

ISSN 1693 - 3168

# PROSIDING

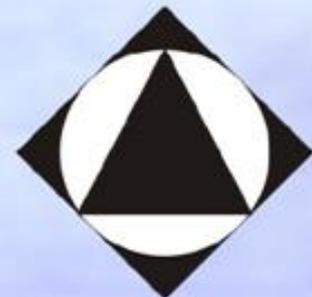


## SEMINAR NASIONAL XII **REKAYASA DAN APLIKASI TEKNIK MESIN DI INDUSTRI**

Kampus ITENAS

Bandung, 17-18 Desember 2013

Editor : Dr.Ing. M. Alexin Putra  
Tarsisius Kristyadi, Ph.D.  
Dani Rusirawan, Ph.D.  
Novianti Nugraha, MT.  
Ir. Encu Saefudin, MT.  
Iwan Agustiawan, MT.  
Ali, MT.  
Tito Shantika, M.Eng.  
Meilinda Nurbanasari, Ph.D.  
Yusril Irwan, MT.  
Marsono, MT.  
Liman Hartawan, MT.



---

Penyelenggara :  
JURUSAN TEKNIK MESIN  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL (ITENAS) - BANDUNG

## **Perancangan Picohydro Axial Sebagai Pemanfaatan Energi Air Dalam Pipa Distribusi Air Pedesaan**

Tito Shantika & Noviyanti Nugraha  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Nasional  
Jl. PKH. Mustapha No. 23, Bandung 40124  
[tshantika@itenas.ac.id](mailto:tshantika@itenas.ac.id)

### **Abstrak**

*Kebutuhan energi listrik rumah di pedesaan sangat diperlukan hal ini disebabkan belum meratanya pasokan listrik ke semua pelosok pedesaan hal tersebut terkait dengan tidak dapat dijangkau jaringan listrik suatu wilayah karena berada di daerah kawasan yang sulit untuk dijangkau pasokan listrik, padahal didaerah tersebut banyak sumber-sumber air yang mengalir yang dapat kita manfaatkan, seperti aliran dalam pipa distribusi air untuk pengairan. Penelitian ini mencakup perancangan prototype pembangkit listrik pikohidro axial yang diharapkan berdaya 200 Watt. Penelitian ini diawali dengan observasi aliran air meliputi karakteristik aliran serta parameter-parameter aliran seperti kecepatan, head dan debit yang tersedia, kemudian perancangan prototype picohydro yang meliputi perancangan turbine, casing dan poros serta pemilihan dan modifikasi jenis generator dan kontrol yang digunakan. Dari hasil perancangan didapatkan Pembangkit listrik aliran horizontal dimensi 360 x 166 x 166mm, memakai pipa 4 inch, daya perancangan pembangkit adalah 341 watt pada head air 2 meter. Sudu turbin yang memenuhi untuk dapat dipakai dalam mencapai daya maksimum adalah pada sudut serang 22°.*

*Kata Kunci: Picohydro, pembangkit listrik, aliran horizontal*

### **1. Pendahuluan**

Kebutuhan energi listrik rumah di pedesaan sangat diperlukan hal ini disebabkan belum meratanya pasokan listrik ke semua pelosok pedesaan hal tersebut terkait dengan tidak dapat dijangkau jaringan listrik suatu wilayah karena berada di daerah kawasan yang sulit untuk dijangkau pasokan listrik, padahal didaerah tersebut banyak sumber-sumber air yang mengalir yang dapat kita manfaatkan. “Kondisi ratio Elektrifikasi (RE) Jabar pada tahun 2011 sebesar 71,71%. Sedangkan angka RE tahun 2012, akan dihitung bersama PLN hingga akhir tahun nanti. Sementara itu, data yang ada menunjukkan 400 ribu penduduk belum mendapatkan aliran listrik” menurut kepala ESDM Propinsi Jawa Barat. Pembangunan pembangkit listrik tenaga air pikohidro merupakan salah satu alternative untuk membantu masyarakat dalam penyediaan energy listrik.

