaya ini menyebabkan antara zat yang satu dengan yang lain dapat menempel dengan baik karena molekulnya saling tarik menarik atau melekat. Di dalam suatu tabung yang dimasukkan ke dalam zat cair, jika kohesi lebih kecil dari adesi maka zat cair akan naik, jika kohesi lebih besar dari adesi maka zat cair akan turun (Triatmodjo, 1991).

**2.2.8. Skala Tekanan**

Tekanan absolut adalah tekanan yang diukur terhadap tekanan nol absolut atau vakum absolut (*Absolute Zero*), sedangkan tekanan relatif atau tekanan terukur (*gauge pressure*) adalah tekanan yang diukur terhadap tekanan atmosfer setempat yang dapat diilustrasikan pada Gambar 2.7. Tekanan terukur dapat lebih besar atau lebih kecil dari pada tekanan atmosfer setempat. Tekanan terukur yang lebih besar dari tekanan atmosfer setempat disebut dengan tekanan positif, sedangkan yang lebih kecil dari tekanan atmosfer setempat adalah tekanan negatif (Triatmodjo, 1991).



Gambar 2.7. Skala takanan (Streeter, 1985)

*Standard atmospheric pressure* adalah tekanan rata-rata pada permukaan air laut. Pada titik 1, memiliki tekanan *absolute* sebesar (Streeter, 1985)

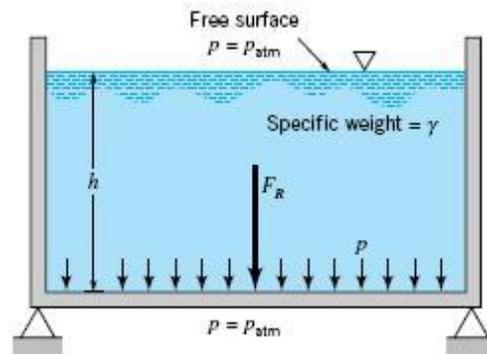
$$P_{abs} = P_{atm} - P_{vakum} \dots\dots\dots (2.8)$$

Sedangkan pada titik 2:

$$P_{abs} = P_{atm} + P_{gauge} \dots\dots\dots (2.9)$$

**2.2.9. Tekanan hidrostatis**

Tekanan hidrostatis adalah suatu tekanan yang terjadi di bawah air. Tekanan tersebut terjadi karena adanya berat air itu sendiri yang membuat air tersebut mengeluarkan tekanan yang dapat diilustrasikan pada Gambar 2.8. Tekanan air bergantung pada kedalaman air (*h*) di dalam sebuah ruang dan gravitasi (*g*).



Gambar 2.8. Tekanan hidrostatik (Munson dkk., 2003)

Hubungan berat air terhadap ruangan dan gravitasi ini dirumuskan sebagai berikut:

$$P = \rho \cdot g \cdot h \dots \dots \dots (2.10)$$

dengan, -  $P$  : Tekanan hidrostatik ( $N/m^2$ )

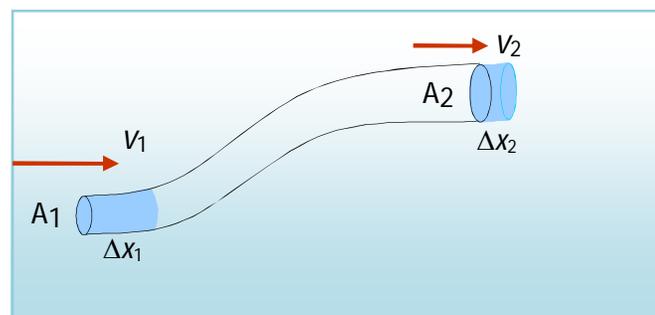
-  $\rho$  : Massa jenis cairan ( $kg/m^3$ )

-  $g$  : Percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

-  $h$  : Kedalaman cairan ( $m$ )

### 2.2.10. Persamaan Kontinuitas

Aliran fluida *internal* tak mampu mampat adalah aliran di dalam suatu garis aliran yang penampangnya berupa kurva tertutup seperti Gambar 2.9 dan massa jenis fluida sepanjang medan aliran adalah tetap (tidak berubah).



