

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

1. Kurniawan, Hudan Achmad. 2017

Dalam penelitian yang berjudul “Pengaruh Sudut Inlet Notch Pada Turbin Reaksi Aliran Vortex Terhadap Daya dan Efisiensi”, menyatakan bahwa variasi sudut sudu pengarah sangat berpengaruh terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin vortex.

Sudu pengarah dengan sudut $17,82^\circ$ memiliki daya dan efisiensi paling optimal daripada sudut $13,32^\circ$, $7,26^\circ$ dan 0° (tanpa sudu pengarah) . Pada sudu pengarah $17,82^\circ$ memiliki daya tertinggi yang terjadi pada kapasitas $8,1327077$ L/s dengan pembebanan 20.000 g ($23,96$ W), dan efisiensi tertinggi terjadi pada kapasitas $5,6472274$ L/s dengan pembebanan 15.000 g ($57,26$ %).

2. Prasetyo, Wahyu Didik. 2018

Wahyu didik prasetyo melakukan penelitian yang berjudul Rancang Bangun Turbin Vortex Skala Kecil dan Pengujian Pengaruh Bentuk Penampang Sudu Terhadap Daya. Kapasitas debit air yang digunakan berasal dari pompa dengan kapasitas debit $7,71$ L/s. Tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah untuk mengetahui pengaruh bentuk sudu terhadap torsi dan putaran poros maksimum yang dihasilkan dan juga untuk mengetahui pengaruh bentuk sudu turbin vortex terhadap daya yang dihasilkan

penelitian ini meneliti turbin vortex dengan bentuk sudu lengkung, sudu lurus dan lengkung sirip, menggunakan 6 bilah. Hasil penelitian menunjukkan sudu berbentuk lengkung sirip memiliki torsi terbesar $2,00$ Nm pada putaran 60 rpm dengan bukaan katup 100% . Daya efektif terbesar $14,4$

Watt pada putaran 70 rpm dengan bukaan katup gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s pada turbin lurus, daya potensi 30,27 Watt pada bukaan katup gas pompa air 100% atau debit 7,71 l/s.

3. Nikita, R., Priyo, H, A. 2017

Dalam penelitian ini mencoba melakukan kajian penelitian untuk mengoptimalkan daya dan efisiensi turbin reaksi aliran vortex dengan memvariasikan jumlah sudu pada turbin reaksi aliran vortex tipe sudu berpenampang plat datar. Diharapkan dengan eksperimen penelitian ini dapat menghasilkan turbin reaksi aliran vortex yang baik dari segi daya dan efisiensinya .

Penelitian yang dilakukan oleh Afryzal, Nikita Randy dalam penelitian yang berjudul “Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex Dengan Sudu Berpenampang Plat Datar”, menyatakan bahwa daya turbin terbesar menggunakan turbin dengan 8 sudu pada beban 25000 gr dengan kapasitas air sebesar 8,89 L/s diperoleh daya turbin sebesar 21,84 watt. Sedangkan efisiensi turbin terbesar menggunakan turbin dengan 8 sudu pada beban 20000 gr dengan kapasitas air sebesar 6,94 L/s diperoleh efisiensi turbin sebesar 44,3 %.

4. Mahendra, B. P, Priyo Heru A. 2017

Tujuan penelitian ini yang berjudul “ Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Basin Cone Terhadap Kinerja Turbin Reaksi Aliran Vortex” , yaitu untuk mengetahui pengaruh sudut *basin cone* terhadap daya dan efisiensi pada turbin reaksi aliran *vortex*. Penelitian ini membuat tiga macam *basin* yaitu *basin cone* dengan sudut 65°, *basin cone* dengan sudut 67°, *basin cone* dengan sudut 90°.

Hasil penelitian ini adalah variasi sudut *basin cone* dapat mempengaruhi daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin *vortex*. Daya dan efisiensi tertinggi diperoleh *basin cone* sudut 67° menghasilkan turbin yaitu 35,07 watt, dan efisiensi turbin 55,79 % dengan pembebanan 45.000

gram. Diikuti oleh *basin cone* sudut 65° dengan daya 27,22 Watt dan efisiensi turbin 51,12 % pada kapasitas 8,89 L/s dengan pembebanan 25.000 gram. Paling rendah berada pada *basin cone* sudut 90° diperoleh daya 21,15 Watt dan efisiensi turbin 37,28 % pada kapasitas 8,89 L/s dengan pembebanan 20.000 gram.