Sistem tenaga listrik Picohidro merupakan jenis pembangkit listrik dengan daya maksimum 5 kW yang biasanya ditemukan di daerah pedesaan dan berbukit (Williams, 2007) (Smith dan Ranjitkhar, 2000). Menurut studi yang di publikasikan world Bank (ESMAP, 2007), untuk biaya proyek pembangkitan energy dibawah 5KW untuk beberapa jenis pembangkit, picohydro merupakan pembangkit dengan pembiayaan pembangkitannya paling kecil yaitu sekitar 10-18 US cent/kWh pembangkit listrik tenaga air PLTA terdapat beberapa klasifikasi berdasarkan daya output seperti pada Tabel 1. Picohydro merupakan pembangkit listrik dengan daya tidak lebih dari 5 kilowatt.

Tabel 1. Power output klasifikasi skema PLTA (Celso, 1998)

| Classification | Power Output |
|----------------|--------------|
| Large          | > 100 MW     |
| Medium         | 10 – 100 MW  |
| Small          | 1 – 10 MW    |
| Mini           | 100kW – 1 MW |
| Micro          | 5 – 100 kW   |
| Pico           | < 5 kW       |

**Energi Hydro**

Energi hidro adalah istilah yang diberikan untuk proses ekstraksi energi potensial dari aliran air di atas perbedaan ketinggian. Energi potensial gravitasi yang berhubungan dengan air diubah menjadi energi mekanik yang dapat digunakan secara langsung atau diubah lagi menjadi energi listrik oleh generator. Energi air untuk sumber air yang ada dapat dihitung pada persamaan dibawah ini (White, 2008) :

$$Daya = \eta \rho g h Q \tag{1}$$

Dimana:

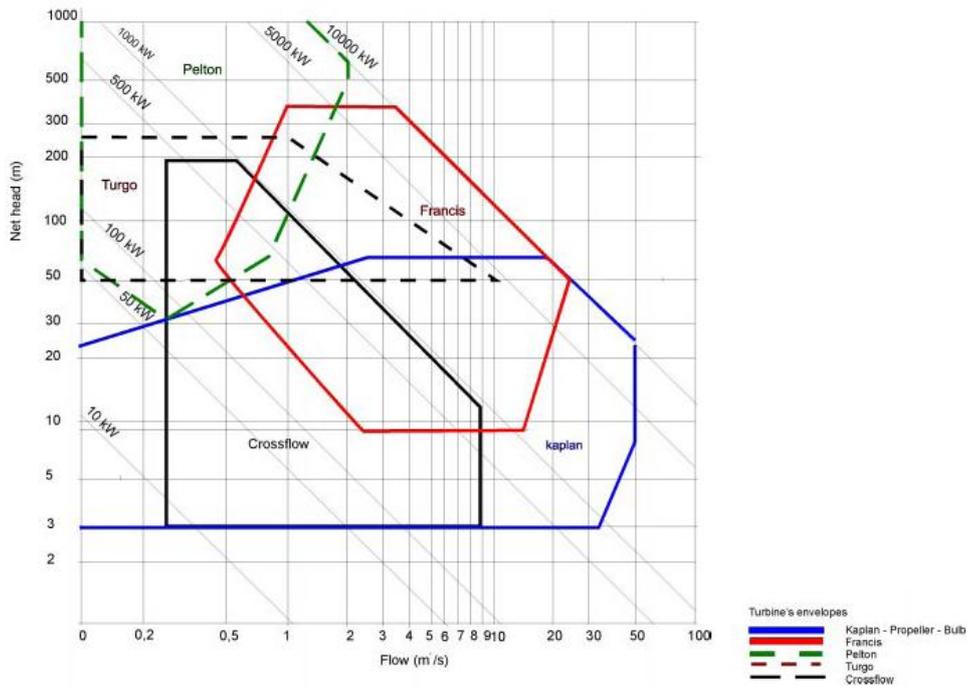
- $\rho$ = mass jenis air (1000 kg/m<sup>3</sup>)
- $g$ =konstanta grafitasi (m/s<sup>2</sup>)
- $h$ = Ketinggian/head (m)
- $Q$ = debit air (m<sup>3</sup>/s)
- $\eta$  = efisiensi

