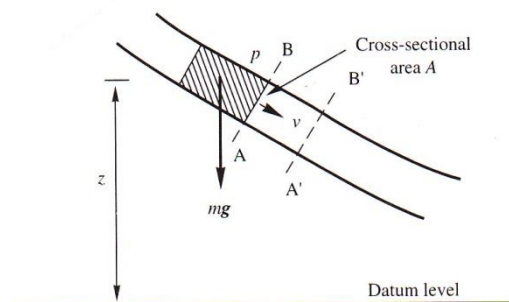


II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Hydropower

Tenaga air (Hydropower) adalah energi yang diperoleh dari air yang mengalir. Energi yang dimiliki air dapat dimanfaatkan dan digunakan dalam wujud energi mekanis maupun energi listrik. Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya head dan debit air. Dalam hubungan dengan reservoir air maka head adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air keluar dari kincir air/turbin air. (Pemanfaatan Tenaga Air, agungchynta.files.wordpress.com/2007/03/pemanfaatan-tenaga-air.doc)



Gambar 1. Energi Dari Aliran Fluida (Douglas, 1995)

Suatu elemen fluida, seperti gambar 1.1 akan menghasilkan energi potensial karena adanya ketinggian sebesar z dan energi kinetik karena adanya kecepatan sebesar v , pada saat yang sama pada suatu objek. Untuk elemen berat mg ,

$$\begin{aligned} \text{Energi potensial} &= mgz \\ \text{Energi potensial per unit berat} &= z, \end{aligned} \quad (2.1)$$

$$\begin{aligned} \text{Energi kinetik} &= \frac{1}{2}mv^2 \\ \text{Energi kinetik per unit berat} &= \frac{v^2}{2g} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Pada fluida yang mengalir steady dapat juga terjadi tekanan. Itu dapat dilihat pada penampang melintang, tekanan menghasilkan gaya, dan sebagai fluida yang mengalir penampang melintang ini akan bergerak terus dan kerja akan dihasilkan.

Jika tekanan pada bagian AB adalah p dan area potongan melintang adalah A ,

$$\text{Gaya yang diberikan pada AB} = pA$$

Setelah suatu berat mg dari fluida mengalir sepanjang *streamtube*, bagian AB akan bergerak ke A'B':

$$\text{Volume yang lewat AB} = \frac{mg}{\rho g} = \frac{m}{\rho}$$

Maka,

$$\text{Jarak AA}' = \frac{m}{\rho A}$$

$$\begin{aligned} \text{Kerja yang dihasilkan} &= \text{gaya} \times \text{jarak AA}' \\ &= \rho A \frac{m}{\rho A} \end{aligned}$$

$$\text{Kerja yang dihasilkan per unit berat} = \frac{p}{\rho g} \quad (2.3)$$

Sehingga $p/\rho g$ inilah yang diketahui sebagai kerja aliran atau energi tekanan.

(Douglas, 1995)

B. Hukum Bernoulli

Persamaan Ueler diberikan sebagai berikut:

$$\frac{1}{\rho} \frac{dp}{ds} + v \frac{dv}{ds} + g \frac{dz}{ds} = 0 \quad (2.4)$$

Persamaan ini diberikan dalam bentuk deferensial, hubungan antara tekanan p , kecepatan v , massa jenis ρ , dan beda ketinggian z sepanjang suatu garis alir untuk aliran steady. Itu tidak dapat diintegrasikan sampai hubungan antara massa jenis ρ dan tekanan p diketahui.

Untuk fluida inkompresibel, dimana massa jenis ρ konstan, integrasi dari persamaan (2.5) sepanjang garis alir, diberikan:

$$\frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2} + gz = \text{konstan} \quad (2.5)$$

Untuk energi per unit massa dibagi dengan g ,

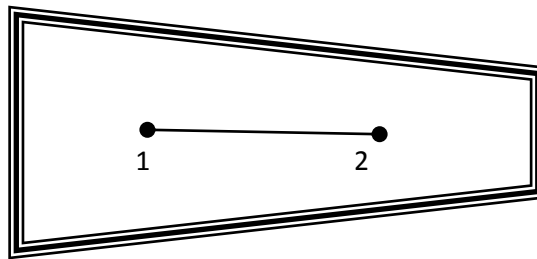
$$\frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \text{konstan} = H \quad (2.6)$$

Persamaan inilah yang diketahui sebagai persamaan Bernoulli dimana hubungan antara tekanan p , kecepatan v , dan beda ketinggian z dalam kondisi aliran steady, inkompresibel, tanpa gesekan dan massa jenis ρ konstan.

Dari persamaan (2.7) dapat dilihat bahwa tiga bagian dari persamaan Bernoulli bahwa energi tekanan per unit berat, energi kinetik per unit berat dan energi potensial per unit berat dan H konstan adalah total energi per unit berat.