Gambar 2.9. Aliran fluida *internal* ( Raymond,2000).

Pada interval waktu sebesar  $\Delta t$ , laju aliran massa fluida yang berada di ujung bawah bergerak sejauh  $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$ . Laju aliran massa fluida yang berada di ujung bawah adalah (Streeter, 1985) :

$$\dot{m}_1 = \rho_1 A_1 \Delta x_1 = \rho_1 A_1 v_1 \Delta t \dots\dots\dots (2.11)$$

Sedangkan besar laju aliran massa fluida yang berada di ujung atas adalah:

$$\dot{m}_2 = \rho_2 A_2 \Delta x_2 = \rho_2 A_2 v_2 \Delta t \dots\dots\dots (2.12)$$

Karena *incompressible* dan *steady*, maka persamaan 2.12 disubsitusikan ke persamaan 2.13, sehingga menjadi :

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \rho_1 \cdot A_1 \cdot v_1 &= \rho_2 \cdot A_2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2.13) \end{aligned}$$

Persamaan 2.14 disebut dengan persamaan kontiunitas. Dalam bentuk lain persamaan kontiunitas ini dapat ditulis :

$$\begin{aligned} A_1 \cdot v_1 &= A_2 \cdot v_2 = Q \\ D_1^2 \cdot v_1 &= D_2^2 \cdot v_2 \dots\dots\dots (2.14) \end{aligned}$$

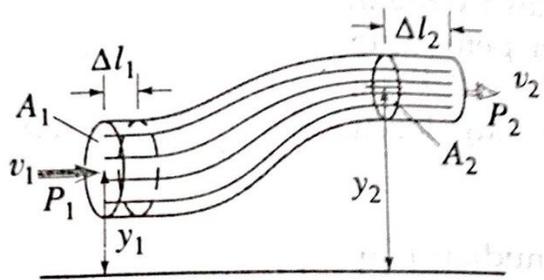
- dengan, -  $Q$  : Debit ( $m^3/s$ )  
 -  $v$  : Kecepatan aliran ( $m/s$ )  
 -  $A$  : Luas penampang ( $m^2$ )  
 -  $\dot{m}$  : Laju aliran massa ( $kg/s$ )

Persamaan 2.14 di atas disebut dengan persamaan *kontiunitas*.

### 2.2.11. Persamaan Bernoulli

Prinsip *Bernoulli* adalah sebuah istilah di dalam mekanika fluida yang menyatakan bahwa jika pada suatu aliran fluida mengalami peningkatan kecepatan dan ketinggian fluida terhadap suatu referensi maka akan menimbulkan penurunan tekanan pada aliran tersebut. Prinsip *bernoulli* seperti Gambar 2.10, merupakan

penyederhanaan dari persamaan energi mekanik yang menyatakan bahwa jumlah energi pada suatu titik di dalam suatu aliran tertutup sama besarnya dengan jumlah energi di titik lain pada jalur aliran yang sama.



Gambar 2.10. Prinsip *Bernoulli* (Olson, 1990)

Dengan meninjau gambar 2.10 di atas, pada bagian luas penampang  $A_1$ , usaha yang dilakukan oleh  $P_1$  sejauh  $\Delta x_1$  adalah (Olson, 1990)

$$\Delta W_1 = P_1 A_1 \Delta x_1 = P_1 \Delta V_1 \dots\dots\dots(2.15)$$

Selanjutnya, pada bagian luas penampang  $A_2$ , usaha yang dilakukan  $P_2$  sejauh  $\Delta x_2$ , adalah (Olson, 1990)

$$\Delta W_2 = P_2 A_2 \Delta x_2 = P_2 \Delta V_2 \dots\dots\dots (2.16)$$

- dengan, -  $P$  : Tekanan ( $Pa$ )  
 -  $A$  : Luas penampang ( $m^2$ )  
 -  $\Delta x$  : Perubahan panjang kolom fluida ( $m$ )  
 -  $\Delta V$  : Perubahan volume fluida ( $m^3$ )  
 -  $\Delta W$  : Perubahan kerja (joule)