5. Edwin Ardiyanto. 2014

Pada penelitian yang dilakukan Edwin Ardiyanto. 2019 yang berjudul “ Analisa Pengaruh Penggunaan Sudu Naca 9516 Pada Turbin Air Vortex Tenaga Picohidro Terhadap Tinggi Jatuh Air dan Penyempitan Aloran Air” Melihat keberadaan sumber daya air saat ini belum sepenuhnya dimanfaatkan dengan maksimal, salah satu pemanfaatan sumber daya air adalah sebagai pembangkit listrik tenaga picohidro yang bisa dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat khususnya daerah-daerah terpencil yang memiliki sumber daya air.

Pengujian menggunakan variasi tinggi jatuh air kepala (H) 10 cm, 20 cm, 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Aliran air penyempitan sudut 20° , 40° , dan 60° . Pengujian menggunakan pisau NACA 9516, jumlah pisau 4 buah, panjang pisau 10 cm dan tinggi 30 cm, dengan variasi tinggi jatuh air dan sudut penyempitan aliran air yang mempengaruhi hasil putaran daya poros dan efisiensi daya turbin. Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan hasil tertinggi pada ketinggian jatuh air 50 cm dengan sudut penyempitan aliran 20° dengan hasil putaran poros 35,38 rpm, daya turbin sebesar 42,36 watt, dan nilai efisiensi turbin sebesar 46,64 %.

2.2 Sejarah Turbin Air

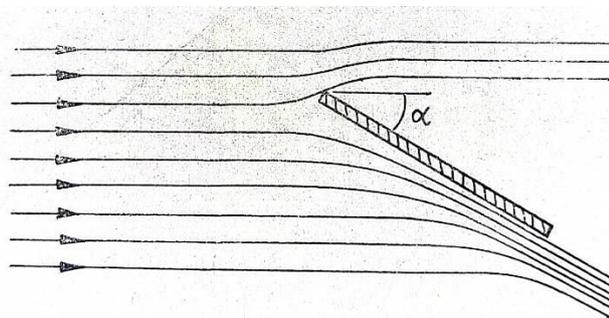
Turbin air merupakan turbin yang dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri untuk jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk generator listrik. Pada era sekarang ini turbin dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbaharui dan sudah sejak lama kincir air digunakan untuk tenaga industri. Turbin air ini mulanya yang

dipertimbangkan yaitu ukuran kincirnya, yang membatasi debit dan head yang dapat dimanfaatkan. Perkembangan kincir air menjadi turbin modern membutuhkan jangka waktu yang cukup lama, perkembangan yang dilakukan dalam waktu revolusi industri menggunakan metode dan prinsip ilmiah. Mereka juga mengembangkan teknologi material dan metode produksi baru pada saat itu.

Kata "turbine" ditemukan pada awal abad 19 oleh Claude Bourdin yang merupakan seorang insinyur Perancis, yang diambil dari terjemahan bahasa Latin dari kata "whirling" (putaran) atau "vortex" (pusaran air). Perbedaan dasar antara turbin air awal dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dengan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan dapat memanfaatkan head yang lebih tinggi (Poernomo Sari, S., dan Fasha Ryan. 2012).

2.3 Sudut Penyempitan Aliran

Sudut penyempitan yaitu merupakan perubahan luas penampang dengan pemberian aplikasi sudut pada saluran keluar air, sehingga menyebabkan beberapa perubahan seperti: Arah aliran, Kecepatan aliran, dan tekanan pada aliran air. Berdasarkan teori, jika sebuah lempeng dipertahankan dalam suatu sudut dengan arah aliran cairan, garis air akan tersulut seperti yang diperlihatkan pada gambar berikut.



Gambar 2. 1. Sudut Penyempitan Aliran

(Sumber : R. S. Khurmi. (1980). *Fluid Mechanics*. Hal: 372.

Tekanan yang diberikan oleh garis – garis streamisnya sama pada waktu fluida tersebut tidak bereaksi, setiap kali sebuah plat yang digunakan untuk membendung dan dihasilkan sebuah sudut penyempitan aliran fluida, plat tersebut mengalami tekanan dari fluida yang mengalir. Tekanan ini bereaksi dari sudut kanan plat yang digunakan untuk sudut penyempitan.

2.4 Jenis – jenis Turbin

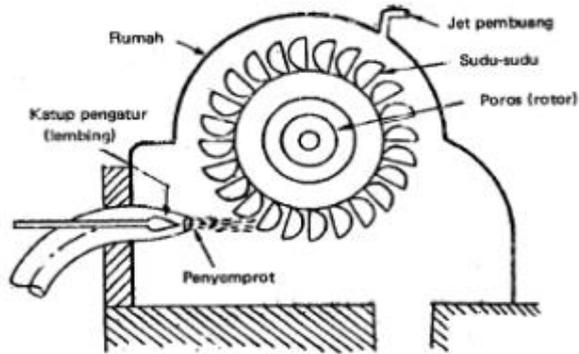
Berdasarkan prinsip kerja turbin dalam mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis, turbin dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi. Sebelum berkembang menjadi turbin Pelton dan turbin Crossflow (jenis impuls), dan turbin Francis dan turbin Kaplan (jenis reaksi) seperti yang banyak ditemukan saat sekarang, beberapa jenis turbin dengan konstruksi yang relatif sederhana telah mengawalinya. Disamping itu juga telah dilakukan upaya penyempurnaan dengan memodifikasi rancangan dari turbin-turbin yang sudah ada seperti turbin Pelton, turbin Crossflow, turbin Francis, dan turbin Kaplan (Dietzel,1990). Beberapa jenis turbin air ini perlu juga dikenal.