Persamaan Bernoulli dapat diterapkan pada sembarang 2 (dua) penampang aliran fluida sepanjang garis arus (*streamline*) apabila masih sesuai dengan tiga asumsi lainnya, misalkan antara penampang 1 dan 2 persamaan Bernoulli menjadi :

$$\frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 \quad (2.7)$$



Gambar 2. Aliran fluida pada penampang garis arus

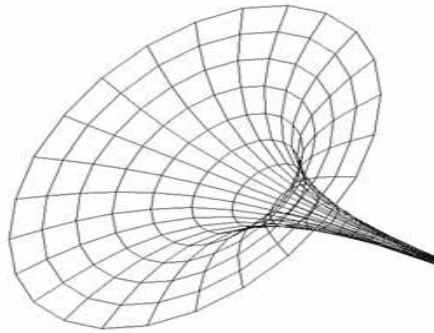
Atau total energi per unit berat pada 1 = total energi per unit berat pada 2. Persamaan (2.8) diasumsikan bahwa tidak ada energi yang ditambahkan dan diambil dari fluida antara poin 1 dan 2. Energi dapat ditambahkan oleh misalnya pompa, atau energi dapat diambil atau hilang oleh karena gesekan atau kerja mesin seperti turbin. Persamaan Bernoulli dapat ditulis kembali dengan memasukkan beberapa kondisi diatas, sehingga diberikan: (Douglas, 1995)

$$\frac{p_1}{\rho_1 g} + \frac{v_1^2}{2g} + z_1 = \frac{p_2}{\rho_2 g} + \frac{v_2^2}{2g} + z_2 + h + w - q \quad (2.8)$$

C. Vortex

Sebuah vortex merupakan pusaran, seringkali dalam bentuk turbulen yang terjadi dalam aliran fluida. Pergerakan spiral dengan arah aliran tertutup disebut aliran

vortex. Gerakan dari fluida yang melingkar secara cepat disekeliling pusat disebut juga vortex. Laju kecepatan dan jumlah dari rotasi dari fluida yang paling besar terjadi pada pusatnya dan secara progresif menurun sebanding dengan jaraknya dari pusat. Vortex dapat berupa aliran sirkular atau rotari yang memiliki vortisitas. Hal ini dapat dihubungkan pada jumlah dari sirkulasi atau rotasi dalam sebuah fluida. Dalam dinamika fluida, vortisitas adalah sirkulasi persatuan luas pada sebuah titik dalam medan aliran. (<http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex>)



Gambar 3. Profil Sebuah Vortex

(<http://www.newalexandria.org/works/vortex/index.htm>)

Vortex memiliki beberapa sifat-sifat khusus:

- Tekanan fluida dalam sebuah vortex bernilai paling rendah dipusatnya dimana pada kondisi ini kecepatannya paling tinggi, dan naik secara bertahap sesuai dengan pengaruh jarak dari pusat. Hal ini sesuai dengan persamaan bernouli.
- Inti dari setiap vortex dapat dibayangkan mengandung sebuah garis vortex dan setiap partikel dalam vortex dapat dianggap bersirkulasi disekitar garis

vortex. Garis-garis vortex berawal dan berakhir pada lapis batas dari fluida tetapi garis-garis tersebut tidak bermula atau berakhir dalam fluida.

(<http://en.wikipedia.org/wiki/Vortex>)

Secara garis besar vortex dikelompokkan menjadi dua jenis yaitu vortex bebas dan vortex paksa.

1. Vortex Paksa (Forced Vortex)

Kalau suatu aliran diputar dengan cara mekanikal, yaitu dengan cara mengaduk dengan kipas pompa sentrifugal atau dalam bentuk rumah keong dari turbin Francis, maka menjadi pusaran dengan paksaan. Secara sistematis, suatu pusaran dengan paksaan mempunyai karakteristik bahwa setiap tetes dari cairan didalamnya mempunyai kecepatan sudut ω yang sama, sehingga kecepatan tangensial jari-jari r dari pusat pusaran adalah $v = \omega r$. Pada pusat, dimana $r = 0$, $v = 0$. (Dugdale, 1986)

Fluida yang berputar sebagai solid dengan kecepatan sudut ω konstan, pada setiap titik radius r ,

$$v = \omega r \quad \text{sehingga} \quad \frac{dv}{dr} = \omega \quad \text{dan} \quad \frac{v}{r} = \omega$$

dari persamaan persamaan Bernoulli sepanjang garis arus:

$$\frac{dH}{dr} = \frac{v}{g} \left(\frac{v}{r} + \frac{dv}{dr} \right) \quad (2.9)$$

sehingga,

$$\frac{dH}{dr} = \frac{\omega r}{g} (\omega + \omega) = \frac{2\omega r}{g}$$

dengan integrasi,

$$H = \frac{\omega^2 r^2}{g} + C \quad (2.10)$$

Dimana C konstan, tapi untuk beberapa titik dalam fluida,

$$H = \frac{p}{\rho g} + \frac{v^2}{2g} + z = \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2 r^2}{g} + z$$

Substitusikan pada persamaan (2.10),

$$\begin{aligned} \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2 r^2}{2g} + z &= \frac{p}{\rho g} + \frac{\omega^2 r^2}{g} + C \\ \frac{p}{\rho g} + z &= + \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C \end{aligned} \quad (2.11)$$

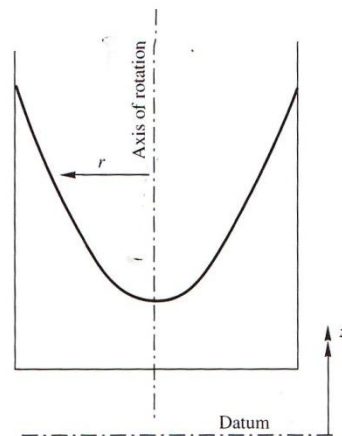
Jika fluida yang berputar terjadi pada permukaan bebas, tekanan pada permukaan ini berada pada tekanan atmosfer dan menjadi nol (gauge).