$$P_1 + \rho g z_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \rho g z_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 \dots\dots\dots (2.17)$$

atau,

$$P + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{tetap}$$

- dengan, -  $v$  : Kecepatan fluida ( $m/s$ )  
 -  $g$  : Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )  
 -  $z$  : Ketinggian relatif ( $m$ )  
 -  $P$  : Tekanan fluida ( $Pa$ )

Persamaan 2.17 di atas, disebut dengan persamaan *Bernoulli* yang digunakan untuk perhitungan aliran fluida ideal atau tanpa gesekan dan tak mampu mampat (*incompressible*). Jika persamaan pada 2.17 dikalikan dengan volume jenis (*Spesific Volume*) dari suatu fluida atau zat, maka persamaan *Bernoulli* akan menjadi:

$$v = \frac{1}{\rho} \Rightarrow \text{Volum jenis (Spesific Volume)}$$

$$\frac{P_1}{\rho} + gz_1 + \frac{1}{2}v_1^2 = \frac{P_2}{\rho} + gz_2 + \frac{1}{2}v_2^2 \dots\dots\dots (2.18)$$

Selanjutnya, persamaan 2.18 kembali dikalikan dengan percepatan gravitasi ( $1/g$ ), maka bentuk persamaan *Bernoulli* menjadi:

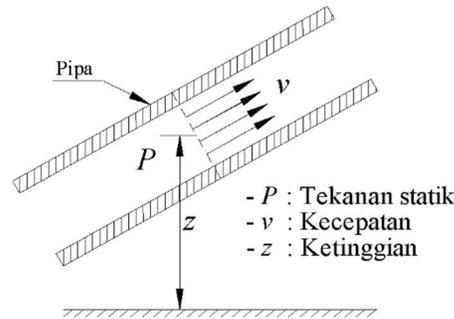
$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} \dots\dots\dots (2.19)$$

atau,

$$H_1 = H_2 \dots\dots\dots (2.20)$$

- dengan, -  $\gamma$  : Berat jenis zat cair persatuan volume ( $\text{kg/m}^3 \cdot \text{s}^2$ )  
 -  $H_1$  : *Head* total 1  
 -  $H_2$  : *Head* total 2

Persamaan *Bernoulli* di atas juga disebut dengan persamaan *Head*. Pada tiap-tiap suku pada persamaan 2.19 yaitu  $P/\gamma$ ,  $v^2/2g$ , dan  $z$  berturut-turut disebut dengan *head tekanan*, *head kecepatan*, dan *head potensial*. *Head* adalah energi mekanik yang dikandung oleh satu satuan berat ( $1\text{kgf}$ ) zat cair yang mengalir pada sebuah luasan penampang. Satuan energi persatuan berat adalah ekuivalen dengan satuan panjang atau tinggi. Maka, *head* total ( $H$ ) yang merupakan penjumlahan dari ketiga suku tersebut adalah energi mekanik total persatuan berat zat cair, dan dinyatakan dengan satuan tinggi kolom zat cair dalam meter seperti skema Gambar 2.11 (Sularso, 2000).



Gambar 2.11. Aliran melalui pipa (Sularso, 2000)

### 2.2.12. Perhitungan *Head Loss*

Perubahan terjadi pada saat tekanan aliran air karena adanya perubahan kecepatan ( $v$ ), perubahan ketinggian ( $z$ ), gesekan air terjadi dinding pipa ( $A_s$ ) dan akibat perubahan penampang ( $A_p$ ). Gesekan yang terjadi pada dinding pipa yang diakibatkan oleh perubahan tekanan aliran air disepanjang pipa dapat dianalisa melalui persamaan Bernoulli yang dimodifikasi yaitu (Clifford, 1984).

