

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)

Energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik. Pemanfaatan energi air pada dasarnya adalah pemanfaatan energi potensial gravitasi. Energi mekanik aliran air yang merupakan transformasi dari energi potensial gravitasi dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin atau kincir. Umumnya turbin digunakan untuk membangkitkan energi listrik, sedangkan kincir untuk pemanfaatan energi mekanik secara langsung dan dari energi mekanik tersebut dikonversi menjadi energi listrik. Pada umumnya untuk mendapatkan energi mekanik aliran air ini, perlu beda tinggi air yang diciptakan dengan menggunakan bendungan. Akan tetapi dalam menggerakkan kincir, aliran air pada sungai dapat dimanfaatkan ketika kecepatan alirannya memadai (anonim,2004).

Pemanfaatan energi air dalam skala kecil dapat berupa penerapan kincir air dan turbin. Dikenal ada tiga jenis kincir air berdasarkan sistem aliran airnya, yaitu *overshot*, *breast-shot*, dan *under-shot*. Pada kincir *overshot*, air melalui atas kincir dan kincir berada di bawah aliran air. Air memutar kincir dan air jatuh ke permukaan lebih rendah. Kincir bergerak searah jarum jam. Pada kincir

*breast-shot*, kincir diletakkan sejajar dengan aliran air sehingga air mengalir melalui tengah-tengah kincir. Air memutar kincir berlawanan dengan arah jarum jam. Pada kincir *under-shot*, posisi kincir air diletakkan agak ke atas dan sedikit menyentuh air. Aliran air yang menyentuh kincir menggerakkan kincir sehingga berlawanan arah dengan jarum jam.

Pemanfaatan energi listrik skala kecil dengan menggunakan turbin contohnya adalah mikrohidro.



**Gambar 2.1** Contoh turbin pada mikrohidro tipe open flume (Hablinur Al-kindhi, 2011)

## **B. Mikrohidro**

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air.

Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin, dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu. Pada dasarnya, mikrohidro memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Di samping faktor geografis (tata letak sungai), tinggi jatuhnya air dapat pula diperoleh dengan membendung aliran air sehingga permukaan air menjadi tinggi. Air dialirkan melalui sebuah pipa pesat ke dalam rumah pembangkit yang pada umumnya dibangun di bagian tepi sungai untuk menggerakkan turbin atau kincir air mikrohidro.

Energi mekanik yang berasal dari putaran poros turbin akan diubah menjadi energi listrik oleh sebuah generator. Mikrohidro bisa memanfaatkan ketinggian air yang tidak terlalu besar, misalnya dengan ketinggian air 2,5 meter dapat dihasilkan listrik 400 watt. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan PLTA skala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Hal tersebut merupakan salah satu keunggulan mikrohidro, yakni tidak menimbulkan kerusakan lingkungan. Perbedaan antara Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dengan mikrohidro terutama pada besarnya tenaga listrik yang dihasilkan, PLTA dibawah ukuran 100 KW digolongkan sebagai mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. (Soetarno, 1975).

Beberapa komponen yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro baik komponen utama maupun bangunan penunjang, antara lain (Anonim,2004):

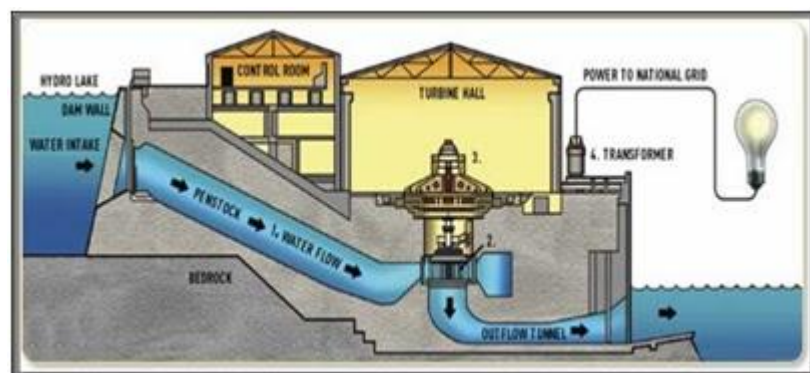
1. Dam/Bendungan Pengalih (*intake*). Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap.
2. Bak Pengendap (*Settling Basin*). Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.
3. Saluran Pembawa (*Headrace*). Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.
4. Pipa Pesat (*Penstock*). *Penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin.
5. Turbin. Turbin berfungsi untuk mengkonversi energi aliran air menjadi energi putaran mekanis.
6. Pipa Hisap. Pipa hisap berfungsi untuk menghisap air, mengembalikan tekanan aliran yang masih tinggi ke tekanan atmosfer.
7. Generator. Generator berfungsi untuk menghasilkan listrik dari putaran mekanis.

8. Panel kontrol. Panel kontrol berfungsi mengatur dan mengendalikan beban listrik yang menggunakan motor listrik sebagai penggerakannya.
9. Pengalih Beban (*Ballast load*). Pengalih beban berfungsi sebagai beban sekunder (*dummy*) ketika beban konsumen mengalami penurunan. Kinerja pengalih beban ini diatur oleh panel kontrol.

Penggunaan beberapa komponen disesuaikan dengan tempat instalasi (kondisi geografis, baik potensi aliran air serta ketinggian tempat) serta budaya masyarakat. Sehingga terdapat kemungkinan terjadi perbedaan desain mikrohidro serta komponen yang digunakan antara satu daerah dengan daerah yang lain.

### C. Prinsip Kerja Mikrohidro

Pembangkit listrik tenaga mikrohidro pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.



**Gambar 2.2** Skema PLTMH

(<http://basuhpower.blogspot.com>. 2012)

Pembangunan PLTMH perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak PLTMH. Bendungan ini dapat berupa bendungan beton atau bendungan beronjong. Bendungan perlu dilengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

Di dekat bendungan dibangun bangunan pengambilan (*intake*). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan saluran penghantar yang berfungsi mengalirkan air dari *intake*. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup. Di ujung saluran pelimpah dibangun kolam pengendap. Kolam ini berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Saluran ini dibuat dengan memperdalam dan memperlebar saluran penghantar dan menambahnya dengan saluran penguras. Kolam penenang (*forebay*) juga dibangun untuk menenangkan aliran air yang akan masuk ke turbin dan mengarahkannya masuk ke pipa pesat (*penstok*). Saluran ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat.

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di kolam penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol, lalu dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan *flens*. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya. Pondasi dan

dudukan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan.

Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian *inlet*. Di dalamnya terdapat *guided vane* untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner/blade* (komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar *runner* dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin. Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Seluruh sistem ini harus seimbang. Turbin perlu dilengkapi *casing* yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*. Pada bagian bawah *casing* terdapat pengunci turbin. Bantalan (*bearing*) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar.

#### **D. Turbin Air**

Suatu turbin dapat direncanakan dengan baik bila diketahui tinggi energi, yaitu tinggi muka air ditambah tinggi kecepatan tepat di muka turbin. Telah diketahui bahwa kehilangan tinggi disebabkan oleh, gesekan dalam pipa,

belokan, katup, penyempitan diameter, (Patty, 1995). Turbin adalah mesin yang digunakan untuk mengkonversi energi potensial menjadi energi mekanik berupa putaran pada sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Putaran poros turbin ini ditransmisikan ke generator untuk membangkitkan energi listrik. Data awal yang diperlukan agar diperoleh jenis turbin yang tepat adalah ketersediaan *head* (H) dan kapasitas (Q) keadaan lapangan. Sebuah turbin dipilih dan dirancang agar sesuai dengan kondisi tertentu dan harus beroperasi pada efisiensi yang tinggi (Prajitno,2005).