2.4.1 Turbin Impuls

Pada turbin impuls energi potensial air diubah menjadi energi kinetik pada nosel. Air yang keluar dari nosel mempunyai kecepatan tinggi membentur sudu turbin. Setelah membentur sudu turbin arah kecepatan aliran berubah sehingga terjadi perubahan momentum (impuls). Akibatnya roda turbin akan berputar. Beberapa contoh dari turbin impuls turbin pelton dan turbin crossflow.

1. Turbin Pelton

Turbin Pelton terdiri dari satu set sudu jalan yang diputar oleh pancaran air yang disemprotkan dari satu atau lebih alat yang disebut nosel. Turbin Pelton adalah salah satu dari jenis turbin air yang paling efisien. Turbin Pelton adalah turbin yang cocok digunakan untuk head tinggi, turbin pelton dapat dilihat pada Gambar 2.1

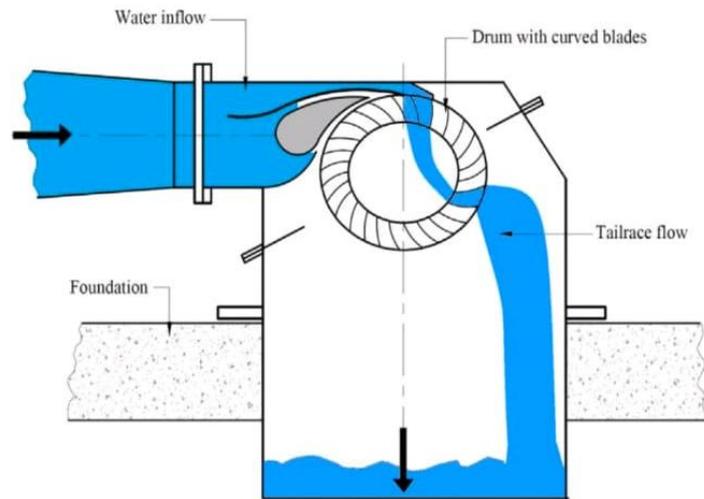


Gambar 2. 2 Skema Turbin Pelton

(Sumber : Barrows, H, K., Mass, Boston. 1926. *Water Power Engineering*. Hal: 207)

2. Turbin Crossflow

Pada turbin pelton beroperasi pada head relatif tinggi, sehingga head rendah kurang efektif. Sebagai alternatif turbin crossflow yang dapat beroperasi pada head rendah. Turbin crossflow dapat dioperasikan pada debit 20 liter/sec hingga 10 m³ /sec dan head antara 1 s/d 200 m. Aliran air dilewatkan melalui sudu-sudu jalan yang berbentuk silinder, kemudian aliran air dari dalam silinder keluar melalui sudu-sudu. Jadi perubahan energi aliran air menjadi energi mekanik putar terjadi dua kali yaitu pada waktu air masuk silinder dan air keluar silinder. Energi yang diperoleh dari tahap kedua adalah 20% nya dari tahap pertama. Ciri utama turbin impuls adalah tekanan jatuh hanya terjadi pada sudu tetap, dan tidak terjadi pada sudu berputar. Turbin impuls disebut turbin tak bertekanan karena sudu gerak beroperasi pada tekanan atmosfer. Turbin crossflow dapat dilihat pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 3 Skema Turbin Crossflow

(Sumber : Irawan Dwi., Mafrudin. 2020. *Turbin Impuls*. Hal: 33)