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis. Sebagaimana dapat dipahami dari rumus tersebut di atas, daya yang dihasilkan adalah hasil kali dari tinggi jatuh dan debit air, oleh karena itu berhasilnya pembangkitan tenaga air tergantung daripada usaha untuk mendapatkan tinggi jatuh air dan debit yang besar secara efektif dan ekonomis (Simpson dan Williams, 2011) . Secara umum efisiensi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Efficiency, \eta = \frac{Output\ Power}{Input\ Power} \times 100 \tag{2}$$

Pemilihan turbin harus disesuaikan dengan Debit aliran dan head yang ada, dibawah ini hubungan antara Head dan Debit untuk memilih jenis pembangkit. tipe Penggunaan Head (dalam meter) dengan jenis turbin yang dapat digunakan sebagai berikut:

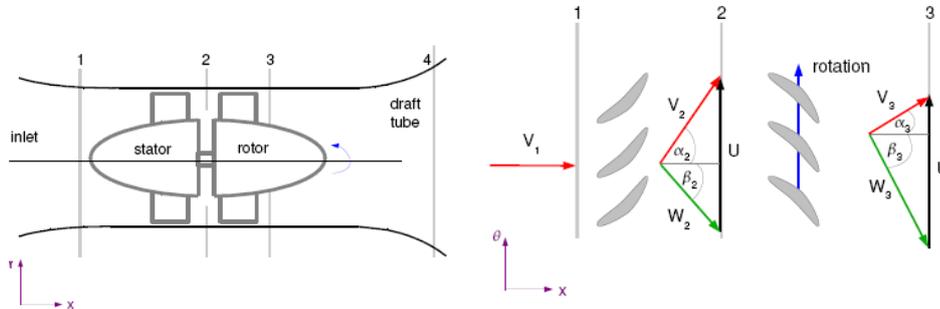
- Kaplan                    2<H<40
- Francis                    10<H<350
- Pelton                    50<1300
- Turgo                    50<H<250



Gambar 1. Diagram Pemilihan Jenis Turbin Menurut Ketinggian Headnya (Celso, 1998)

**Daya Pada Sudu Turbin**

Daya pada sudu dapat sangat berpengaruh dari perancangan sudu turbin diantaranya adalah sudut sudu. Daya dapat dihitung dari segitiga kecepatan aliran air yang mengalir pada bilah sudu, seperti pada gambar dibawah.



Gambar 2. Sudut yang diperlukan untuk perancangan (Ingram, 2007)

Dimana parameter-paramter yang diperlukan:

- P = Daya output
- $\alpha_1$  = sudut masuk stator (sudu pengarah) ditarik garis di atas aliran masuk
- $\alpha_2$  = sudut keluar stator, besarnya harus dipilih dan diperiksa menurut hasil perhitungan ini (menentukan daya output)
- $\beta_2$  = sudut masuk rotor, ditarik garis ke atas relatif terhadap aliran masuk pada stasion 2
- $\beta_3$  = sudut keluar rotor besarnya harus dipilih dan seterusnya diperiksa dari hasil perhitungan ini (menentukan daya output)
- Q = laju aliran, menentukan nilai dan kemudian menggunakan perhitungan ini jika ini beralasan
- $R_{2m}$  dan  $R_{3m}$  = jari-jari pada stasion 2 dan 3 (jari-jari sudu pengarah dan sudu runner), dimulai untuk analisa.
- $b_2$  dan  $b_3$  = ketinggian sudu pada stator (sudu pengarah) dan sudu runner turbin propeller
- $\omega$  = kecepatan sudu mesin

Semua besaran berasal dari pilihan untuk rancangan dan analisa daya output dari segitiga kecepatan untuk turbin propeller atau kaplan. Persamaan euler untuk mesin-mesin turbin untuk daya output adalah:

$$P = m \cdot \omega (R_{3m} V_{3\theta} - R_{2m} V_{2\theta}) \tag{3}$$

Dimana,  $\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60}$

Dari segitiga kecepatan pada stasion 2:  $V_{2\theta} = V_{2x} \cdot \text{tg} \alpha_2$