Kriteria dalam pemilihan turbin berdasarkan tipe, geometri dan ukurannya (Penche,C,1998) :

#### 1. Perhitungan *Head*

Data *head* diperoleh dari hasil pengukuran Altimeter, GPS. Dari data tersebut didapat elevasi titik saluran atas dan titik elevasi saluran paling bawah sehingga diperoleh nilai beda tinggi (*head*) yang akan digunakan untuk perhitungan daya yang dapat dibangkitkan.

#### 2. Kecepatan Spesifik

Salah satu hubungan dimensional dalam turbin air adalah kecepatan spesifik,  $N_{st}$ . Kecepatan spesifik adalah kecepatan putar turbin yang sejenis secara geometris untuk menghasilkan satu satuan daya dengan satu satuan *head* pada efisiensi maksimum.



### 3. Debit Air (Q)

PLTMH skala kecil sangat tergantung dengan ketersediaan air dan kondisi alam sekitar pembangkit, untuk itu perkiraan debit air dan maksimum sangat penting dalam suatu perencanaan. Debit sumber mata air pada musim kemarau harus diperhatikan, hal ini untuk menjamin ketersediaan air sehingga pembangkit listrik skala kecil dapat beroperasi sepanjang tahun.

### 4. Sumber Air

Sumber air bisa berupa aliran yang diambil dari mata air pegunungan atau air permukaan. Hal terpenting adalah bahwa pemanfaatan aliran air itu memungkinkan untuk dilakukan dan relatif tidak mengganggu penggunaan aliran tersebut untuk kepentingan yang lain. Karena tidak tergantung pada musim dan biasanya air bersih, maka mata air merupakan potensi yang sangat baik dimanfaatkan untuk pembangkit.

## **E. Klasifikasi Turbin**

Dengan kemajuan ilmu Mekanika fluida dan Hidrolika serta memperhatikan sumber energi air yang cukup banyak tersedia di pedesaan akhirnya timbulah perencanaan-perencanaan turbin yang divariasikan terhadap tinggi jatuh (*head*) dan debit air yang tersedia. Dari itu maka masalah turbin air menjadi masalah yang menarik dan menjadi objek penelitian untuk mencari sistim, bentuk dan ukuran yang tepat dalam usaha mendapatkan efisiensi turbin yang maksimum.

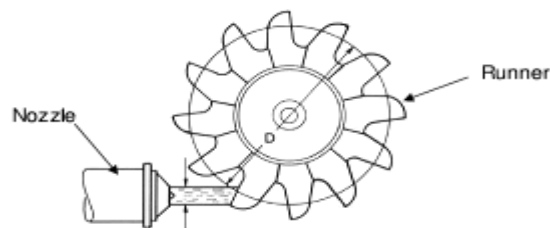
Pada uraian berikut akan dijelaskan pengklasifikasian turbin air berdasarkan beberapa kriteria.

1. Berdasarkan Model Aliran Air Masuk *Runner*.

Berdasarkan model aliran air masuk *runner*, maka turbin air dapat dibagi menjadi tiga tipe yaitu :

a. Turbin Aliran Tangensial

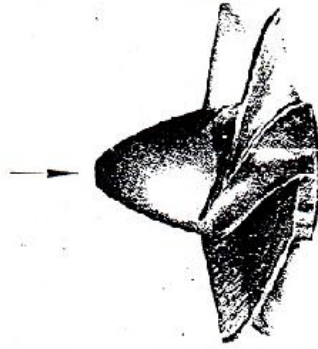
Pada kelompok turbin ini posisi air masuk roda gerak dengan arah tangensial atau tegak lurus dengan poros *runner* mengakibatkan roda gerak berputar, contohnya turbin Pelton dan *turbin cross-flow*.



**Gambar 2.3** Turbin aliran tangensial (Bass, 2009)

b. Turbin Aliran Aksial

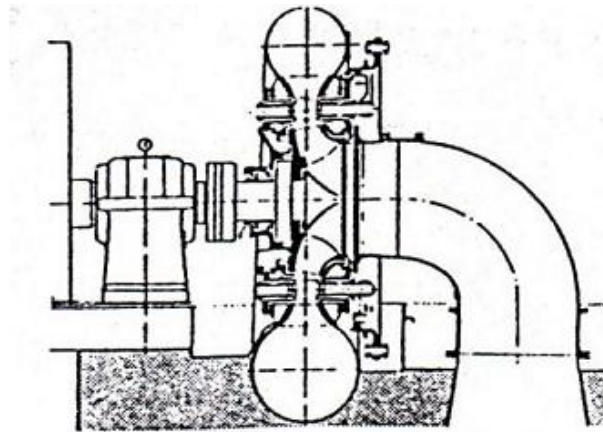
Pada turbin ini air masuk roda gerak dan keluar roda gerak sejajar dengan poros roda gerak, turbin Kaplan atau *propeller* adalah salah satu contoh dari tipe turbin ini.



**Gambar 2.4** Turbin aliran aksial (Haimerl, 1960)

c. Turbin Aliran Aksial - Radial

Pada turbin ini air masuk ke dalam roda gerak secara radial dan keluar roda gerak secara aksial sejajar dengan poros. Turbin Francis adalah termasuk dari jenis turbin ini.



**Gambar 2.5** Turbin aliran aksial- radial (Haimerl, 1960)

2. Berdasarkan Perubahan Momentum Fluida Kerjanya.

Dalam hal ini turbin air dapat dibagi atas dua tipe yaitu :

a. Turbin *Impuls*.

Semua energi potensial air pada turbin ini dirubah menjadi menjadi energi kinetis sebelum air masuk menyentuh sudu-sudu roda gerak oleh alat pengubah yang disebut *nozzel*. Yang termasuk jenis turbin ini antara lain : turbin Pelton dan turbin *cross-flow*.

b. Turbin Reaksi.

Pada turbin reaksi, seluruh energi potensial dari air dirubah menjadi energi kinetis pada saat air melewati lengkungan sudu-sudu pengarah, dengan demikian putaran roda gerak disebabkan oleh perubahan momentum oleh air. Yang termasuk jenis turbin reaksi diantaranya : turbin Francis, turbin Kaplan dan turbin *propeller*.

3. Berdasarkan Kecepatan Spesifik ( $n_s$ )

Yang dimaksud dengan kecepatan spesifik dari suatu turbin ialah kecepatan putar roda gerak yang dapat dihasilkan daya efektif 1 BHP untuk setiap tinggi jatuh 1 meter atau dengan rumus dapat ditulis (Patty, 1995):

$$n_s = n \cdot N_e^{1/2} / H_{efs}^{5/4} \quad (2.1)$$

Dimana :

- $n_s$  = kecepatan spesifik turbin
- $n$  = Kecepatan putar turbin (rpm)
- $H_{efs}$  = tinggi jatuh efektif (m)
- $N_e$  = daya turbin efektif (HP)

Setiap turbin air memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, Tabel 2.1 menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional.

**Tabel 2.1** Kecepatan Spesifik Turbin

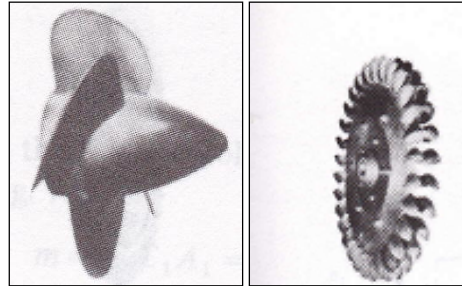
No	Jenis Turbin	Kecepatan Spesifik
1.	Pelton dan kincir air	10 - 35
2.	Francis	60 - 300
3.	<i>Cross-Flow</i>	70 - 80
4.	Kaplan dan <i>propeller</i>	300 - 1000

4. Berdasarkan *Head* dan Debit.

Dalam hal ini pengoperasian turbin air disesuaikan dengan potensi *head* dan debit yang ada yaitu :

- a. Tinggi jatuh yang rendah yaitu dibawah 40 meter tetapi debit air yang besar, maka turbin Kaplan atau *propeller* cocok digunakan untuk kondisi seperti ini.
- b. Tinggi jatuh yang sedang antara 30 sampai 200 meter dan debit relatif cukup, maka untuk kondisi seperti ini gunakanlah turbin Francis atau *cross-flow*.
- c. Tinggi jatuh yang tinggi yakni di atas 200 meter dan debit sedang, maka gunakanlah turbin *impuls* jenis Pelton.