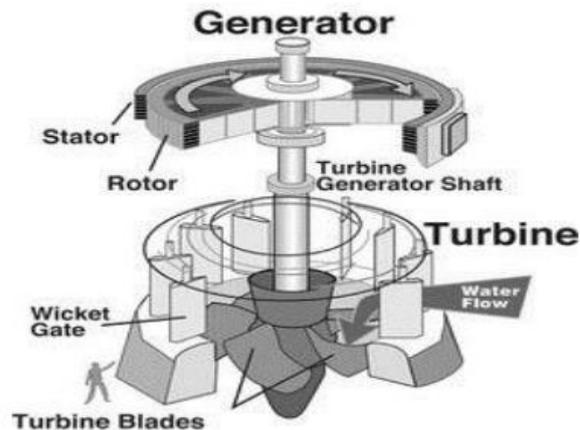
2.4.2 Turbin Reaksi

Pada turbin reaksi, energi yang tersedia pada saluran masuk hanya sebagian saja yang dirubah menjadi energi kinetik sedangkan sisanya tetap dalam bentuk energi tekan. Ketika air mengalir melalui roda gerak/runner terjadi perubahan energi tekan menjadi energi kinetik secara berangsur-angsur. Tekanan pada sisi masuk roda gerak lebih tinggi dibandingkan tekanan pada sisi keluar roda gerak turbin, dimana tekanan tersebut bervariasi terhadap laju aliran fluida yang melalui turbin. Selanjutnya agar perubahan tekanan ini dapat terjadi, maka roda/runner dalam hal ini harus tertutup dari udara luar dan seluruhnya terisi air selama turbin beroperasi. Beberapa contoh dari turbin reaksi adalah turbin francis, turbin kaplan, dan turbin vortex.

1. Turpin Kaplan

Turbin ini mempunyai roda jalan yang mirip dengan baling-baling pesawat terbang. Bila baling-baling pesawat terbang berfungsi untuk menghasilkan gaya dorong, roda jalan pada turbin kaplan berfungsi untuk mendapatkan gaya F yaitu gaya putar yang dapat menghasilkan torsi pada poros turbin. Berbeda dengan roda jalan pada francis, sudu-sudu pada roda

jalan kaplan dapat diputar posisinya untuk menyesuaikan kondisi beban turbin. Turbin kaplan dapat dilihat pada Gambar 2.3. Turbin kaplan banyak dipakai pada instalasi pembangkit listrik tenaga air sungai, karena turbin ini mempunyai kelebihan dapat menyesuaikan head yang berubah - ubah sepanjang tahun.

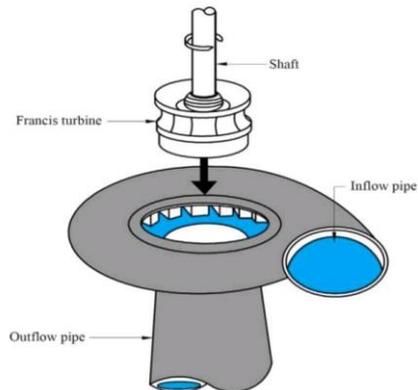


Gambar 2. 4 Turbin Kaplan

(Sumber : Barrows, H, K., Mass, Boston. 1926. *Water Power Engineering*. Hal: 214)

2. Turbin Francis

Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Turbin Francis menggunakan sudu pengarah dapat dilihat pada Gambar 2.4. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu pengarah pada turbin francis dapat merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Untuk penggunaan pada berbagai kondisi aliran air penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat.

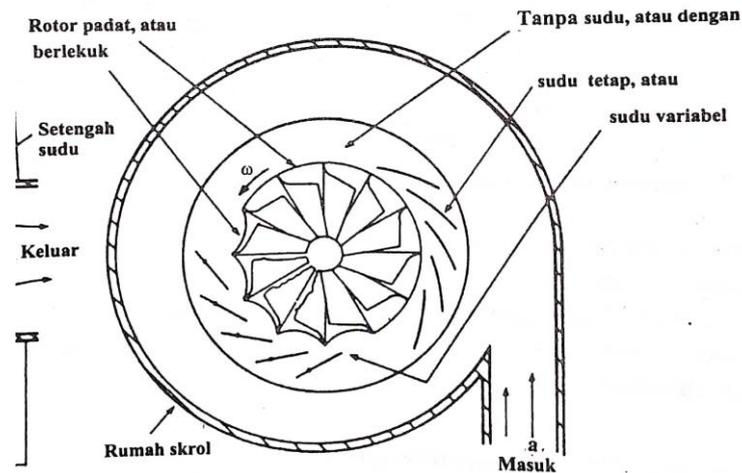


Gambar 2. 5 Skema Turbin Francis

(Sumber : Irawan Dwi., Mafrudin. 2020. *Turbin Impuls*. Hal: 37)

3. Turbin Vortex

Turbin ini dinamakan sebagai Gravitation water vortex power plant (GWVPP) oleh penemunya Frans Zotleterer berkebangsaan Australia, tetapi nama turbin ini dikenal juga sebagai turbin vortex atau turbin pusaran air. Sesuai dengan namanya pusaran air, turbin ini memanfaatkan pusaran air buatan untuk memutar sudu turbin dan kemudian energi pusaran air diubah menjadi energi putaran pada poros. Prosesnya air dari sungai dialirkan melalui saluran masuk ke tangki turbin yang berbentuk lingkaran dan di bagian tengah dasar tangki terdapat saluran buang berupa lingkaran kecil. Akibat saluran buang ini maka air mengalir akan membentuk aliran pusaran air. Ketinggian air (head) yang diperlukan untuk turbin ini 0,7 – 2 m dan debit berkisar 1000 liter per detik. Turbin ini sederhana, mudah dalam perawatannya, kecil, kuat, dan bertahan hingga 50 – 100 tahun.