$$H_1 = H_2 + h_L$$

$$\frac{P_1}{\gamma} + z_1 + \frac{v_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\gamma} + z_2 + \frac{v_2^2}{2g} + h_L \dots\dots\dots (2.21)$$

Persamaan 2.21 merupakan persamaan *Bernoulli* yang dimodifikasi karena adanya gesekan fluida terhadap dinding pipa. Akibat dari gesekan fluida pada dinding pipa akan menimbulkan penurunan tekanan atau *head loss* di sepanjang aliran. Secara umum kehilangan tekanan akibat tegangan gesek atau kerugian ini digolongkan menjadi dua macam kerugian aliran yaitu kerugian *major* dan kerugian *minor*.

Kerugian *major* adalah kehilangan tekanan yang terjadi akibat gesekan aliran fluida pada pipa lurus. Sedangkan kerugian *minor* adalah kehilangan tekanan yang terjadi di selain pipa lurus misalnya kerugian pada katup-katup, sambungan  $L$ , sambungan  $T$  dan sebagainya. Dua kerugian aliran fluida akibat gesekan di sepanjang komponen aliran ini disebut dengan *head loss*.

### 2.2.12.1. Perhitungan *Head Loss Mayor*

Pada aliran *laminar* nilai koefisien gesek hanya sebagai fungsi bilangan *Reynolds* saja, karena aliran *laminar* tidak dipengaruhi oleh faktor kekasaran permukaan pipa. Namun dengan semakin tingginya bilangan *Reynolds*, maka koefisien gesekan ( $f$ ) hanya sebagai fungsi dari kekasaran relatif permukaan pipa. Pada kondisi ini, rejim aliran dikatakan mencapai kekasaran penuh sehingga alirannya adalah *turbulen*.

Penurunan tekanan ( $P$ ) pada aliran *turbulen* merupakan fungsi dari bilangan *Reynolds* ( $Re_d$ ), perbandingan panjang dan diameter pipa ( $L/D$ ), serta kekasaran relatif pipa ( $\epsilon/D$ ). *Head loss mayor* dihitung dari persamaan *Darcy-Weisbach*, yaitu : (Clifford, 1984).

$$h_{LMY} = f \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.22)$$

- dengan, -  $h_{LMY}$  : *Head loss mayor* ( $m$ )  
 -  $f$  : Koefisien gesek  
 -  $L$  : Panjang pipa ( $m$ )  
 -  $D$  : Diameter dalam pipa ( $m$ )  
 -  $g$  : Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

Koefisien gesek pipa ( $f$ ) dapat diketahui melalui diagram *Moody* yang disajikan pada Lampiran.

Selain dari diagram *Moody*, koefisien gesek ( $f$ ) pada pipa juga dapat dicari melalui persamaan *Blasius*. Persamaan *Blasius* ini hanya berlaku pada aliran *turbulen* pada kondisi pipa halus (*smooth pipe*) dengan bilangan *Reynolds* ( $Re_d < 10^5$ ), sehingga faktor kekasaran relatif adalah (Clifford, 1984).

$$f = \frac{0,3164}{Re_d^{0,25}} \dots\dots\dots (2.23)$$

Perhitungan besarnya angka kekasaran relatif ( $f$ ) pada aliran *laminar* dapat dicari dengan menggunakan rumus dibawah ini (Clifford, 1984).

$$f = \frac{64}{\text{Re}} \dots\dots\dots (2.24)$$

### 2.2.12.2. Perhitungan *Head Loss Minor*

*Head loss minor* merupakan kerugian-kerugian aliran kecil yang dapat dihitung secara umum melalui persamaan (Clifford, 1984).

$$h_{LM} = K \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.25)$$

- dengan, -  $h_{LM}$  : *Head loss minor* ( $m$ )  
 -  $K$  : Koefisien tahanan *head loss minor*  
 -  $g$  : Percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ )

Pada aliran yang melewati belokan dan katup koefisien tahanan ( $K$ ) merupakan fungsi dari *ratio* panjang ekuivalen komponen pipa, diameter komponen pipa ( $L_e/D$ ), dan kekasaran relatif pipa ( $f$ ). Besarnya kehilangan energi (*head loss minor*) yang terjadi pada komponen belokan dan katup dapat dihitung dengan rumusan seperti pada *head loss mayor* yaitu (Clifford, 1984).