Gambar 2.6 menunjukkan bentuk kontruksi tiga macam roda gerak turbin konvensional.



Kaplan

Pelton



francis

**Gambar 2.6** Berbagai jenis roda gerak turbin konvensional (Sayersz, 1992)

#### F. Prinsip Dasar Aliran Dalam Pipa

Menurut Triatmojo (1995) aliran dalam pipa merupakan aliran tertutup di mana air kontak dengan seluruh penampang saluran. Jumlah aliran yang mengalir melalui lintang aliran tiap satuan waktu disebut debit aliran, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q = A \times V \quad (2.2)$$

Dimana :  $Q$  = debit aliran ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$A$  = luas penampang ( $\text{m}^2$ )

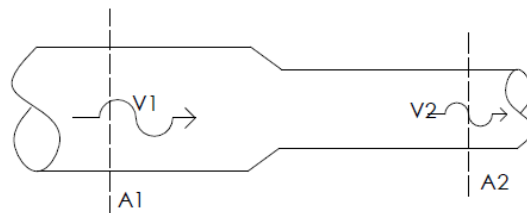
$V$  = kecepatan aliran ( $\text{m/s}$ )

### 1. Persamaan kontinuitas

Pada setiap aliran di mana tidak ada kebocoran maka untuk setiap penampang berlaku bahwa debit setiap potongan selalu sama.

$$V_1 \times A_1 = V_2 \times A_2 \text{ atau} \quad (2.3)$$

$$Q = A \times V = \text{Konstan} \quad (2.4)$$

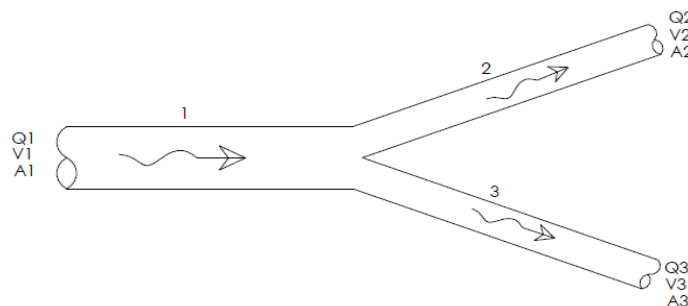


**Gambar 2.7** Saluran pipa dengan diameter berbeda (Triatmojo, 1995)

Menurut Triatmojo (1995) untuk pipa bercabang berdasarkan persamaan kontinuitas, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut, yang secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \text{ atau,} \quad (2.5)$$

$$A_1 \times V_1 = A_2 \times V_2 + A_3 \times V_3 \quad (2.6)$$



**Gambar 2.8** Persamaan kontinuitas pada pipa bercabang (Triatmojo,1995)

## 2. Persamaan Bernoulli

Menurut Bernoulli Jumlah tinggi tempat, tinggi tekan dan tinggi kecepatan pada setiap titik dari aliran air selalu konstan. Persaman Bernoulli dapat dipandang sebagai persamaan kekekalan energi mengingat,  $z$  = energi potensial cair tiap satuan berat.

$$\frac{m.g.z}{m.g} = z \quad (2.7)$$

$\frac{P}{\gamma}$  = tenaga potensial tekanan zat cair

$$\frac{p.v}{m.g} = p \frac{m.g}{\gamma} = \frac{F}{\gamma} \quad (2.8)$$

$\frac{v^2}{2g}$  = tenaga kinetik

$$\frac{1/2mv^2}{m.g} = \frac{v^2}{2g} \quad (2.9)$$

Dengan neraca massa energi yang masuk sama dengan yang keluar energi di A = energi di B sehingga,

$$\left(\frac{1}{2} \rho v_2^2 - \frac{1}{2} \rho v_1^2\right) = P_1 - P_2 + \rho gh_1 - \rho gh_2 \quad (2.10)$$

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho gh_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho gh_2 \quad (2.11)$$

## 3. Persamaan Hazen William

$$Q = 0,2785 \times C \times D^{2,63} \times S^{0,54} \quad (2.12)$$

Di mana :

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

$C$  = Koefisien kekasaran



$D$  = Diameter pipa (m)

$S$  = Slope pipa = beda tinggi/panjang pipa (m/m)

**Tabel 2.2** Nilai Koefisien C Hazen Williams

Jenis Pipa	Nilai C
1. New Cast Iron	130 – 140
2. Concrete or Concrete lined	120 – 140
3. Galvanized Iron	120
4. Plastic	140 – 150
5. Steel	140 – 150
6. Vetrivield Clay	110

(Sumber : Epanet 2, User manual)

### G. Debit Aliran

Alat ukur debit air pada saluran terbuka tersebut memiliki konsep yang sederhana, yaitu hubungan antara kedalaman air dan lajunya dipengaruhi oleh bentuk dan dimensi alatnya. Perhitungan debitnya menggunakan persamaan yang menggunakan tinggi air atau *head*. Adapun pertimbangan yang biasa digunakan dalam pemilihan alat ukur tersebut antara lain biaya pembuatan dan pemasangannya, biaya perawatan, dimensi kanal, debit, dan karakteristik airnya (kejernihan, berlumpur, sampah). Biasanya pemilihan alat ukur ini didasarkan pada besar-kecilnya debit air yang akan diukur.

Pengukuran aliran dapat dilakukan dengan beberapa cara:

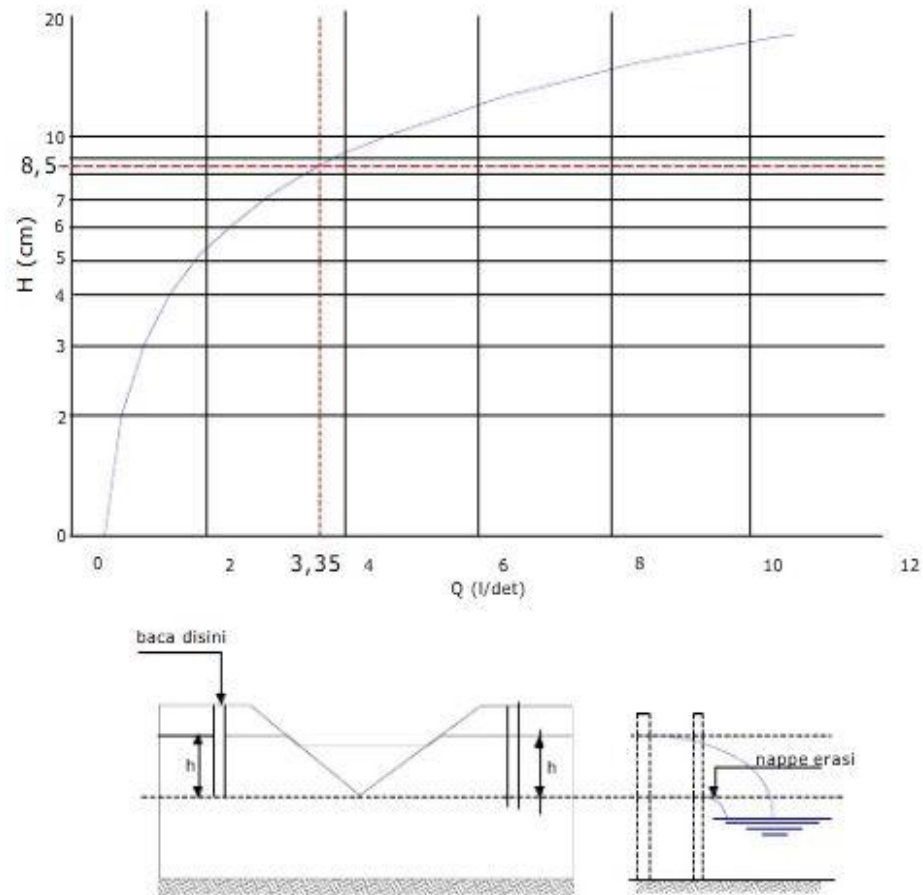
1. Sekat *Thompson* (V-Notch)

*Thompson* adalah nama yang terkenal di PDAM, khususnya di kalangan operator yang bertanggung jawab atas kelancaran pasokan air, mulai dari sumber air baku (*intake, broncaptering*), transmisi (unit bak pelepas tekanan, BPT), dan instalasi pengolahan air (sedimentasi, kanal).