Dengan $p/\rho g = 0$ pada persamaan (2.11), profil pada permukaan bebas diberikan: (Douglas, 1995)

$$z = + \frac{\omega^2 r^2}{2g} + C \quad (2.12)$$

Oleh karena itu, pada permukaan bebas akan profil akan berbentuk sebuah parabola, gambar (2.4). Dengan cara yang sama untuk setiap bidang horizontal, dimana untuk setiap z konstan, distribusi tekanan diberikan sebagai berikut:

$$\frac{p}{\rho g} = \frac{\omega^2 r^2}{2g} + (C - z) \quad (2.13)$$



Gambar 4. Profil Vortex Paksa (J.F Douglas, 1995)

2. Vortex Bebas (*Free Vortex*)

Suatu pusaran bebas (*free vortex*) adalah fenomena yang timbul ketika air bak dibiarkan keluar melalui lubang keluar (*sink*). Pusaran merupakan konsep matematis dari aliran tidak berputar, yang garis-garis arusnya adalah berpusat pada sumbu vertikal yang sama. (Dugdale, 1986)

Pada kasus ini, garis arusnya adalah lingkaran konsentris, tetapi tidak ada perubahan dari variasi kecepatan dengan radius dari total energi per unit berat dengan radius, sehingga $dH/dr = 0$. Substitusi dari persamaan (2.11),

$$0 = \frac{v}{g} \left(\frac{v}{r} + \frac{dv}{dr} \right),$$

$$\frac{dv}{dr} + \frac{v}{r} = 0,$$

Di integrasikan,

$$\log_e v + \log_e r = \text{konstan}$$

Atau
$$vr = C \quad (2.13)$$

Dimana C adalah konstan diketahui sebagai kekuatan dari vortex pada tiap-

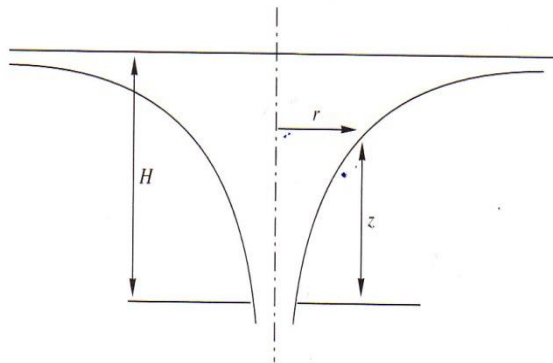
tiap radius r,
$$v = \frac{C}{r} .$$

Karena pada tiap titik,

$$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{C^2}{2gr^2} = H$$

Jika fluida pada kondisi permukaan bebas, $\frac{p}{\rho g} = 0$ dan profil pada permukaan bebas diberikan sebagai berikut:

$$H - z = \frac{C^2}{2gr^2} \quad (2.14)$$



Gambar 5. Profil Vortex Bebas (Douglas, 1995)

Untuk tiap-tiap bidang horizontal, z adalah konstan dan variasi tekanan diberikan sebagai:

$$\frac{p}{\rho g} = (H - z) - \frac{C^2}{2gr^2} \quad (2.15)$$

Sehingga pada vortex bebas, tekanan menurun dan circumferensial kecepatan naik ketika bergerak mendekati pusat vortex. (J.F Douglas, 1995)

3. Sirkulasi

Sirkulasi adalah sifat aliran yang berkaitan dengan gaya angkat (lift), juga berhubungan dengan putaran yang pengenalannya dapat membantu (secara berlawanan) terhadap pemahaman lebih mendalam tentang aliran tidak berputar.

Secara matematis sirkulasi Γ (gamma) dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\Gamma = \int_S v_s \quad \text{atau} \quad \Gamma = \oint v_s ds \quad (2.16)$$

Dimana \int_S dan \oint integral meliputi seluruh permukaan S. sebagai contoh kalau elemen cairan bergerak melingkar dengan jari-jari r dengan kecepatan sudut ω , maka pada setiap titik dari lingkaran :

$$v_s = \omega r \quad \text{dan} \quad \Gamma = \int_S \omega r ds = \int_0^{2\pi} \omega r r d\theta$$

Yaitu,

$$= 2\pi\omega r^2 \quad (2.17)$$

Suatu hasil yang penting yang akan dipergunakan lagi, kecuali dalam hal tertentu, terdapatnya sirkulasi menunjukkan secara tidak langsung bahwa aliran adalah berputar dan kenyataannya, ω adalah perputaran. Selanjutnya,

dalam aliran berputar setiap elemen fluida berputar terhadap suatu sumbu di dalam alirannya. $\Gamma = 0$ menandakan aliran tidak berputar.

Sifat lain yang langsung berhubungan dengan sirkulasi adalah perpusaran (vorticity) ζ (chi) yang didefinisikan sebagai sirkulasi persatuan luas. Dalam contoh di atas luasan yang dibatasi oleh lingkaran adalah πr^2 sehingga,

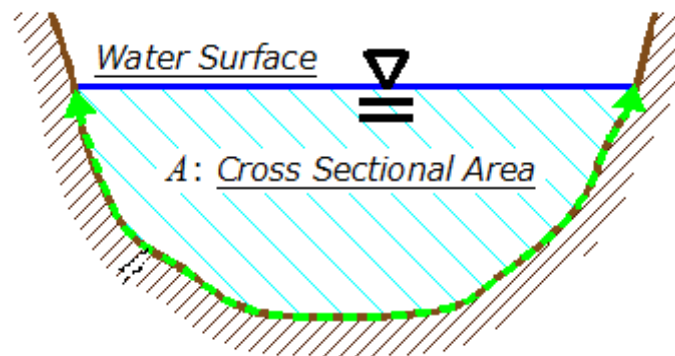
$$\zeta = \frac{\Gamma}{\pi r^2} = 2\omega \quad (2.18)$$