Gambar 2. 6 Skema Turbin Vortex

(Sumber: Arismunandar, Wiranto, (2002). *Pengantar Turbin Gas dan Motor Porpulsi*. Hal: 463)

2.5 Aliran Vortex

Vortex merupakan massa fluida yang partikel - partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (streamline) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan vortex berputar yang disebabkan karena adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. Vortex sebagai pusaran yang merupakan efek dari putaran rotasional dimana viskositas berpengaruh didalamnya. Aliran vortex dikelompokkan menjadi 3 antara lain :

1. Aliran Vortex Bebas

Aliran vortex bebas yaitu aliran yang terjadi walaupun tidak adanya gaya yang dilakukan pada fluida tersebut. Karakteristik dari vortex bebas adalah kecepatan tangensial dari partikel fluida yang berputar pada jarak tertentu dari pusat vortex.

$V = r \cdot \omega \dots$ Referensi : Daugherty, R.L dan Franzini, J.B. (1977). *Fluid Mechanics With Engineering Applications Sevent Edition*. Hal 107.

Dimana :

ω = Kecepatan sudut

r = jari jari putaran (m)

2. Aliran Vortex Paksa

Jika suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan tujuan membuat aliran fluida berputar.

$V = C/r$ Referensi : Referensi : Daugherty, R.L dan Franzini, J.B. (1977). *Fluid Mechanics With Engineering Applications Seventh Edition*. Hal 110.

Dimana :

$C = V.r$ (Constant)

V = Kecepatan tangensial ($m.s^{-1}$)

r = jari jari partikel fluida (m)

3. Aliran Vortex Kombinasi

Aliran vortex Kombinasi yaitu vortex dengan vortex paksa pada inti pusatnya dan distribusi kecepatan yang sesuai dengan vortex bebas pada luar intinya.

2.6 Prinsip Kerja Turbin Vortex

Sistem PLTA pusaran air adalah sebuah teknologi baru yang memanfaatkan energi yang terkandung dalam pusaran air yang besar dengan diciptakan melalui perbedaan head rendah di sungai. Berikut contoh prinsip kerja turbin Vortex :

1. Air Sungai dari tepi sungai disalurkan dan dibawa ke tangki sirkulasi. Tangki sirkulasi ini memiliki suatu lubang lingkaran pada dasarnya.
2. Tekanan rendah pada lubang dasar tangki dan kecepatan air pada titik masuk tangki sirkulasi mempengaruhi kekuatan aliran vortex.

3. Energi potensial seluruhnya diubah menjadi energy kinetic rotasi diinti vortex yang selanjutnya diekstraksi melalui turbin sumbu vertikal.
4. Air kemudian kembali kesungai melalui saluran keluar

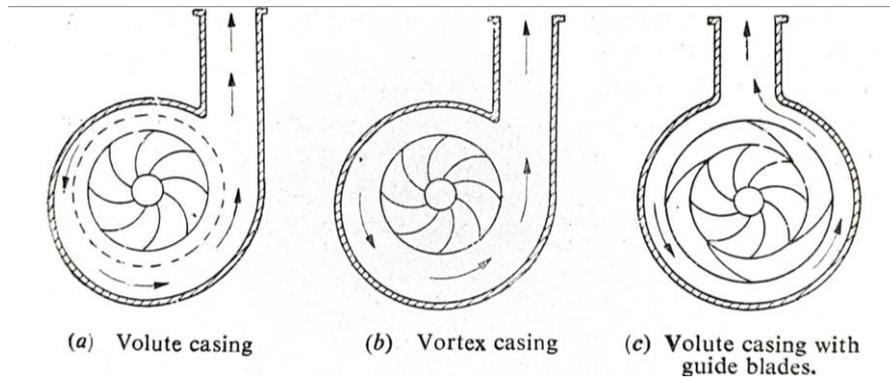
2.7 Keunggulan Turbin Vortex

Ada beberapa keunggulan dari turbin vortex :

1. Memiliki sistem kontrol yang tidak teralu rumit seperti turbin lainnya.
2. Dapat dikembangkan pada daerah yang memiliki sumber air dengan debit yang cukup besar namun hanya memiliki head yang rendah.
3. Memiliki tekanan air yang terjadi tidak merusak ekologi, dalam hal ini dampak terhadap kehidupan air (ikan) dan microorganismenya lainnya tetap terjaga.
4. Memiliki daya yang tinggi, dengan variasi debit yang besar dan sangat baik untuk head yang rendah.
5. Tidak membutuhkan draft tube, sehingga dapat mengurangi pengeluaran untuk penggalian pemasangan draft tube.
6. Tidak memerlukan jaring-jaring halus sebagai pencegah masuknya puing-puing kedalam turbin, sehingga dapat mengurangi biaya perawatan.