Sebagai alat ukur, Sekat *Thompson* banyak digunakan pada PDAM untuk mengetahui perkiraan debit air yang akan dan sudah diolahnya, terutama kurang dari 200 l/d. Selain *Thompson*, ada juga *Cipoletti* dan *Romyn* (untuk debit antara 200 dan 2.000 l/d), dan untuk debit di atas 2.000 l/d digunakan Bendulan/*Crump de Gruyter*. Dua alat yang disebut terakhir biasanya dikenal dengan nama pintu ukur karena selain untuk mengukur debit juga untuk membuka-tutup aliran.

Alat yang diperlukan:

- a. Sekat *V-notch*, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis,
- b. Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.



:HANYA BERLAKU UNTUK SUDUT  $90^{\circ}$

**Gambar 2.9** Kurva ambang ukur *Thompson* (<http://www.scribd.com>)

Adapun persamaannya adalah :

$$Q = 0,135 H^{3/2} \quad (2.13)$$

Pada  $H = 8,5 \text{ cm}$ ;  $Q = 3,35 \text{ l/det}$

Persamaan pintu ukur *V-notch*

Persamaan *V-notch* telah distandarkan oleh ISO (1980), ASTM (1993), dan USBR (1997) semuanya memberikan hasil menggunakan *Kindsvater-Shen equation*. Contoh penggunaan persamaan tersebut adalah seperti dibawah

ini. Dimana  $Q$  dalam unit cfs dan tinggi dalam unit ft. Diberikan di bawah ini kurva untuk  $C$  dan  $k$  vs sudut. Pada standar yang ada tidak diberikan persamaan untuk menyusun kurva tersebut, sehingga satu satunya jalan adalah menggunakan kurva tersebut.

$$Q = 4,28 C \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h + k)^{5/2} \quad (2.14)$$

Dimana :

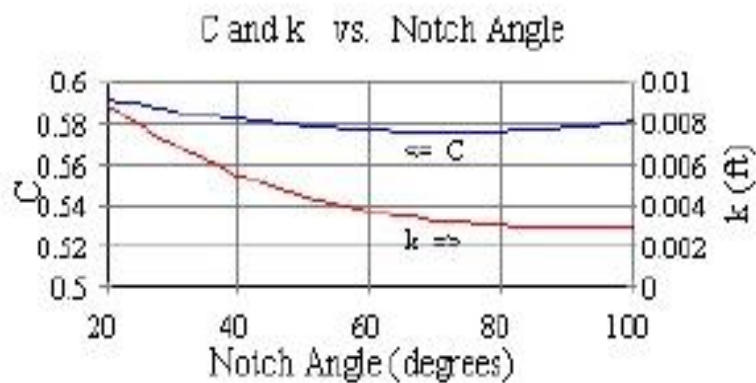
$Q$  = debit (cfs)

$C$  = koefisien debit

$\theta$  = sudut *notch* (derajat)

$h$  = *head* (ft)

$k$  = faktor koreksi *head* (ft)



**Gambar 2.10** Kurva *V-Notch* (<http://aladintirta.blogspot.com>)

$$C = 0.607165052 - 0.000874466963 \theta + 6.10393334 \times 10^{-6} \theta^2$$

$$k \text{ (ft.)} = 0.0144902648 - 0.00033955535 \theta + 3.29819003 \times 10^{-6} \theta^2 - 1.06215442 \times 10^{-8} \theta^3$$

$\emptyset$  adalah sudut *notch* dalam derajat

## 2. Sekat Cipoletti

Alat yang diperlukan:

- a. Sekat Trapesiodal yang sisi-sisi dalam sekat itu meruncing, seperti pada gambar 2.18, dibuat dari pelat logam (baja, aluminium, dan lain-lain) atau dari kayu lapis. Sekat ini tetap dipasang pada lokasi pengukuran atau hanya sementara saja.
- b. Penggaris, tongkat ukur atau pita ukur.

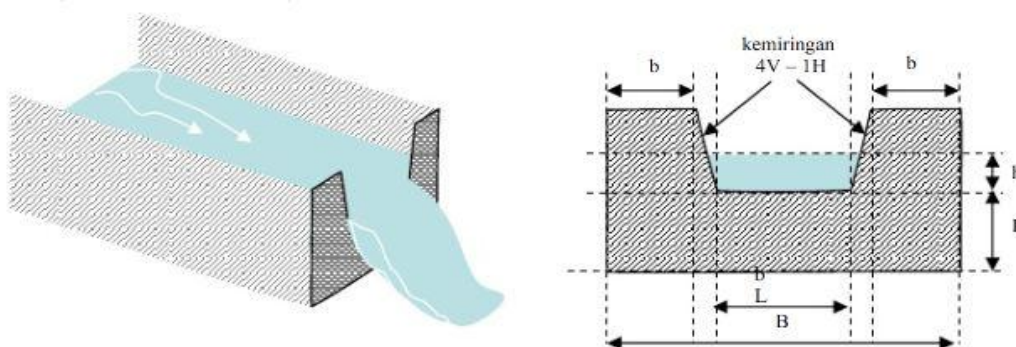
Debit dihitung dengan persamaan:

$$Q = 0.0186 bh^{3/2} \quad (2.15)$$

Dimana: Q dalam l/d

b dalam cm

h dalam cm



**Gambar 2.11** Sekat Cipoletti (<http://aladintirta.blogspot.com>)

Keadaan untuk pengukuran:

- a. Aliran di hulu dan di hilir sekat harus tenang
- b. Aliran hanya melalui sekat, tidak ada kebocoran pada bagian atas atau samping sekat
- c. Air harus mengalir bebas dari sekat, tidak menempel pada sekat ( lihat Gambar 2.11).

## H. *Head Total*

*Head total* adalah selisih antara *head* ketinggian kotor dengan *head* kerugian di dalam sistem pemipaan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tersebut. *Head* kotor (*gross head*) adalah jarak vertikal antara permukaan air sumber dengan ketinggian air keluar saluran turbin (*tail race*) untuk turbin reaksi dan keluar nozel untuk turbin impuls.

*Head* kerugian didalam sistem pemipaan yaitu berupa *head* kerugian didalam pipa dan *head* kerugian pada kelengkapan perpipaan seperti sambungan , katub, percabangan, difuser, dan sebagainya.

### 1. Kehilangan Tekanan (*Headloss*)

Macam kehilangan tekanan adalah:

- a. *Major losses*, terjadi akibat gesekan air dengan dinding pipa.

$$h_{tp} = f \times \frac{L}{D} \times \frac{V^2}{2g} \quad (2.16)$$

Dimana :

$h_{ip}$  : Mayor *losses*

$f$  : faktor gesekan

$L$  : Panjang pipa

$V$  : Kecepatan rata-rata cairan dalam pipa

$D$  : Diameter dalam pipa

Harga  $f$  (faktor gesekan) didapat dari diagram *Moody* sebagai fungsi dari Angka *Reynold* (*Reynolds Number*) dan Kekasaran relatif (*Relative Roughness* -  $\epsilon/D$ ), yang nilainya dapat dilihat pada grafik sebagai fungsi dari nominal diameter pipa dan kekasaran permukaan dalam pipa ( $\epsilon$ ) yang tergantung dari jenis material pipa.