Dimana,  $V_{2x} = \frac{Q}{2\pi R_{2m} b_2}$

Sehingga,  $V_{2\theta} = \frac{Q}{2\pi R_{2m} b_2} \cdot \text{tg} \alpha_2$

Dari Segitiga Kecepatan Stasion 3:  $V_{3\theta} = \omega \cdot R_{3m} + V_{3x} \cdot \text{tg} \beta_3$

Dimana,  $V_{3x} = \frac{Q}{2\pi R_{3m} b_3}$

Arah rotasi untuk sudu yang positif diperlukan arah aliran  $\beta_2$  keluar dari stator, sehingga persamaannya:

$$\beta_2 = \tan^{-1} \left( \frac{V_{2\theta} - \omega R_{2m}}{V_{2x}} \right) \tag{4}$$

**Efisiensi dan Head yang diperlukan**

Head Loses dapat di tuliskan sebagai berikut:

$$\Delta H = k \frac{(velocity)^2}{2g} \tag{5}$$

Serta Head Loses pada Pembangkit dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

- Kerugian pada Pipa:  $k = 4f \frac{L}{D}$
- Kerugaian Pada Guide Vane  $\Delta H_{gv} = k \frac{V^2}{2g}$ , dimana biasanya harga k = 0.05.
- Kerugian pada Runner  $\Delta H_r = k \frac{W^2}{2g}$  dimana biasanya harga k = 0.06
- Kerugian pada Draft Tube  $\Delta H_{dt} = k \frac{V_3^2 - V_4^2}{2g}$  dimana biasanya harga k = 0.06. dimana untuk mencari  $V_3$  dan  $V_4$  dapat diambil luas penampangnya  $A_3=2\pi R_3 m b_3$  dan  $A_4=2\pi R_4^2$ .
- Kerugian Belokan (Bend Losses)  $\Delta H_b = k \frac{V^2}{2g}$ , dimana biasanya harga k = 0.05.

Sehingga aktual head dapat dituliskan sebagai berikut

$$\Delta H_{actual} = \Delta H_{ideal} + \Delta H_{loses} \quad (6)$$

Dimana Head Loses:  $\Delta H_{loses} = \Delta H_{gv} + \Delta H_r + \Delta H_{dt}$  dan head ideal  $\Delta H_{ideal} = \frac{P}{mg}$

Sehingga Besar Efisiensi Adalah

$$\eta = \frac{P}{mg \Delta H_{actual}} \quad (7)$$

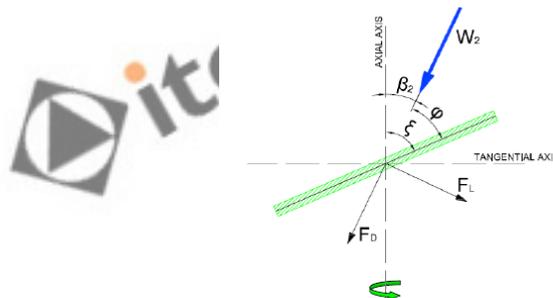
### Gaya pada sudu

Gaya pada sudu dapat dihitung dari gaya aliran air yang melewati sudu. Aliran air yang melewati sudu yang menghasilkan gaya angkat  $F_L$  dan gaya drag  $F_D$ . Sehingga dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini, dimana  $C_L$  dan  $C_D$  berdasarkan pada teori plat pada Wright dan Wood, 2004(Simpson, dan Williams., 2011).

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho A W_2^2 \quad \text{dan} \quad F_D = \frac{1}{2} C_D \rho A W_2^2$$

Dimana:  $C_L = 2 \sin \varphi \cos \varphi$  dan  $C_D = 2 \sin^2 \varphi$

P adalah densitas air.  $W_2$  kecepatan relatif air A luas area pada sudu dan  $\varphi$  merupakan sudut serang sudu.