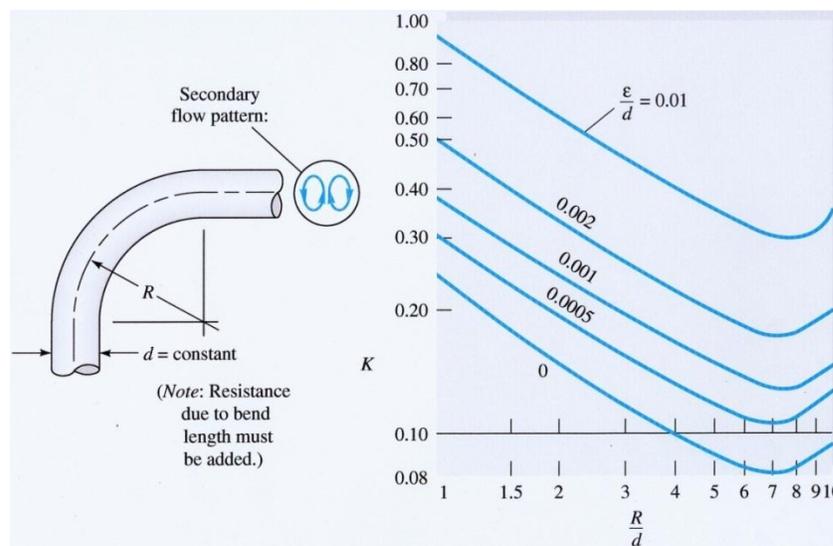
$$h_{LM} = f \cdot \frac{L_e}{D} \cdot \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots (2.26)$$

karena,

$$f \frac{L_e}{D} = K \dots\dots\dots (2.27)$$

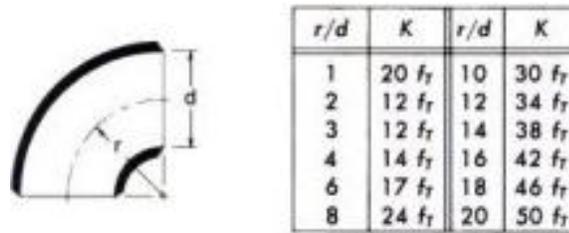
- dengan,  $h_{LM}$  : *Head loss minor* ( $m$ )  
 -  $f$  : Kekasaran relatif dari diagram *Moody*  
 -  $L_e$  : Panjang ekuivalen dari komponen ( $m$ )  
 -  $D$  : Diameter komponen katup dan pipa ( $m$ )  
 -  $K$  : Koefisien tahanan

Aliran fluida yang melewati belokan atau *elbow* menimbulkan *head loss* yang lebih besar dari pada aliran yang mengalami pengecilan maupun mengalami pembesaran secara mendadak. Pada aliran fluida yang melewati belokan, harga koefisien tahanan dipengaruhi oleh *radius* kelengkungan atau kurva belokan pipa. Semakin kecil *radius* kelengkungan belokan maka semakin besar koefisien tahanan belokan. Koefisien tahanan tersebut dapat diketahui melalui Gambar 2.12.