Suatu hasil yang benar untuk semua aliran berputar. Jelasnya definisi yang lebih tepat untuk perpusaran adalah $\zeta = \lim_{A \rightarrow 0} \left(\frac{\Gamma}{A} \right)$ dimana A adalah luas penampang melintang dari elemen fluida yang perputarannya ω . (Dugdale, 1986)

D. Saluran Terbuka (Open Chanel)

Aliran dalam pipa berbeda dengan aliran saluran terbuka (open channel), karena tidak adanya permukaan bebas, yaitu aliran di dalam pipa terjadi dibawah tekanan. Permukaan bebas itu seharusnya benar-benar dianggap sebagai permukaan antara fluida yang bergerak dengan udara yang diam atau bergerak (atmosfer). Bentuk permukaan bebas ditentukan oleh gaya-gaya inersia, gaya berat dan tegangan permukaan. Karena tegangan permukaan tidak perlu dalam berbagai masalah praktek, pada dasarnya saluran terbuka ditentukan oleh gaya berat terlepas dari inersia dan kekentalan. Garis kemiringan hidraulis dalam hal saluran terbuka

adalah permukaan itu sendiri dan oleh karena itu, aliran terbuka juga dinamakan aliran permukaan bebas (*free surface*).



Gambar 6. Profil Open channel

(http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Open_Channel_Section.png)

Saluran terbuka dapat diklasifikasikan sebagai saluran buatan (*artificial*) dan alami (*natural*), tergantung pada apakah penampangnya adalah buatan manusia atau sebaliknya. Suatu saluran yang mempunyai penampang dan kemiringan yang tetap disebut saluran prismatic, apabila salah satu kemiringannya berubah-ubah sepanjang saluran, maka disebut non prismatic. Suatu saluran dengan dasar dan sisinya yang tidak dapat bergerak dikenal sebagai saluran bertepi kukuh (*rigid boundary channel*). Apabila batas itu terdiri dari partikel sedimen lepas yang bergerak dibawah pengaruh air yang sedang bergerak, saluran itu dikenal sebagai saluran bergerak (*mobile boundary channel*). (Raju, 1986)

E. Turbin

1. Pengertian Turbin

Turbin adalah sebuah mesin berputar yang mengambil energi dari aliran fluida. Secara umum, turbin adalah mekanik yang terdiri dari poros dan sudu. Sudu tetap (*stationary blade*), tidak ikut berputar bersama poros, dan berfungsi mengarahkan aliran fluida. Sedangkan sudu putar (*rotary blade*), mengubah arah dan kecepatan aliran fluida sehingga timbul gaya yang memutar poros. Air biasanya dianggap sebagai fluida inkompresibel, yaitu yang secara virtual massa jenisnya tidak berubah dengan tekanan.

Teori turbin air bertujuan untuk mendapatkan unjuk kerja optimum dalam pemanfaatan energi air pada suatu kondisi operasi tertentu. Dasar kerja turbin air yang sangat sederhana sudah diketemukan sebelum dimulainya tahun masehi. Teknologi turbin air merupakan perkembangan dari kincir air (*water wheel*). Perbedaan utama dari kincir air dan turbin adalah bahwa kincir air hanya mengubah kecepatan aliran, sedangkan turbin air mengubah arah dan kecepatan aliran

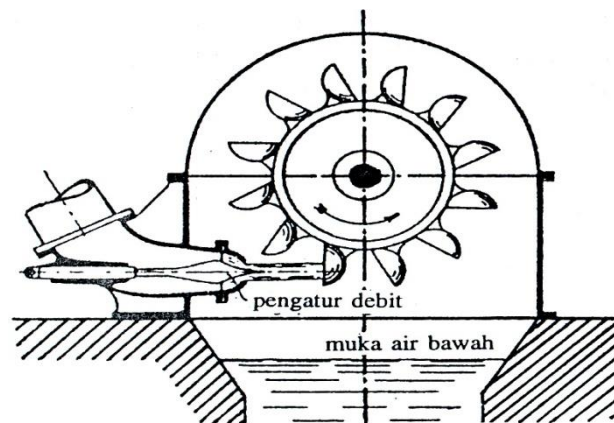
Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri, dan untuk jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk generator listrik. Turbin kini dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharukan. (Galih, 2008)

2. Jenis-Jenis Turbin

Secara umum terdapat dua jenis utama turbin, yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Pada turbin impuls, pancaran air bebas mendorong bagian turbin yang berputar yang ditempatkan pada tekanan atmosfer. Pada turbin reaksi, aliran air terjadi dengan tekanan pada ruang tertutup. Meskipun energi yang diberikan kepada turbin impuls adalah semata-mata energi kinetik, tetapi kedua jenis turbin tersebut tergantung kepada perubahan momentum air, sehingga gaya dinamikalah yang mengenai bagian yang berputar atau *runner* dari turbin tersebut.