**Gambar 3. Diagram aliran yang terjadi pada sudu**

Torsi yang terjadi dapat dihitung dengan menjumlahkan gaya yang terjadi pada sudu turbin dan mengalikannya terhadap jari-jari sudu. Pada sudu tersebut terdapat dua komponen gaya yaitu gaya angkat  $F_L$  dan gaya tahanan  $F_D$ .

$$\tau = \Sigma (F_L \cos \beta_2 + F_D \sin \beta_2) r \quad (7)$$

Daya pada turbin dapat diprediksi dengan persamaan  $P = \tau \omega$ , dimana  $\omega$  merupakan putaran pada turbin.

### Analisis tegangan

#### ❖ Diameter Poros (d)

Diameter poros dapat ditentukan dengan persamaan (Sularso dan Kiyokatsu, 1991) yaitu

$$d_s \geq \sqrt[3]{\frac{16T}{\pi \tau_a}} \quad (8)$$

Dimana  $\tau$  adalah tegangan geser yang diijinkan yang dipengaruhi oleh faktor keamanan untuk batas kelelahan puntir ( $S_{f1}$ ) dan faktor keamanan karena pengaruh konsentrasi tegangan ( $S_{f2}$ ), dengan persamaan :

$$\tau_a = \frac{\tau_b}{Sf_1 \cdot Sf_2} \quad (9)$$

❖ **Pasak**

Sebelum menentukan tegangan yang terjadi pada Pasak terlebih dahulu dicari lebar pasak yaitu : *keliling* =  $i(b + c)$ ,  $i$  = banyak pasak (*baji*)

Jika diasumsikan  $b=c$ , maka :

$$\pi D = i \cdot 2b \quad \text{dan} \quad b = \frac{\pi D}{2 \cdot i} \quad \text{maka Tegangan yang terjadi} \quad \sigma = \frac{T}{r \cdot b \cdot l}$$

Dimana  $\sigma$  = tegangan yang terjadi pada pasak,  $l$  = panjang pasak,  $b$  = lebar pasak,  $r$  = jari-jari,  $T$  = torsi yang terjadi

❖ **Defleksi Puntir Poros ( $\theta$ )**

Defleksi (sudut) puntir pada poros dapat dilihat dengan persamaan dibawah ini (Sularso dan Kiyokatsu, 1991) :

$$\theta = 584 \frac{T \cdot L}{G \cdot d_s^4} \quad (^\circ) \quad (10)$$

Dimana:

$G$  = tegangan puntir baja ( $8,3 \times 10^3$  kgf/mm<sup>2</sup>)

$L$  = jarak antara beban puntir (mm)

$\theta$  = defleksi puntiran ( $^\circ$ )

$T$  = torsi yang terjadi pada poros (kgf.mm)

Defleksi puntiran dapat dikatakan aman bila defleksinya tidak melebihi  $0,25^\circ$  s.d  $0,3^\circ$ .

❖ **Rumus Perhitungan Bantalan**

Gaya Reaksi Bantalan Arah Radial ( $F_r$ ) (Sularso dan Kiyokatsu, 1991):

$$F_r = R = \sqrt{R_{x,max}^2 + R_{y,max}^2} \quad (11)$$

Dimana :

$F_r = R$  = gaya reaksi bantalan

$R_{x,max}$  = gaya reaksi bantalan arah sumbu x

$R_{y,max}$  = gaya reaksi bantalan arah sumbu y

❖ **Beban Equivalen Dinamis ( $P_r$ )**

$$P_r = X \cdot V \cdot F_r + Y \cdot F_a \quad (12)$$

Dimana :

$P_r$  = Beban equivalen dinamis (kg)

$F_r$  = gaya reaksi bantalan arah radial (kg)

$F_a$  = gaya reaksi bantalan arah aksial (kg)

$V$  = Beban putar pada cincin dalam atau luar (untuk cincin dalam  $V=1$ )  $X$  dan  $Y$  = koefisien arah pembebanan (tabel 4.9 Sularso)