Sedangkan besarnya *Reynolds Number* dapat dihitung dengan rumus :

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (2.17)$$

Dimana :

$Re$  : Bilangan *Reynolds*

$V$  : Kecepatan rata-rata aliran di dalam pipa (m/s)

$D$  : Diameter pipa (m)

$\nu$  : Viskositas kinematik air (m<sup>2</sup>/s)

Pada  $Re < 2300$ , aliran bersifat laminar.

Pada  $Re > 2300$ , aliran bersifat turbulen.

Pada  $Re = 2300 - 4000$ , akan terjadi aliran transisi dimana aliran bersifat laminar yang selanjutnya akan bergantung pada kondisi adanya faktor kekasaran pipa dan kondisi masuk saluran untuk menjadi aliran turbulen penuh. Rugi-rugi mayor dapat dihitung berdasarkan kondisi aliran yang terbentuk dalam aliran tersebut.

b. Kerugian Minor (*Minor Losses*)

Rugi-rugi minor adalah jumlah energi yang hilang sebanding dengan *head* kecepatan fluida saat mengalir melewati perbesaran dan pengecilan penampang, pemasukan keluaran, belokan, percabangan dan katup-katup. Nilai eksperimental untuk rugi-rugi ini sering kali diberikan dalam bentuk koefisien rugi-rugi ( $K$ ), sehingga didapat :

$$h_{tm} = K \frac{V^2}{2g} \quad (2.18)$$

Dimana :

$h_{tm}$  : kerugian minor (m)

$K$  : koefisien rugi-rugi

$V$  : kecepatan rata-rata aliran ( $m^2/s$ )

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

Pada pembahasan ini, perhitungan rugi-rugi minor akan dilakukan dengan menggunakan metode koefisien rugi-rugi ( $K$ ).



**Tabel 2.3.** Harga kekasaran rata-rata dinding pipa ( $\epsilon$ ). (Reuben, 1993)

Bahan	$\epsilon$	
	Faktor gesekan ( $f$ )	Ketebalan (mm)
Baja keeling	0,003 – 0,03	0.9 – 9
Beton	0,001 – 0,01	0.3 – 3
Bilah tahang – kayu	0,0006 – 0,003	0.18 – 0.9
Besi cor	0,00085	0.26
Besi bersalut – seng	0,0005	0.15
Besi cor beraspal	0,0004	0.12
Besi komersil	0,00015	0.046
Tempa	0,000005	0.0015
Tabung / pipa tarik	Halus	Halus
Kaca	Halus	Halus

Maka besar total rugi-rugi (*losses*) yang terjadi adalah:

$$\text{Rugi-rugi (Losses)} = \text{Major Losses} + \text{Minor losses}$$

Sehingga nilai *Head* total setelah dikurangi rugi-rugi adalah

$$H = H_{\text{gross}} - \text{Losses}$$

### I. Daya yang Dibangkitkan Turbin

Dari data yang telah diperoleh pada bagian kapasitas air  $Q$  dan tinggi air jatuh

$H$ , dapat diperoleh Daya air:

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \quad (2.19)$$

Dimana:

$P_a$  = Daya air (kW)

$Q$  = kapasitas air (m<sup>3</sup>/detik)

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

$g$  = gaya gravitasi (m/detik<sup>2</sup>)

$H$  = tinggi air jatuh (m).

Selanjutnya daya yang dapat dibangkitkan oleh turbin, dapat diperoleh dari perhitungan efisiensi turbin sebagai berikut :

$$\eta_T = \frac{P_T}{P_A} \quad (2.20)$$

$$P_T = \eta_T \times P_A \quad (2.21)$$

Dimana :

$P_t$  = Daya Turbin(kW)

$\eta_T$  = efisiensi turbin (%)

## J. Perancangan Dimensi Turbin

a. Desain *runner* turbin

1) Kecepatan air masuk turbin ( $C_1$ )

$$C_1 = C_v \sqrt{2gh} \quad (2.22)$$

Dimana :  $C_v$  = koefisien kecepatan air

2) Kecepatan sisi masuk rotor turbin/kecepatan tangensial ( $U_1$ )

$$U_1 = K_u \sqrt{2gh} \quad (2.23)$$

Dimana :  $K_u$  = faktor kecepatan

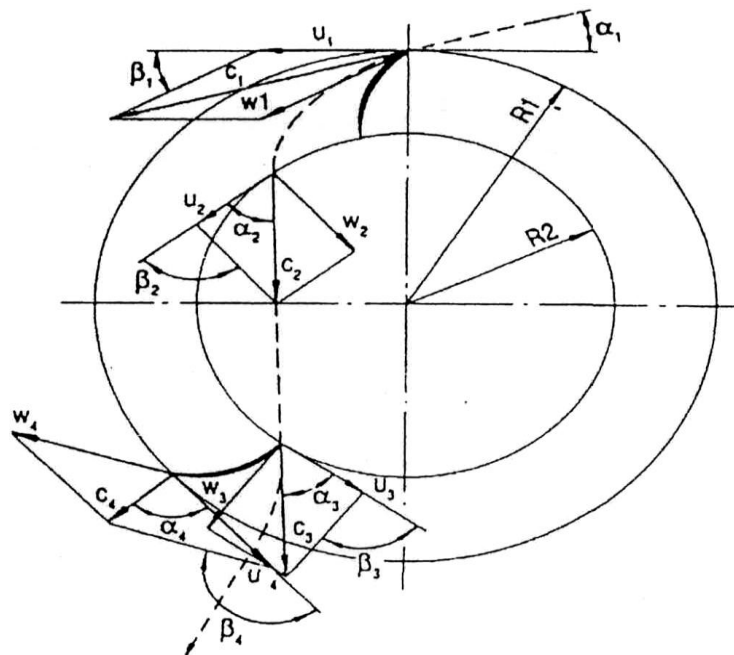
- 3) Diameter rotor pada sisi masuk ( $D_1$ )

$$D_1 = 60x \frac{U_1}{\pi.n} \quad (2.24)$$

Dimana :  $n$  = putaran turbin

- 4) Diameter rotor bagian dalam

$$D_2 = D_1 \times 0,66 \quad (2.25)$$



**Gambar 2.12** Segitiga kecepatan lintasan air melewati turbin

Keterangan gambar :

- a) Parameter saat air masuk sudu pada tingkat I

$W_1$  = Kecepatan relatif air masuk sudu pada tingkat I

$C_1$  = kecepatan air masuk turbin

$\beta_1$  = sudut kecepatan air masuk bagian luar runner

$U_1$  = kecepatan linier (keliling)

$\alpha_1$  = sudut masuk yang dibentuk oleh kecepatan absolut dengan kecepatan tangensial.

b) Parameter saat air keluar sudu pada tingkat I

$C_2$  = kecepatan absolut air keluar sudu tingkat I

$W_2$  = kecepatan relatif air keluar sudu pada tingkat I

$\beta_2$  = sudut kecepatan air masuk bagian dalam runner

$U_2$  = kecepatan linier saat keluar sudu.

c) Parameter air saat masuk sudu tingkat II ( $C_3$ ,  $W_3$ ,  $\alpha_3$ ,  $U_3$ )

d) Parameter air pada saat keluar pada sudu tingkat II ( $C_4$ ,  $U_4$ ,  $\beta_4$ ,  $W_4$ )

b. Desain panjang sudu

Panjang sudu ditentukan menggunakan persamaan (Ismono, 1999):

$$B = 0,006 \frac{nQ}{kH} \quad (2.26)$$

Dimana :