2.8 Tipe Casing Saluran Masuk (*Inlet Area*)

Ada beberapa tipe dari saluran masuk (*Inlet area*), antara lain: casing tipe *volute*, casing tipe *vortex*, casing tipe *volute casing with guide blades*. Berbagai tipe tersebut dimaksudkan untuk lebih memaksimalkan kinerja dari turbin. Dengan konstruksi tersebut dengan casing tipe *volute*, casing tipe *vortex*, casing tipe *volute casing with guide blades* dapat mengurangi efek dari turbulensi yang terjadi disekitar dinding saluran masuk dan daerah antara saluran masuk.



Gambar 2. 7 Tipe Casing Saluran Masuk Turbin Vortex

(Sumber: Khurmi, R, S. *Fluid Mechanics*. 1980. Hal : 553)

2.9 Pembangkit Listrik Tenaga Pico Hydro

Menurut Arismunandar dan Susumumu Kuwahara (1974), berdasarkan output yang dihasilkan, Pembangkit Listrik Tenaga Air dibedakan menjadi:

- a) small-hydro: antara 1-15MW
- b) Medium-hydro: antara 15–100MW
- c) Large-hydro: lebih dari 100MW
- d) Mini-hydro: daya diatas 100kW, tetapi dibawah 1MW
- e) Micro-hydro: antara 5kW–100kW
- f) Pico-hydro: daya yang dikeluarkan kurang dari 5kW

Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hydro merupakan suatu pembangkit yang dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW dan dapat diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil. Prinsip pembangkit listrik tenaga air yaitu suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator. Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran sungai. Aliran air ini selanjutnya menggerakkan turbin, lalu turbin menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga PicoHydro memiliki berbagai keunggulan sebagai pembangkit listrik berskala kecil, diantaranya yaitu:

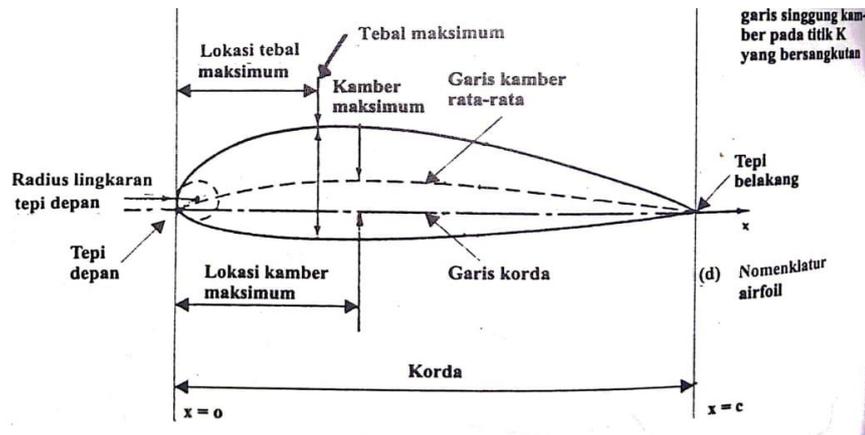
1. Proses yang dilakukan mudah dan murah tidak menimbulkan polusi seperti yang ditimbulkan dari pembangkit listrik tenaga fosil.
2. Energi yang tersedia tidak akan habis selagi siklus dapat kita jaga dengan baik seperti daerah tangkapan atau catchment area, vegetasi sungai dan sebagainya.
3. Mengurangi tingkat konsumsi energy fosil, langkah ini akan berperan dalam mengendalikan laju harga minyak dipasar Internasional.
4. Dapat diproduksi di Indonesia, sehingga jika terjadi kerusakan tidak akan sulit untuk mendapatkan sparepart-nya.
5. Ukurannya yang kecil cocok digunakan di daerah pedesaan yang belum terjangkau jaringan aliran listrik PLN.

Tetapi PLTPH juga mempunyai kekurangan diantaranya :

1. Sumber pembangkit berupa air , besarnya listrik yang dihasilkan PLTPH bergantung pada tinggi dan jatuhnya air dan volume air. Pada musim kemarau kemampuan PLTPH akan menurun karena jumlah air biasanya berkurang.
2. Ukuran generator tidak menunjukkan kemampuan produksi listriknya karena semuanya tergantung pada jumlah air dan ketinggian jatuh air sehingga ukuran generator bukan penentu utama kapasitas PLTPH.