3. Turbin Impuls

Yang dimaksud dengan turbin impuls adalah turbin air yang cara bekerjanya dengan merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi energi kinetik untuk memutar turbin, sehingga menghasilkan energi puntir. (Luknanto, 2003)

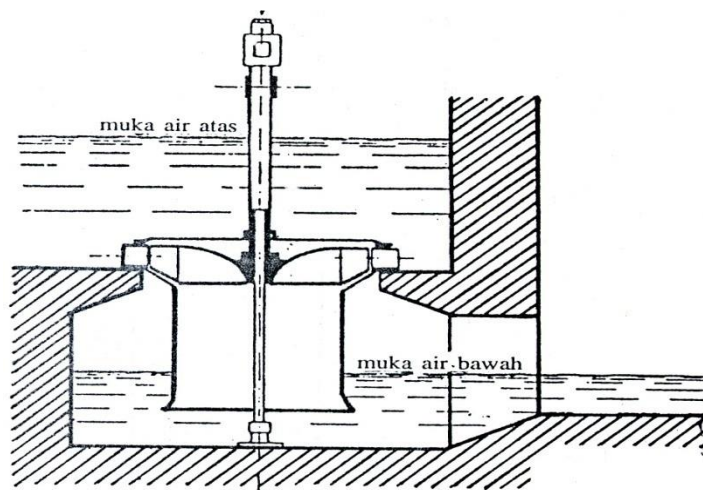


Gambar 7. Gambaran umum turbin impuls (Patty, 1995)

Turbin impuls dikenal juga sebagai roda air tangensial atau roda pelton, mengambil nama orang yang telah mengembangkannya menjadi rencana dasar yang dipakai saat ini. Turbin ini mempunyai ember terbelah (*split bucket*) yang terletak didinding luarnya. Pada saat air menrpa sisi pemisah dari ember, maka air akan terpisah menjadi dua bagian dan akan keluar lagi dari kedua roda pemisah ember. Pancaran air ini dihasilkan penyemprot atau biasa disebut *nozzle*. Jenis-jenis turbin impuls sendiri yaitu: pelton, turgo, Michell-Banki (Crossflow atau ossberger).

4. Turbin Reaksi

Yang dimaksud turbin rekasi adalah turbin air yang cara bekerjanya merubah seluruh energi air (yang terdiri dari energi potensial + tekanan + kecepatan) yang tersedia menjadi puntir. Turbin reaksi secara garis besar dibagi menjadi dua jenis, yaitu turbin francis dan turbin propeller. (Luknanto, 2003)



Gambar 8. Gambaran umum turbin reaksi (Patty, 1995)

F. Mikrohidro Power

Micro-Hydro Power adalah pemanfaatan energi skala kecil dari air terjun, sebagai contoh pemanfaatan air sungai untuk energi industri kecil atau perkampungan.

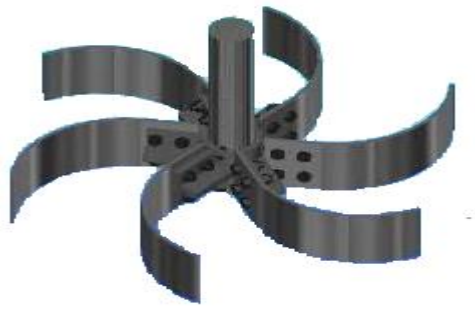
Micro-Hydro Power diklasifikasikan berdasarkan ukurannya sebagai berikut:

(<http://phetchabun2.net>)

- *Large hydro* = lebih dari 100 MW dan biasanya untuk memberi energi jaringan listrik yang besar.
- *Medium hydro* = 15-100 MW biasanya untuk memberi energi pada jaringan listrik.
- *Small hydro* = 1-15 MW biasanya untuk memberi energi pada jaringan listrik
- *Mini Hydro* = diatas 100 kW tapi dibawah 1MW, lebih sering digunakan untuk memberi energi pada jaringan listrik
- *Micro hydro* = dari 5 kW sampai 100 kW, biasanya energi yang diberikan industri pedesaan di daerah yang jauh dari jaringan listrik.
- *Pico Hydro* = dari beberapa ratus watt sampai 5 kW.

G. Radial Swirl Blade (RSB)

Radial Swirl Blade atau terkadang juga disebut sebagai *Radial Curved Blade* merupakan sudu yang paling efisien untuk aliran radial. *Radial swirl blade* turbin adalah sebuah turbin air dengan *blade* yang berbentuk lengkung, dengan dimensi yang sama *blade* ini akan menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan *flat blade*. Lengkungan yang dibuat yang mengikuti pola *vortex* akan memperbesar luas bidang kontak air dengan *blade* sehingga energi yang diterima pun akan lebih optimal.



Gambar 9. *Radial Swirl Blade*

(<http://www.haywardgordon.com/main.cfm?idB>)

H. Perhitungan Pada Turbin

1. Perhitungan Daya Potensial Air

Perhitungan ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar potensi yang tersedia dari sebuah sumber daya. Hal ini penting untuk kepentingan perancangan suatu pembangkit, sehingga diketahui seberapa besar suatu pembangkit akan dibuat.

Pemanfaatan energi air dalam hal ini dapat diperoleh dari aliran air datar. energi yang tersedia merupakan energi potensial.

$$E = mgH \quad (2.19)$$

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut :

$$P_{hidro} = \rho QgH \quad (2.20)$$

2. Perhitungan Daya Teoritik Turbin

Jika pada aliran terdapat sebuah permukaan lengkung dimana aliran dapat melebar, menyempit, atau membelok, distribusi tekanan kemungkinan besar tidak hidrostatik sehingga suatu gaya tambahan dibutuhkan untuk menerangkan pengaruh permukaan tersebut pada fluida. Gaya ini ditentukan atau dihitung dengan menggunakan prinsip momentum.