$n$  = putaran turbin ( rpm)

$Q$  = kapasitas aliran (  $m^3/s$ )

H = tinggi jatuh (*head*) (m)

K = koefisien tebal semburan air terhadap diameter *runner*

c. Panjang busur (b)

Langkah menghitung panjang busur adalah (Arter dan Meier, 1990) :

Menghitung C :

$$C = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)} \quad (2.27)$$

Menghitung  $\varepsilon$  :

$$\varepsilon = \text{ArcSin} \left[ \frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{C} \right] \quad (2.28)$$

Menghitung  $\xi$  :

$$\xi = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon) \quad (2.29)$$

Menghitung  $\phi$  :

$$\phi = (\beta_1 + \beta_2) - (180^\circ - 2\xi) \quad (2.30)$$

Menghitung d :

$$d = \frac{R_1 \sin \phi}{2 \sin(180^\circ - \xi)} \quad (2.31)$$

Menghitung sudut kelengkapan sudu ( $\delta$ )

$$\delta = 180^\circ - 2(\beta_1 + \varepsilon) \quad (2.32)$$

Menghitung jari-jari kelengkungan sudu (rb) :

$$rb = \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \quad (2.33)$$

Menghitung jari-jari kelengkungan jarak bagi (*pitch*) sudu (rp) :

$$rp = \sqrt{rb^2 + R_1^2 - 2rb_1R_1\cos\beta_1} \quad (2.34)$$

Menghitung panjang Busur (b)

$$b = 2 \cdot \pi \cdot rb \cdot \delta/360^\circ \quad (2.35)$$

d. Jumlah sudu

Jumlah sudu dapat diperoleh dengan persamaan (Mockmore, 1949) :

$$Z = \frac{\pi D_1}{t} \quad (2.36)$$

Dimana :

t = jarak antara sudu luar

$$= S_2/\sin\beta_1$$

$$S_2 = kD_1 \quad (k = \text{tetapan } (0,075 - 0,10)) \quad (2.37)$$

e. Panjang roda jalan

Dengan menentukan tebal piringan plat (t), maka panjang *runner* adalah:

$$B = b + 2 \cdot t \quad (2.38)$$

## f. Poros

Diameter poros dihitung berdasarkan besarnya torsi yang dipindahkan, dimana torsi maksimum yang dipindahkan dianggap lebih besar dari torsi rata-rata, besarnya torsi rata-rata dihitung dengan persamaan :

$$T \text{ rata-rata} = \frac{60 P_a}{2\pi n}, \quad (2.39)$$

dimana  $n$  = putaran turbin

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H$$

Diameter poros dihitung dengan persamaan :

$$D = \sqrt[3]{\frac{16 \cdot T_{maks}}{\pi \tau_s}} \quad (2.40)$$

dimana  $\tau_s$  = tegangan geser yang diijinkan pada

Perancangan poros menggunakan kombinasi momen puntir dan momen lentur. Momen puntir dapat dicari dengan rumus (Sularso, 1987) :

$$M_t = 9,74 \times 10^5 \frac{P_d}{n} \quad (2.41)$$

Dimana :

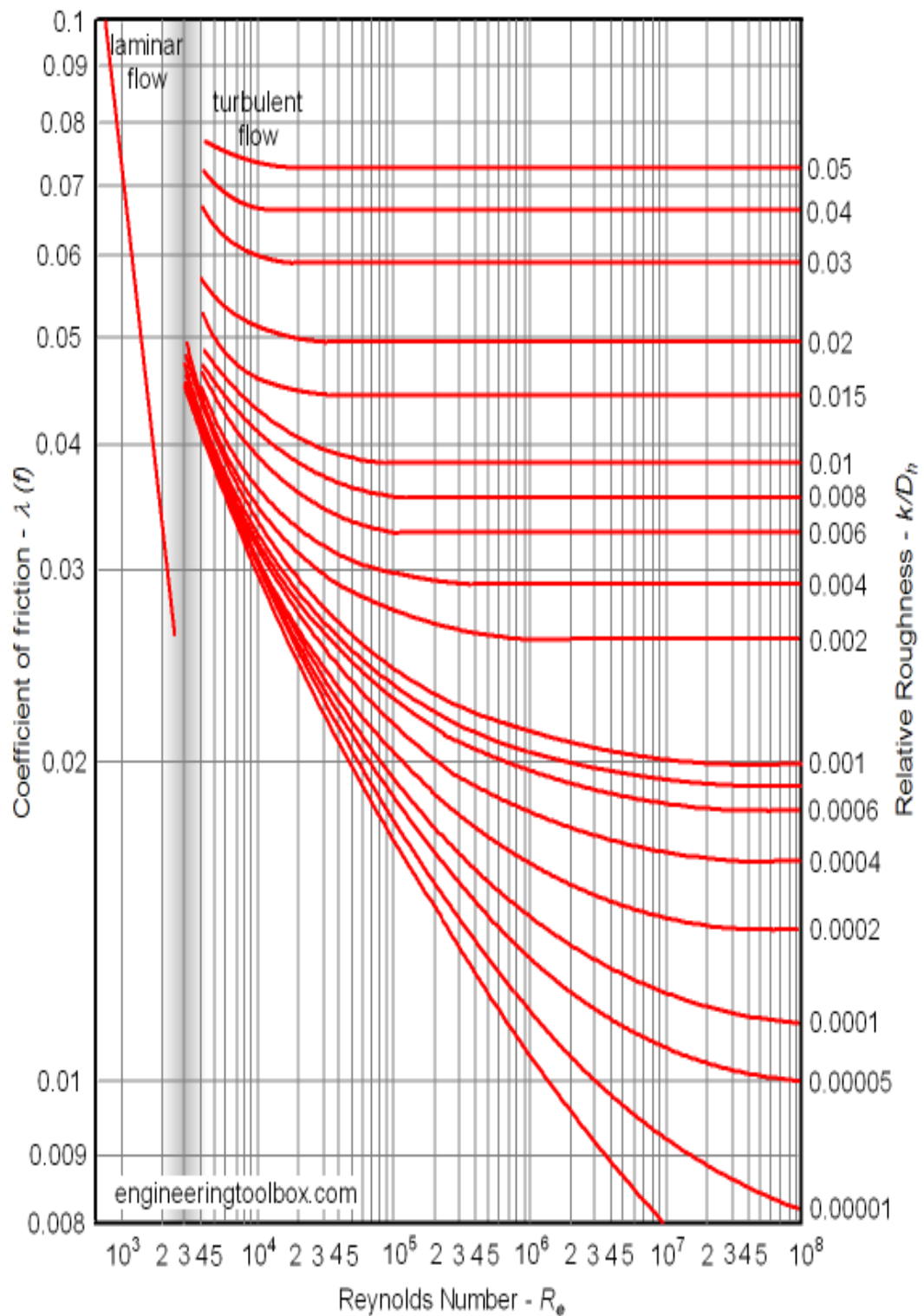
$P_d$  = Daya rencana (kW)

$P_d = f_c P_T$ ,

dimana :

$f_c$  = faktor koreksi



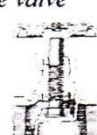




$P_T = \text{daya keluaran turbin}$



**Gambar 2.13** Diagram Moody (<http://www.engineeringtoolbox.com>)



Tabel 2.4 Harga Koefisien Rugi-rugi (K)