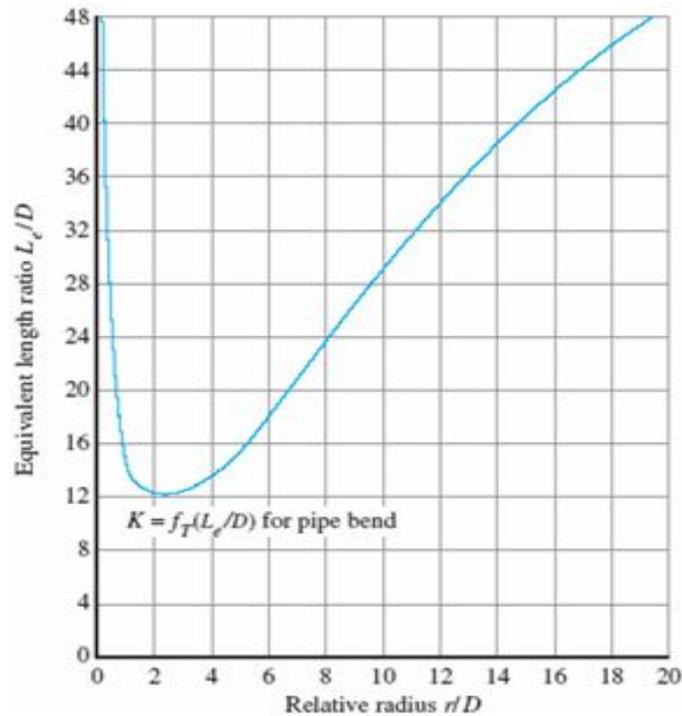
Gambar 2.12. Koefisien tahanan ( $K$ ) pada belokan pipa (*bends*  $90^\circ$ ) (Munson dkk., 2003)

Untuk sambungan yang kelengkungannya halus, koefisien tahanan akan lebih kecil namun pembuatannya lebih sulit dan harganya lebih mahal. Pada Gambar 2.3 menunjukkan nilai belokan yang kelengkungannya dibentuk dari penyambungan pipa lurus yang disebut dengan *bends*, koefisien tahanan akan lebih tinggi namun proses pembuatan yang lebih mudah dan harganya jauh lebih murah.



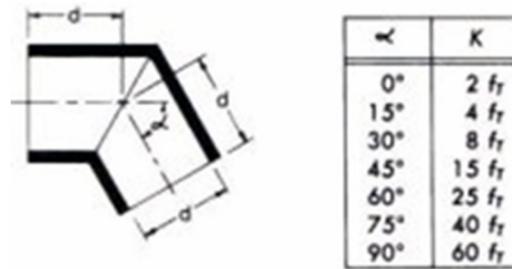
Gambar 2.13. Koefisien tahanan pada *bends*  $90^\circ$  (Clifford, 1984).

Untuk mencari nilai *Ratio* ( $L_e/D$ ) pada belokan pipa  $90^\circ$  dapat dicari dari Gambar 2.14.



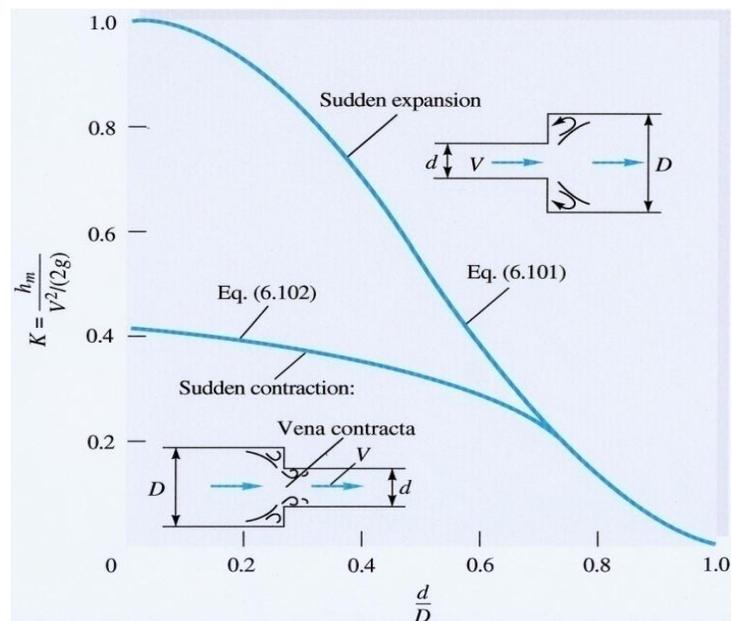
Gambar 2.14. Perbandingan antara panjang ekuivalen terhadap diameter dalam pipa ( $L_e/D$ ) pada belokan pipa  $90^\circ$  (White, 1998)

Gambar 2.15 dibawah ini dapat diketahui nilai aliran yang melewati belokan patah (*mitre bends*) koefisien tahanan *minor* ( $K$ ) merupakan fungsi dari sudut belokan.