2.10 NACA

Naca / airfoil adalah suatu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis. Dimana penampang yang dapat menghasilkan gaya-gaya aerodinamika apabila bergerak melewati udara, dimana gaya aerodinamika yang diharapkan adalah gaya angkat yang besar dan gaya tahan yang sekecil mungkin (Arismunandar, Wiranto. 2002).



Gambar 2. 8 Bagian - bagian Dari Airfoil

(Sumber : Arismunandar. Wiranto. 2002. *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Hal: 80)

Keterangan Gambar :

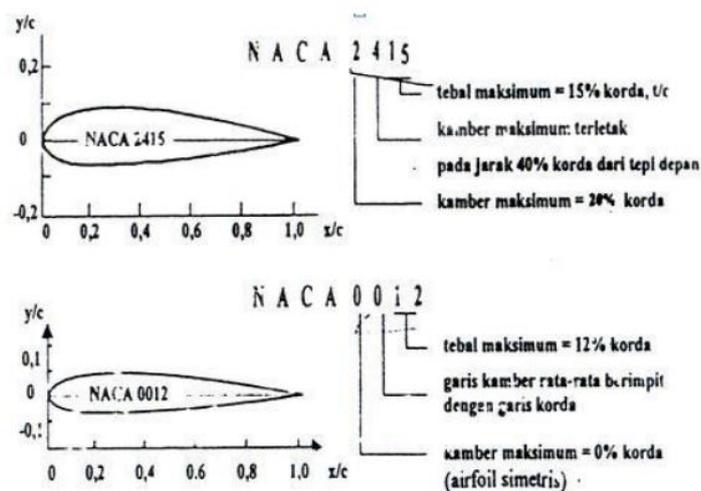
- Leading edge = Sisi depan airfoil
- Maximum thicknes = Jarak terbesar antara permukaan atas dan permukaan bawah airfoil
- Chamber = Jarak antara mean chamber line dan chord line
- Mean chamber line = Garis yang membagi sama besar antara permukaan atas dan permukaan bawah airfoil
- Trailing edge = Sisi belakang airfoil
- Chord = Jarak antara titik leading edge dan trailing edge
- Maximum chamber = Jarak terbesar antara mean chamber line dan chord line

2.9.1 NACA Seri “Empat Digit”

Dalam menandakan bentuk sebuah airfoil, maka digunakan sistem penomoran airfoil. Sistem penomoran yang sekarang banyak digunakan yaitu sistem penomoran yang dikeluarkan oleh NACA. Sistem penomoran menurut

NACA, angka - angkanya menunjukkan data-data dari airfoil. Ada berbagai klasifikasi yang telah dikeluarkan oleh NACA, seperti NACA sistem empat angka, NACA sistem lima angka, dan NACA sistem enam angka. Tetapi yang akan dibahas disini adalah NACA dengan sistem empat angka. Sistem penomoran NACA empat angka dapat dijelaskan sebagai berikut :

1. Angka pertama menunjukkan chamber maksimum dan dinyatakan dalam persen dari panjang tali busur (chord).
2. Angka kedua menunjukkan letak chamber maksimum dari leading edge dan dinyatakan dalam persepuluh panjang tali busur (chord).
3. Dua angka terakhir menyatakan tebal airfoil, dan dinyatakan dalam persen panjang tali busur (chord).



Gambar 2. 9 NACA Seri 4 Digit

(Sumber : Arismunandar. Wiranto. 2002. *Pengantar Turbin Gas dan Motor Propulsi*. Hal: 81)

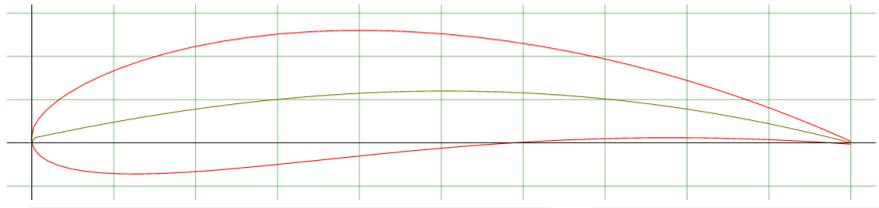
Misalnya, airfoil NACA 0015 memiliki chamber maksimum 0% terletak 0% (0,0 chord) dari leading edge dengan ketebalan maksimum 15% dari chord tersebut. Yang mana berarti NACA 0015 tidak mempunyai chamber, sehingga dia berhimpit dengan chord line maka NACA 0015 termasuk airfoil simetris.