❖ **Faktor Kecepatan ( $f_n$ )**

Untuk bantalan bola,  $f_n = \left[ \frac{33,3}{n} \right]^{1/3}$ , Untuk bantalan rol  $f_n = \left[ \frac{33,3}{n} \right]^{3/10}$ , Dimana :  $n$  = putaran poros (rpm)

❖ **Faktor Umur ( $f_h$ ):  $f_h = f_n \frac{C}{P_r}$**

Dimana :  $f_n$  = faktor kecepatan,  $C$  = kapasitas nominal dinamik (kg) (tabel 4.13 Sularso),  $P_r$  = beban equivalen dinamis (kg/mm<sup>2</sup>).

❖ **Umur Nominal Bantalan ( $L_h$ ):  $L_h = 500 \cdot f_h^3$**

Dimana :  $Lh \geq 5000$  jam

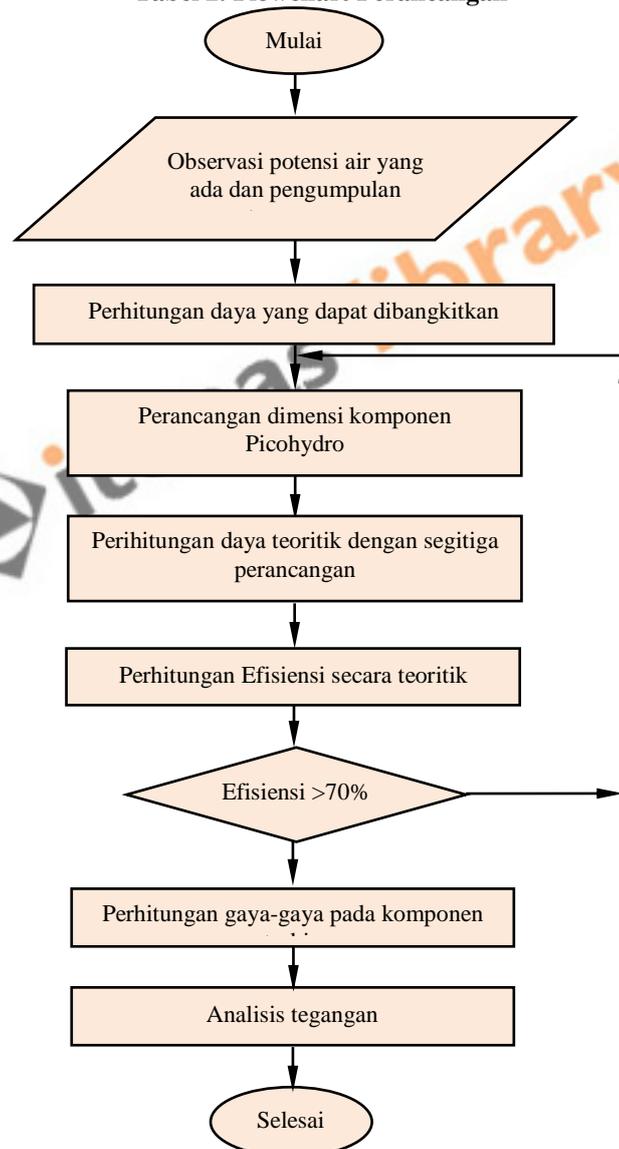
$$t = \frac{Lh}{365.s} \quad (13)$$

Dimana :  $t$  = Umur bantalan (tahun),  $Lh$ = umur nominal bantalan (jam),  $s$  = lama pemakaian setiap hari (jam/hari)

## 2. Metodologi

Penelitian ini mencakup perancangan prototype pembangkit listrik pikohidro axial yang diharapkan berdaya 200 Watt. Penelitian ini diawali dengan observasi aliran air meliputi karakteristik aliran serta parameter-parameter aliran seperti kecepatan, head dan debit yang tersedia, kemudian perancangan prototipe picohydro yang meliputi perancangan turbine, casing dan poros serta pemilihan dan modifikasi jenis generator dan kontrol yang digunakan.