Kalau kita memperhatikan elemen fluida dalam gambar (2.10) Dan menerapkan hukum newton kedua dalam arah normal terhadap garis arus (streamline), variasi-variasi beda kecepatan, beda tekanan, dan beda potensial diantara garis-garis arus dapat ditentukan. Walaupun kecepatan V sendiri selalu bersinggungan dengan garis arus pada titik mana pun jika garis itu lengkung, kecepatan pada jarak tak terhingga dari suatu titik yang diukur sepanjang garis arus akan mengalami perubahan arah. Komponen arah yang telah berubah ini dalam arah normal terhadap garis arus pada sebuah titik tertentu dituliskan sebagai V_n . jika V_n merupakan fungsi letak dan waktu, kita boleh menuliskan $V_n = V_n(s,t)$.

$$V_n = \frac{\partial V_n}{\partial s} ds + \frac{\partial V_n}{\partial t} dt \quad (2.21)$$

Atau

$$\frac{dV_n}{dt} = \frac{\partial V_n}{\partial s} \frac{ds}{dt} + \frac{\partial V_n}{\partial t}$$

Argument-argumen dalam gambar (2.10) menyiratkan bahwa $\frac{\partial V_n}{\partial s} = \frac{V}{r}$,

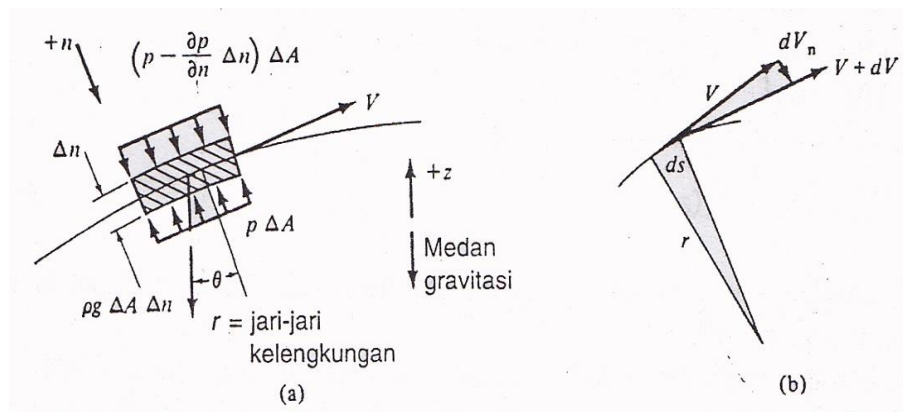
dengan r jari-jari lengkung garis arus, dan karena $\frac{ds}{dt} = V$

$$a_n = \frac{V^2}{r} + \frac{\partial V_n}{\partial t} \quad (2.22)$$

Suku V^2/r menyatakan gerak konveksi dan $\partial V_n / \partial t$ adalah percepatan local.

Sebagaimana terdahulu, kita menerapkan hukum kedua newton pada sebuah elemen fluida yang tidak viscous. Dari gambar 2.10 kalau kita menuliskan

$\sum F = ma_n$ normal terhadap garis arus.



Gambar 10. Gaya-Gaya Normal Pada Elemen Fluida yang Bergerak Sepanjang Garis Arus

(a) gaya-gaya normal pada elemen fluida yang bergerak sepanjang sebuah garis arus. (b) aliran sepanjang garis arus yang lengkung (Reuben M Olson, 1993)

$$-p \Delta A + \left(p - \frac{\partial p}{\partial n} \Delta n \right) \Delta A + \rho g \Delta A \Delta n \cos \theta = \rho \Delta A \Delta n \left(\frac{V^2}{r} + \frac{\partial V_n}{\partial t} \right) \quad (2.23)$$

Dan karena $\cos \theta = -\partial V_z / \partial n$, kita dapat menyederhanakannya menjadi

$$\frac{V^2}{r} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial V_p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = -\frac{\partial V_n}{\partial t} \quad (2.24)$$

Yang merupakan persamaan untuk gerak yang normal terhadap sebuah garis arus. Jika garis-garis arus itu lurus (jari-jari lengkung r tak terhingga dan V^2/r

serta V_n keduanya sama dengan nol), persamaan (2.25) boleh diintegrasikan sepanjang garis n , untuk fluida berkerapatan konstan, menjadi $P + \rho gz =$ tetapan

Yang menunjukkan bahwa, dalam aliran fluida yang kerapatannya konstan apabila tidak ada garis arus yang lengkung, tekanan piezometrik konstan dan normal terhadap garis-garis arus. Pada bidang horizontal dengan kondisi-kondisi yang sama, intensitas tekanan konstan dan normal terhadap garis-garis arus. Untuk aliran steady, $\partial V_n / \partial t = 0$ dan suku terakhir dalam persamaan (2.25) menjadi hilang.

Jika garis-garis arus berbentuk lengkung, persamaan (2.24) untuk aliran steady pada bidang horizontal menjadi

$$\frac{V^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dn} = +\frac{1}{\rho} \frac{dp}{dr} \quad (2.25)$$

Karena arah n berlawanan dengan arah radial r (gambar 2.10, jadi,

$$\frac{dp}{dr} = \rho \frac{V^2}{r} \quad (2.26)$$

Ini menyatakan bahwa $dp/dr \geq 0$ baik untuk aliran rotasi maupun non rotasi. Bersamaan dengan bertambahnya jari-jari (dr positif), tekanan juga bertambah (dp positif), dan apabila jari-jari lengkung berkurang, tekanan juga berkurang. Oleh sebab itu, dalam arah menjauh dari pusat lengkungan, tekanan bertambah sedangkan dalam arah menuju ke pusat lengkungan garis-garis arus yang melengkung linear, tekanan berkurang.