TIPE	Koefisien rerugi K	TIPE	Koefisien rerugi K												
<b>Pemasukan</b>		tipe swing	$100 f_T$												
a) <i>re-entrant</i>	1,0														
b) bujur sangkar	0,5	<b>Belokan</b>													
c) di- <i>chamfer</i>	0,25	a) 90° standar	$30 f_T$												
d) bundar	<table border="1"> <thead> <tr> <th>r/D</th> <th>K</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0,02</td> <td>0,28</td> </tr> <tr> <td>0,04</td> <td>0,24</td> </tr> <tr> <td>0,06</td> <td>0,15</td> </tr> <tr> <td>0,10</td> <td>0,09</td> </tr> <tr> <td>&gt;0,15</td> <td>0,04 (well-rounded)</td> </tr> </tbody> </table>	r/D	K	0,02	0,28	0,04	0,24	0,06	0,15	0,10	0,09	>0,15	0,04 (well-rounded)	b) 90° radius panjang	$20 f_T$
r/D	K														
0,02	0,28														
0,04	0,24														
0,06	0,15														
0,10	0,09														
>0,15	0,04 (well-rounded)														
<b>Pembesaran gradual</b>		c) 90° ulir	$50 f_T$												
		d) 45° standar	$16 f_T$												
<b>Katup-katup</b>		e) 45° ulir	$26 f_T$												
a) <i>globe valve</i>	$340 f_T$	<b>Percabangan</b>													
		a) aliran utama	$20 f_T$												
b) <i>gate valve</i>	$8 f_T$	b) aliran percabangan	$60 f_T$												
		<b>Keluaran</b>	1,0												
c) <i>foot valve (strainer)</i>	$75 f_T$														
															
d) <i>check valve tipe bola</i>	$150 f_T$														
															

(Sumber, Kamaruddin A. Diktat kuliah Mekanika Fluida)

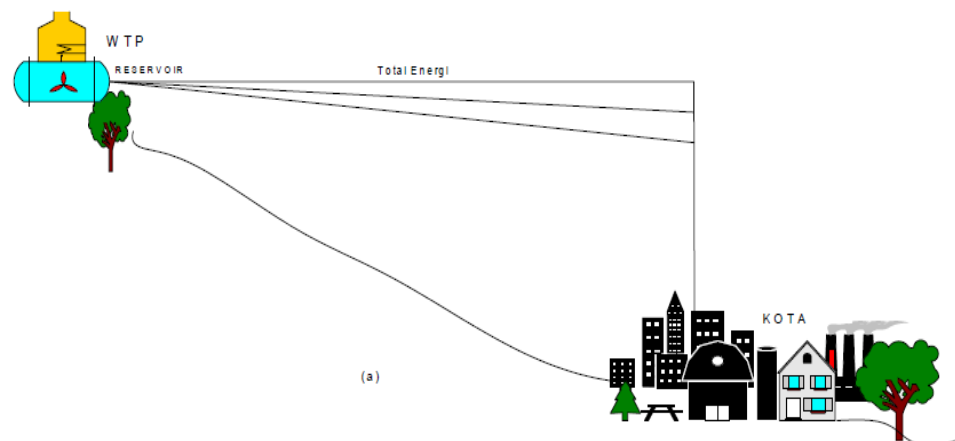
## K. Jaringan Transmisi pada PDAM

Jaringan transmisi adalah suatu jaringan yang berfungsi untuk menyalurkan air bersih dari sumber air ke reservoir. Cara penyaluran air bersih tergantung pada lokasi sumber air berada.

### 1. Cara penyaluran air baku

#### a. Sistem Gravitasi

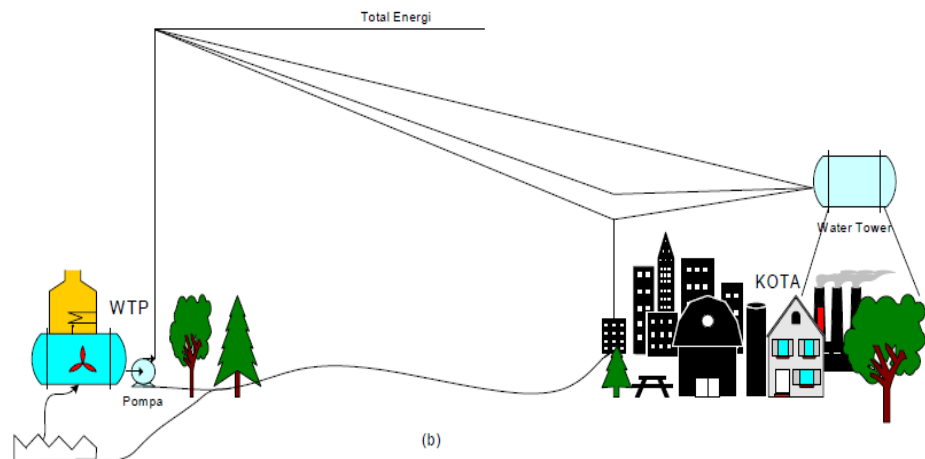
Yaitu sistem pengaliran air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara memanfaatkan energi potensial yang dimiliki air akibat perbedaan ketinggian lokasi sumber dengan lokasi reservoir.



**Gambar 2.14** Sistem transmisi dengan cara gravitasi (Peavy et al.,1985)

#### b. Sistem Pompa

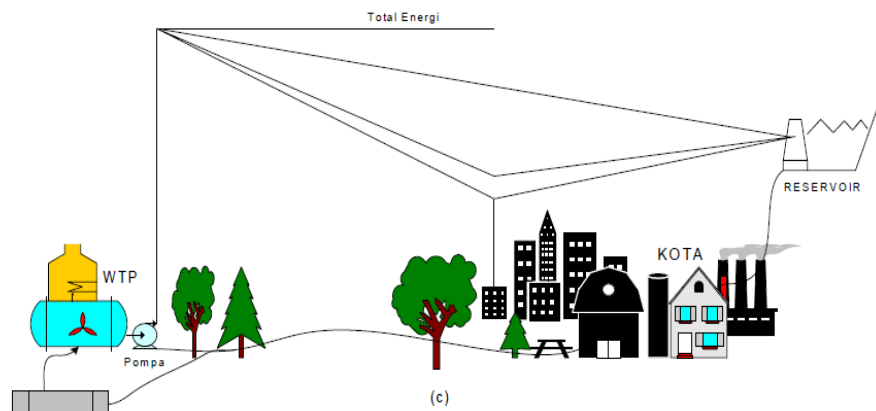
Yaitu sistem pengaliran air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara memberikan energi kinetik pada aliran air sehingga air dari sumber dapat mencapai lokasi reservoir yang lebih tinggi.



**Gambar 2.15** Sistem transmisi dengan cara pompa (Peavy et al.,1985)

c. Sistem Gabungan

Yaitu sistem pengaliran air dari sumber ke tempat reservoir dengan cara menggabungkan dua sistem transmisi yaitu penggunaan sistem gravitasi dan sistem pompa.