**Tabel 2. Flowchart Perancangan**



### 3. Hasil Diskusi

#### Observasi Lapangan

Potensi air dipedesaan sangat melimpah, terutama di daerah pertanian yang mempunyai irigasi untuk mengairi sawah. Dari observasi yang telah dilakukan beberapa potensi yang bisa dimanfaatkan yaitu irigasi pertanian pancuran-pancuran air yang ada di rumah pedesaan, serta aliran dalam pipa distribusi air di pedesaan. Observasi dilakukan di sekitar daerah kabupaten sukabumi yang masih cukup berpotensi untuk dikembangkannya picohydro sehingga diharapkan potensi tersebut dapat dimanfaatkan untuk masyarakat.

#### Perancangan picohydro

Pada perancangan pembangkit pada aliran distribusi air dipedesaan harus memperhatikan beberapa aspek diantaranya besar pipa yang umum digunakan, kecepatan aliran air dalam pipa, sehingga dalam perancangan ini dibatasi oleh aspek-aspek tersebut. Dalam perancangan ini mempunyai batasan-batasan seperti yang dijelaskan diatas, sehingga ada beberapa batasan dalam perancangan diantaranya adalah pertama penstok yang digunakan adalah pipa dengan ukuran 4 in, hal tersebut dikarenakan pipa tersebut banyak digunakan di masyarakat. Batasan yang lain adalah kecepatan aliran air dalam pipa dibatasi sampai 3 m/s, selanjutnya head yang tersedia minimal 1 meter, serta daya yang dihasilkan maksimum 200 watt, hal tersebut untuk membatasi dalam perancangan.

- **Parameter-parameter dalam perancangan**

Parameter yang digunakan dalam perancangan melihat dari beberapa aspek yang telah dijelaskan diatas, sehingga parameter ini dapat ditentukan sesuai dengan peralatan yang teredia di pasaran.

| Deskripsi                             | Simbol | Harga | Satuan            |
|---------------------------------------|--------|-------|-------------------|
| - Head                                | H      | 2     | m                 |
| - Diameter Penstok                    | Dp     | 0.114 | m                 |
| - Diameter Luar Turbin (tip)          | Do     | 0.166 | m                 |
| - Diameter Dalam Turbin (Hub)         | Di     | 0.04  | m                 |
| - Luas Permukaan Turbin Cross Section | A      | 0.020 | m <sup>2</sup>    |
| - Debit desain maksimum               | Q      | 0.031 | m <sup>3</sup> /s |
| - Kecepatan air pada stator           | V      | 1.50  | m/s               |
| - Efisiensi desain                    | $\eta$ | 0.9   |                   |
| - konstanta grafitasi                 | g      | 9.81  | m/s <sup>2</sup>  |
| - massa jenis air                     | $\rho$ | 998   | kg/m <sup>3</sup> |

- **Perancangan daya dari head yang tersedia**

Perancangan dengan memperhatikan head yang tersedia sangat diperlukan, hal tersebut untuk mengetahui potensi yang dapat dihasilkan dari energi air. Daya yang dihasilkan sebesar 359 watt dengan mengasumsikan efisiensi sebesar 90%, namun untuk menghitung efisiensi total sehingga didapatkan daya output total diperlukan pengujian langsung prototype tersebut.

Generator yang digunakan adalah generator yang mempunyai pools 18 sehingga putaran yang terjadi adalah 333 rpm. Kecepatan tersebut sangat cocok untuk jenis turbin kaplan, sehingga diharapkan untuk putaran rendah dapat menghasilkan daya yang diinginkan. Berikut ini perhitungan untuk daya serta parameter lainnya berdasarkan head yang tersedia.