Kita akan mengintegrasikan persamaan (2.24) untuk aliran non rotasi dan untuk aliran rotasi yang berputar seperti benda padat.

Untuk aliran non rotasi $\omega=0$, sehingga,

$$\frac{V}{r} = \frac{\partial V}{\partial n} \quad \text{dan} \quad \frac{V^2}{r} = V \frac{\partial V}{\partial n} \quad (2.27)$$

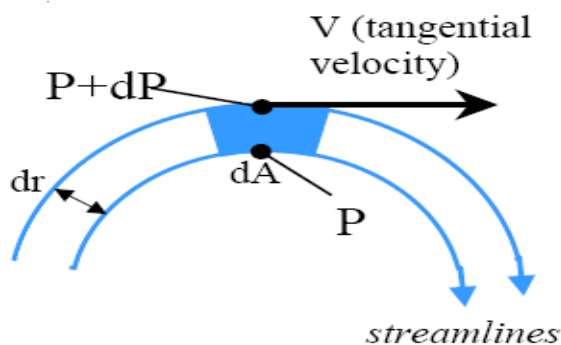
Dengan demikian persamaan (2.25) bisa dituliskan untuk aliran steady sebagai berikut

$$V \frac{\partial V}{\partial n} + \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n} + g \frac{\partial z}{\partial n} = 0 \quad (2.28)$$

Jadi, untuk aliran non rotasi yang steady, persamaan untuk gerak yang normal terhadap sebuah garis arus tepat sama dengan bentuk persamaan gerak di sepanjang garis arus.

Daya teoritis adalah daya yang seharusnya diterima oleh poros turbin secara utuh, dengan mengabaikan rugi-rugi statis dan dinamis saat sistem bekerja.

Distribusi tekanan yang terjadi pada aliran vortex adalah :



Gambar 11. Distribusi Tekanan aliran vortex

(<http://depts.washington.edu/notesWeek05Lecture11.pdf>.)

$$dP = \rho \frac{v^2}{r} dr \quad (2.29)$$

Maka distribusi tekanan yang terjadi :

$$\frac{dP}{dr} = \rho \frac{v^2}{r} \quad (2.30)$$

$$\therefore v = \omega \times r$$

$$\Rightarrow \frac{dP}{dr} = \rho \frac{\omega^2 r^2}{r}$$

$$\Rightarrow \int dP = \int \rho \omega^2 r dr$$

$$\Rightarrow P = \frac{\rho \omega^2 r^2}{2} = \left. \frac{1}{2} \rho \omega^2 r^2 \right|_{r_1}^{r_2} \quad (2.31)$$

Gaya yang bekerja diberikan sebagai berikut:

$$F = P \times A \quad (2.32)$$

Dimana A adalah luas area sudu yang terkena momentum air.

Torsi yang dihasilkan:

$$T = F \times r \quad (2.33)$$

Menghitung daya poros (P_{poros})

$$P_{poros} = 2\pi \left(\frac{nT}{60} \right) \quad (2.34)$$

Menghitung daya hidraulis (Ph)

$$Ph = \rho Q g H \quad (2.35)$$

Menghitung efisiensi turbin

$$\eta = \frac{\text{Daya Poros}}{\text{Daya Hidro}} \times 100\% \quad (2.36)$$

3. Perhitungan Daya Aktual Turbin

Energi yang dihasilkan turbin adalah energi yang diperoleh dari kerja turbin, nilai energi diperoleh dari proses pengambilan data berupa torsi dan kecepatan putar poros turbin.

Kecepatan sudut diberikan dalam:

$$\omega = \frac{2\pi N}{60} \quad (2.37)$$

Daya poros turbin diberikan dalam pers (2.26):

$$P_{poros} = \frac{2\pi NT}{60} \quad (2.38)$$

Efisiensi merupakan perbandingan dari energi yang termanfaatkan dengan potensial energi yang tersedia, secara matematis diberikan:

$$\eta = \frac{P_{poros}}{P_{hidrolis}} = 100\% \quad (2.39)$$

4. Kecepatan Spesifik

Kecepatan spesifik (n_s), menunjukkan bentuk dari turbin itu dan tidak berhubungan dengan ukurannya. Hal ini menyebabkan desain turbin baru yang diubah skalanya dari desain yang sudah ada dengan performa yang

sudah diketahui. Kecepatan spesifik merupakan kriteria utama yang menunjukkan pemilihan jenis turbin yang tepat berdasarkan karakteristik sumber air. Kecepatan spesifik dari sebuah turbin juga dapat diartikan sebagai kecepatan ideal, persamaan geometris turbin, yang menghasilkan satu satuan daya tiap satu satuan head.