**Gambar 2.16** Sistem transmisi dengan cara gabungan (Peavy et al.,1985)

Kendala utama dalam penyediaan air bersih adalah memenuhi tinggi tekanan yang cukup pada titik terjauh ,sehingga kadang ketersediaan air

secara kontinyu menjadi terganggu. Maka untuk menjaga tekanan akhir pipa di seluruh daerah layanan, pada titik awal distribusi diperlukan tekanan yang lebih tinggi, agar dapat mengimbangi kehilangan tekanan yang antara lain dipengaruhi oleh :

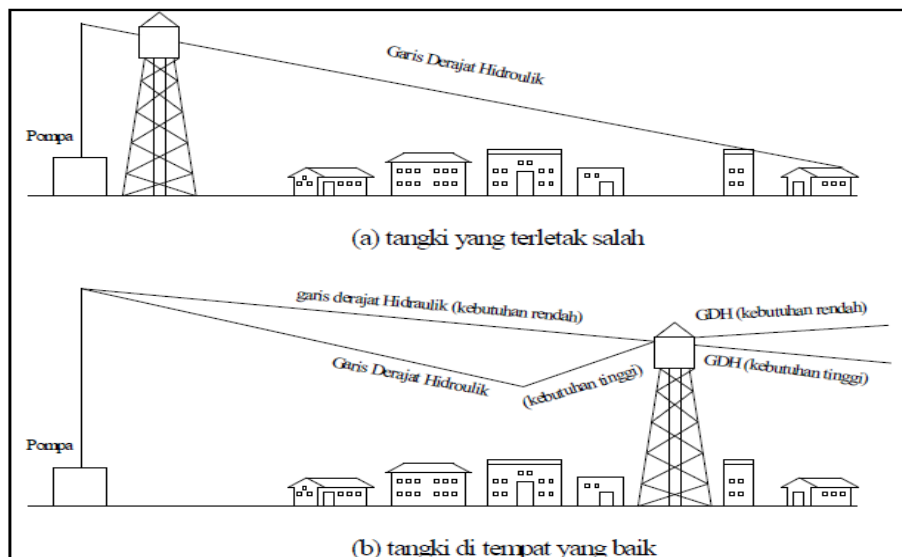
- a. Ketinggian bangunan tertinggi yang harus dicapai oleh air.
- b. Jarak titik awal distribusi dari reservoir.
- c. Tekanan untuk hidran kebakaran yang dibutuhkan.

## 2. Reservoir

Menurut Fair et al. (1966) reservoir digunakan dalam sistem distribusi untuk menyeimbangkan debit pengaliran, mempertahankan tekanan, dan mengatasi keadaan darurat. Untuk optimasi penggunaan, reservoir harus diletakkan sedekat mungkin dengan pusat daerah pelayanan. Di kota besar, reservoir distribusi ditempatkan pada beberapa lokasi dalam daerah pelayanan. Reservoir distribusi juga digunakan untuk mengurangi variasi tekanan dalam sistem distribusi.

Reservoir di tempat yang tinggi dapat dipergunakan dengan baik untuk pemantapan tekanan. Garis derajat hidraulik pada suatu saat pemakaian yang tinggi dalam suatu sistem dengan tangki yang tinggi yang terletak di tempat yang salah diperlihatkan pada Gambar 2.10a. Tekanan akan cukup rendah di ujung sistem yang jauh. Kondisi tekanan akan membaik bila tangki tinggi itu terletak dekat daerah konsumen tinggi (pusat beban), seperti yang terlihat pada gambar 2.10b.

Bila kondisi topografi tidak memungkinkan adanya tinggi tekanan yang cukup dari suatu reservoir permukaan, maka suatu tabung tegak atau tangki tinggi dapat dipergunakan untuk mendapatkan tinggi yang diperlukan.



**Gambar 2.17** Letak tinggi tangki untuk penampungan (P.S. Dimas dan Felix, Martineet)

#### a. Tipe Reservoir

Tipe reservoir distribusi yang sering digunakan adalah :

- 1) Reservoir tanggul yang dilapisi atau tidak dilapisi, umumnya terbuka.
- 2) Reservoir di bawah dan di permukaan tanah, tertutup dan tidak tertutup, konstruksi dari beton.
- 3) Reservoir baja di permukaan tanah, tipe gravitasi dan pemompaan.
- 4) Tangki baja atau beton di atas permukaan tanah dan pipa tegak.
- 5) Tangki tekan dari baja.

Struktur dari reservoir distribusi dapat mengikuti aturan sebagai berikut:

- 1) Reservoir air bersih dapat dibangun dengan menggunakan beton pra tegang, atau struktur baja.
- 2) Reservoir dapat dilengkapi dengan penutup permanen untuk menghindari masuknya air hujan atau jenis polutan lainnya.
- 3) Pada kasus tertentu, untuk menjaga suhu yang sedang pada daerah dingin atau panas, dapat dilengkapi dengan penutup yang berlapis dari tanah dengan kedalaman 30-60 cm atau pembatas lain.
- 4) Untuk mempersiapkan tanah penutup, stabilisasi tanah dengan pasir dan menurunkan muka air tanah dapat ditempuh guna menghindari kegagalan pembangunan struktur pada daerah dengan muka air tanah yang tinggi.
- 5) Jumlah reservoir distribusi paling sedikit 2 (dua) buah. Reservoir tunggal dapat dipecah menjadi 2 (dua) bagian.

Tinggi jagaan berjarak 30 cm atau lebih dihitung dari muka air tertinggi sampai dengan puncak dinding reservoir. Bagian bawah reservoir ditetapkan paling sedikit berjarak 15 cm lebih rendah dari muka air terendah. Untuk kenyamanan pembersihan, kemiringan 1/100 sampai dengan 1/500 ditentukan terhadap permukaan bagian bawah.

## L. Gambaran PDAM Way Sekampung

PDAM Way Sekampung merupakan satu-satunya perusahaan pemasok air bersih bagi masyarakat Kabupaten Pringsewu. Keberadaannya sangat dibutuhkan bagi kelangsungan hidup masyarakat Pringsewu dalam kehidupan sehari-hari.



**Gambar 2.18** Kantor PDAM Way Sekampung

Kantor Pusat PDAM Way Sekampung terletak di Jl. Ahmad Yani No. 509 Sidoarjo, Pringsewu, sedangkan lokasi produksinya berada di Desa Bumiarum Kabupaten Pringsewu. PDAM ini sebelumnya merupakan cabang dari PDAM Tanggamus yang berkantor pusat di Kota Agung. Namun setelah pemekaran Kabupaten Pringsewu, PDAM Way Sekampung berdiri sendiri sebagai perusahaan pemasok air bersih bagi masyarakat Pringsewu.

Dalam proses distribusinya, PDAM Way Sekampung menggunakan sistim semi-gravitasi, yang artinya air bersih dalam reservoir dipompakan terlebih dahulu selama beberapa jam, kemudian dilanjutkan dengan sistem gravitasi.

Hal ini dikarenakan lokasi reservoir yang tidak terlalu tinggi, sehingga dibutuhkan tekanan awal agar dapat menuju lokasi konsumen yang berada jauh dari pusat produksi air PDAM.

Sumber air baku yang digunakan PDAM Way Sekampung, berasal dari sungai Way Sekampung yang jaraknya dekat dengan lokasi produksi. Akan tetapi, sumber air baku tersebut harus diolah terlebih dahulu agar dapat digunakan oleh masyarakat. Proses pengolahannya menggunakan peralatan lengkap yang diolah di bak *Water Treatment Plant* (WTP) melalui beberapa tahapan penyingkapan sehingga diperoleh air bersih yang siap disuplai ke masyarakat.

Operasi yang dilakukan pada PDAM Way Sekampung hanya selama 5 jam saja dalam sehari. Hal ini disebabkan oleh besarnya biaya produksi yang dibutuhkan dalam pengolahan air bersih. Mulai dari listrik yang digunakan untuk memompakan air baku ke WTP, sampai bahan bakar *genset* yang dibutuhkan untuk memompakan air dari reservoir ke konsumen. Namun seiring dengan bertambahnya jumlah konsumen yang dimiliki PDAM Way Sekampung, jam operasi ditambah menjadi 6 jam yang sudah dilakukan selama 1 bulan terakhir.





**Gambar 2.19** Lokasi *intake*

*Intake* merupakan bangunan penyadap air baku yang fungsinya untuk memompakan air baku ke bak *Water Treatment Plant* untuk dilakukan proses pengolahan sehingga didapatkan air bersih.



**Gambar 2.20** *Water Treatment Plant* (WTP)

Bak *Water Treatment Plant* merupakan tempat pengolahan air baku. Di dalam bak tersebut dilakukan beberapa proses pengolahan dan penyaringan, sehingga air baku yang awalnya keruh dan kotor menjadi bersih dan dapat digunakan oleh masyarakat.



**Gambar 2.21** Pengolahan air baku di WTP