Gambar 2.15. Koefisien tahanan ( $K$ ) pada belokan patah (*mitre bends*) (Clifford, 1984)

Pada aliran fluida yang melewati sebuah pipa mengalami pengecilan dan pembesaran penampang secara mendadak seperti Gambar 2.16 yang menunjukkan nilai koefisien tahanan ( $K$ ) merupakan *ratio* perbandingan antara diameter pipa besar dengan diameter pipa kecil.



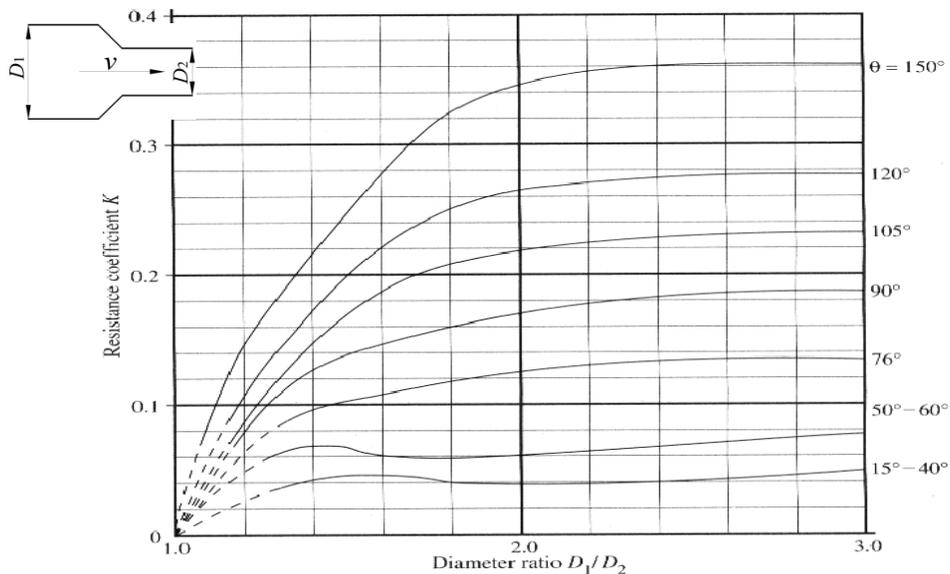
Gambar 2.16. Grafik koefisien tahanan pada pengecilan dan pembesaran penampang secara mendadak (White, 1998)

Pada aliran yang mengalami pembesaran penampang secara mendadak (*sudden expansion*), penurunan tekanan (*minor losses*) dihitung melalui persamaan 2.28.

$$h_{LM} = K \cdot \frac{(v_1 - v_2)^2}{2g} \dots\dots\dots (2.28)$$

- dengan, -  $K$  : Faktor tahanan *head loss minor* pada *sudden expansion*  
 -  $v_1$  : Kecepatan aliran pada pipa kecil ( $m/s$ )  
 -  $v_2$  : Kecepatan aliran pada pipa besar ( $m/s$ )

Penurunan tekanan ( $P$ ) akibat pengecilan penampang secara mendadak (*sudden contraction*) atau secara *gradual contraction*, perhitungan *head loss minor* mengacu pada persamaan 2.28 di atas. Untuk perubahan penampang secara *gradual contraction*, koefisien tahanan ( $K$ ) dapat dicari melalui gambar 2.17.