2.9.2 NACA 6515

NACA 6515 merupakan Naca seri empat angka, dimana penomoran Naca mempengaruhi bentuk dari suatu Naca. Pengertian dari penomoran NACA 6515 sebagai berikut:

1. Angka 6 menunjukkan chamber maksimum dan dinyatakan dalam persen Atau 6% dari panjang tali busur (chord), sehingga maksimum chambernya 1,8 cm.
2. Angka 5 menunjukkan letak chamber maksimum dari leading edge dan dinyatakan dalam persepuluh panjang tali busur (chord) atau 50% dari panjang chord line (0,5 c) terletak dari leading edge, sehingga chamber maksimumnya 15 cm.
3. 15 menyatakan ketebalan maksimum, dan dinyatakan dalam persen panjang tali busur (chord), sehingga lokasi chamber maksimum 4,5 cm.

Jadi , airfoil NACA 6515 memiliki chamber maksimum 6% terletak 50% (0,50 chord) dari leading edge dengan ketebalan maksimum 15% dari chord tersebut, sehingga akan dihasilkan bentuk sudu NACA seperti gambar di bawah ini.



Gambar 2. 10 Hydrofoil NACA 615

(Sumber: Dokumen Pribadi)

2.11 Pengukuran Debit (Q)

Debit aliran air dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q = a \cdot v = V/t \dots\dots\dots \text{Referensi: Daugherty, R.L dan Franzini, J.B. (1977). } \textit{Fluid Mechanics With Engineering Applications Sevent Edition} \text{ Hal: 109.}$$

Dimana :

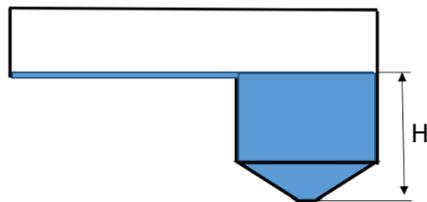
Q= Debit (l/s)

V = Volume (l)

t = Waktu (s)

2.12 Daya Potensi

Daya hidrolis atau daya potensi yang dapat dihasilkan oleh turbin sesuai dengan kapasitas tinggi jatuh dapat diketahui dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:



$$Pa = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H \dots\dots\dots \text{Referensi : Fox R. W. (1934). } \textit{Introduction to Fluid Mechanics. Hal: 58}$$

Dimana : Pa = Daya potensi (Watt)

ρ = Massa jenis air (kg/m³)

g = Gravitasi (m/s²)

H = Tinggi jatuh air (m)

2.13 Pengukuran Torsi

Torsi merupakan gaya putar yang dihasilkan oleh poros engkol atau kemampuan motor untuk melakukan kerja, tetapi disini torsi merupakan jumlah gaya putar yang diberikan ke suatu mesin terhadap panjang lengannya. Torsi biasanya diberi simbol τ . Satuan untuk torsi adalah *Pounds-feet* atau *pounds-inch* dalam satuan British adalah ft.lb.

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots \text{Referensi : Daugherty, R.L dan Franzini, J.B. (1977).}$$

Fluid Mechanics With Engineering Applications Sevent Edition. Hal:161

Dimana :

T = Momen Torsi (Nm)

F = Gaya pada poros = F= m . g

m = Pembebanan (kg)

g = Gravitasi (9,8 m/s²)

r = Jari – jari poros (m)

2.14 Daya Efektif Turbin

Perhitungan daya efektif yang dapat ditransmisikan oleh poros dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_t = 2\pi \cdot N \cdot \frac{T}{60} \dots\dots\dots \text{Referensi: Khurmi, R, S. (1980).}$$

Fluid Mechanics. Hal: 326).

Dimana :

P_t = Daya Turbin (Watt)

T = Momen gaya (Nm)

N = Putaran turbin (Rpm)

Atau daya efektif yang dihasilkan oleh pergerakan sudu turbin adalah daya yang sebanding dengan torsi dikali dengan kecepatan sudut sudu

$$P_{act} = T \cdot \omega \dots\dots\dots \text{Referensi: Khurmi, R, S. (1980).}$$

Fluid Mechanics. Hal: 325).

Dimana :

P_{act} = Daya aktual turbin (Watt)

ω = Kecepatan sudut sudu (rad/s)

T = Torsi yang terjadi (RPM)

2.15 Efisiensi

Untuk mengetahui Efisiensi pada turbin dapat di dicari menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{eff}}{P_{hid}} \times 100\% \text{ (Arismunandar, Wiranto. 2002. Hal: 81)}$$

Dimana :

η = Efisiensi (%)

P_{eff} = Daya Turbin (Watt)

P_{hid} = Daya Potensi Air (Watt)