Kecepatan spesifik turbin diberikan oleh perusahaan (dengan penilaian yang lainnya) dan selalu dapat diartikan sebagai titik efisiensi maksimum. Perhitungan tepat ini menghasilkan performa turbin dalam jangkauan head dan debit tertentu.

$$n_s = n \frac{\sqrt{Q}}{H^{3/4}} \quad (2.40)$$

Dimana :

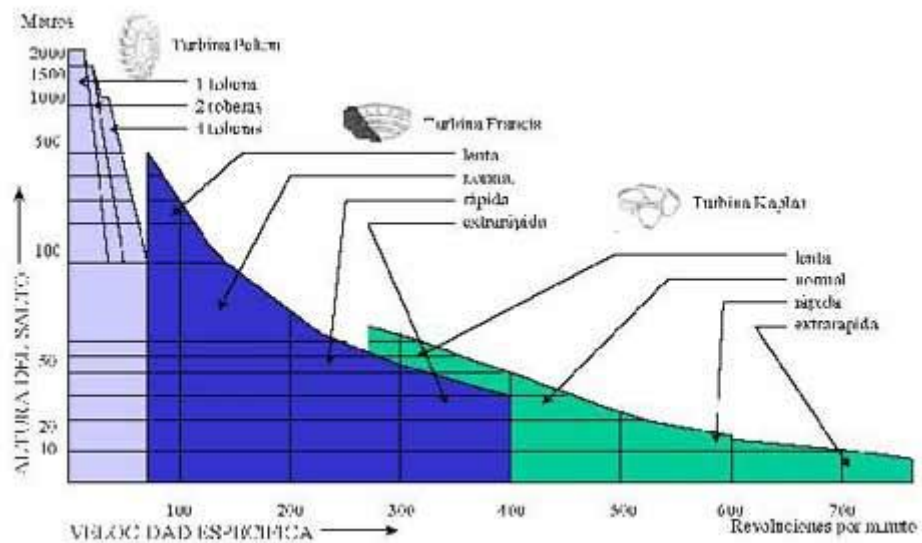
- Ns = Putaran specific turbin
- n = putaran poros (rpm)
- Q = Laju aliran volume (m³/s)
- H = Head jatuh turbin (m)

Tabel 1. kecepatan spesifik pada pemilihan jenis turbin

<i>Specific Speed in r.p.m.</i>	<i>Turbine type</i>	<i>Jump height in m</i>
Until 18	Pelton of an injector	800
From 18 to 25	Pelton of an injector	800 to 400
From 26 to 35	Pelton of an injector	400 to 100
From 26 to 35	Pelton of two injectors	800 to 400
From 36 to 50	Pelton of two injectors	400 to 100

From 51 to 72	Pelton of four injectors	400 to 100
From 55 to 70	Very slow Francis	400 to 200
From 70 to 120	Slow Francis	200 to 100
From 120 to 200	Normal Francis	100 to 50
From 200 to 300	Quick Francis	50 to 25
From 300 to 450	Extra-quick Francis	25 to 15
From 400 to 500	Extra-quick helix	15
From 270 to 500	Slow Kaplan	50 to 15
From 500 to 800	Quick Kaplan	15 to 5
From 800 to 1100	Extra-quick Kaplan	Less than 5

(<http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/English/Turbines/T-9.10.html>)



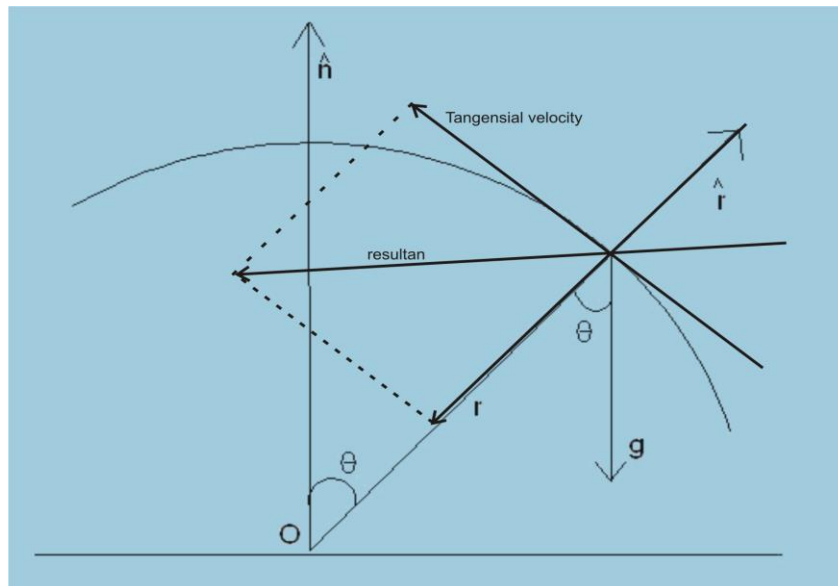
Gambar 12. Kecepatan spesifik dari berbagai jenis turbin hidrolis, dalam fungsi tinggi head.

(<http://usuarios.multimania.es/jrcuenca/English/Turbines/T-9.10.html>)

5. Polygon kecepatan

Segitiga kecepatan ini adalah hubungan antara berbagai kecepatan dapat dipastikan untuk mudahnya komponen-komponen dari V_1 dan V_2 dalam arah perputaran (tangensial) dan dalam arah radial biasanya terlihat pada segi-segi kecepatan. Komponen-komponen V_{u1} dan V_{u2} disebut sebagai kecepatan putaran dan V_{m1} dan V_{m2} disebut sebagai kecepatan meridional atau kecepatan aliran.

Namun dalam aliran vortex, kecepatan yang ada hanya kecepatan mutlak (V), dimana kecepatan masuk dan kecepatan keluar adalah sama. Fluida menumbuk sudu akibat resultan dari kecepatan tangensial dan kecepatan radial. Resultan ini seragam sepanjang garis alir dan ketinggian sudu. Sehingga resultan kecepatan pada sisi keluar lubang buang bernilai sama.



Gambar 13. Sebaran gaya pada aliran vortex

(http://nptel.iitm.ac.in/courses/Webcourse-contents/IIT-KANPUR/FLUID-MECHANICS/lecture-14/hyperlink/14-2a_deriv_mech_energy.html)