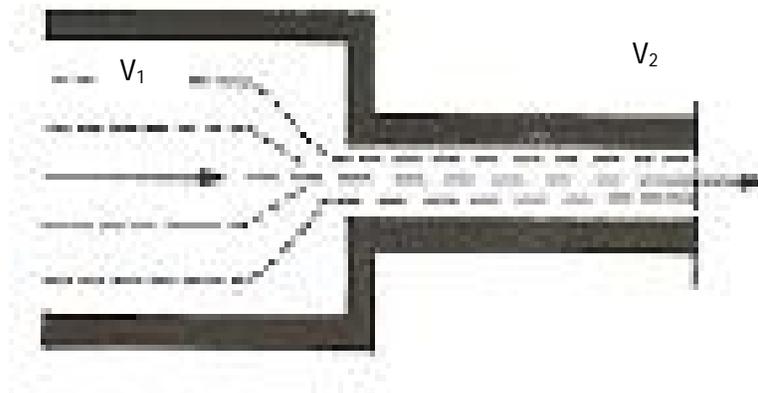
Gambar 2.17. Grafik koefisien tahanan pada *gradual contraction* (Munson dkk., 2003)

Koefisien tahanan ( $K$ ) untuk *sudden expansion* juga dapat diketahui melalui analisis seperti pada persamaan 2.29 dibawah ini (Munson dkk., 2003).

$$K = \left[ 1 - \left( \frac{A_1}{A_2} \right) \right]^2 = \left[ 1 - \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \dots\dots\dots (2.29)$$

- Dengan, -  $K$  : Faktor tahan *head loss minor*  
 -  $A_1$  : Penampang pipa kecil ( $m^2$ )  
 -  $A_2$  : Penampang pipa besar ( $m^2$ )  
 -  $D_1$  : Diameter pipa kecil ( $m$ )  
 -  $D_2$  : Diameter pipa besar ( $m$ )

Pada Gambar 2.18 menunjukkan aliran air melewati sebuah pipa mengalami pengecilan penampang secara mendadak maka disebut dengan istilah *sudden contraction*.



Gambar 2.18. Penyempitan mendadak (Santoso, 2012)

Dengan persamaan kontinuitas (Munson dkk., 2003):

$$V_1 \cdot C_c \cdot A_2 = V_2 \cdot A_1$$

Dimana  $C_c$  sebagai koefisien penyempitan yaitu luas jet di penampang 1 dibagi luas penampang di titik 2 (Munson dkk., 2003).

$$h_c = \left( \frac{1}{C_c} - 1 \right) \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)} \dots \dots \dots (2.30)$$

Untuk lubang masuk pipa dari reservoir (Munson dkk., 2003).

$$h_c = K \times \frac{V_2^2}{(2 \times g)} \dots\dots\dots (2.31)$$

### 2.2.13. Head Total Pompa ( $H_{Pump}$ )

*Head* total pompa merupakan jumlah dari *head* secara keseluruhan yang dibutuhkan untuk:

- Mengatasi kerugian aliran akibat gesekan-gesekan (*head loss*).
- Membangkitkan tekanan ( $P$ ) yang tinggi pada sisi masuk, sehingga dapat mengalirkan fluida dengan debit ( $Q$ ) sesuai yang direncanakan.
- Mengatasi beda elevasi  $\Delta z$ .

*Head* total pompa yang harus disediakan untuk mengalirkan sejumlah air seperti yang direncanakan, dapat ditentukan dari kondisi pompa. *Head* total pompa dapat ditulis sebagai berikut (Clifford, 1984):

$$H_{Pump} = \frac{\Delta P}{\gamma} + h_L + \Delta z + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2g} \dots\dots\dots (2.32)$$

- dengan, -  $H_{Pump}$  : *Head* total pompa ( $m$ )
- $\Delta z$  : Perbedaan ketinggian antar titik isap dan titik keluar ( $m$ )
  - $\Delta P$  : Perbedaan tekanan statik ( $m$ )
  - $\gamma$  : Berat jenis air per satuan volume ( $N/m^3$ )
  - $h_L$  : Kerugian aliran total dimana [ $h_L = h_{LMY} + h_{LM}$ ]
  - $v_2$  : Kecepatan di titik isap ( $m/s$ )
  - $v_1$  : Kecepatan di titik keluar ( $m/s$ )