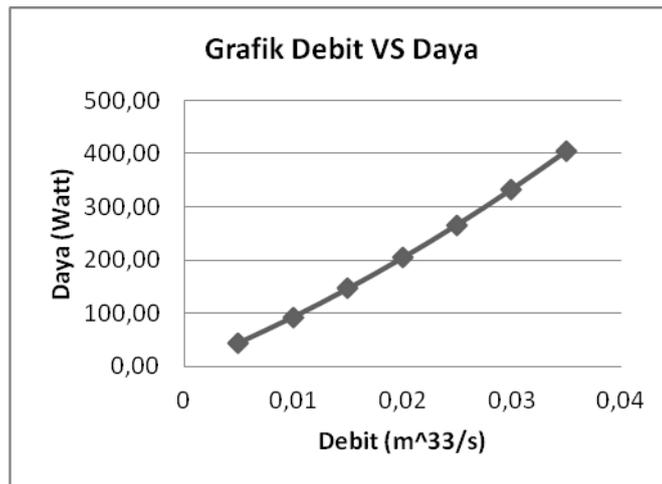
| Deskripsi                      | Simbol | Harga | Satuan |
|--------------------------------|--------|-------|--------|
| - $P= H*Q*g*\rho*\eta$         | P      | 539   | Watt   |
| - Daya Runner                  | W      | 539   | Watt   |
| - Kecepatan air yang diijinkan | V      | 3.0   | m/s    |
| - Diameter Penstok             | Dp     | 0.114 | m      |

|                             |       |               |       |
|-----------------------------|-------|---------------|-------|
| - Jumlah pools Generator    | $N_p$ | 18            | pools |
| - Frekwensi generator       | $f$   | 50            | Hz    |
| - Kecepatan putaran poros   | $N$   | 333           | rpm   |
| - Kecepatan spesifik runner |       | <b>102.93</b> | rpm   |
| <b>Runner Diameter</b>      |       | 0.06          | m     |

▪ **Analisa daya dari segitiga kecepatan sudu**

Analisa segitiga kecepatan yang terjadi pada stator dan rotor sangat diperlukan untuk mengetahui daya dan torsi yang terjadi jika aliran air melewati sudu. Untuk luas area penampang sudu yang ada yaitu 0,02 m<sup>2</sup> dan kecepatan air yang melewati sudu turbin 1,5 m/s didapatkan daya yang dihasilkan adalah 341 watt. Jika diplot dalam grafik untuk debit yang berbeda maka didapatkan kecenderungan daya yang dihasilkan semakin membesar secara logaritmik. Grafik dapat dilihat pada gambar 5.1 yang memperlihatkan hubungan antara debit dan daya yang dihasilkan.

| Deskripsi                            | Simbol      | Harga  | Satuan            |
|--------------------------------------|-------------|--------|-------------------|
| Luas Permukaan Turbin Cross Section  | A           | 0.020  | m <sup>2</sup>    |
| Debit                                | Q           | 0.031  | m <sup>3</sup> /s |
| jari-jari sudu stator                | R2m         | 0.083  | m                 |
| jari-jari sudu turbin                | R3m         | 0.083  | m                 |
| tebal stator                         | b2          | 0.025  | m                 |
| tebal turbin                         | b3          | 0.035  | m                 |
| Kecepatan Linier sudu                | Um          | 2.896  | m/s               |
| Kecepatan Absolut stasion 2          | V2          | 1.50   | m/s               |
| Kecepatan Absolut 2 arah x           | V2x         | 2.35   | m/s               |
| Kecepatan Absolut 2 arah $\theta$    | V2 $\theta$ | 0.00   | m/s               |
| Kecepatan Absolut Relatif 2          | W2          | 3.26   | m/s               |
| Sudut kecepatan Absolut di stasion 2 | $\alpha_2$  | 0      | derajat           |
| Sudut kecepatan Relatif di stasion 2 | $\beta_2$   | 39.06  | derajat           |
| Kecepatan Absolut 3 arah x           | V3x         | 1.68   | m/s               |
| Kecepatan Absolut 3 arah $\theta$    | V3 $\theta$ | 3.86   | m/s               |
| Kecepatan Absolut stasion 3          | V3          | 4.21   | m/s               |
| Kecepatan Absolut Relatif 3          | W3          | 1.94   | m/s               |
| Sudut kecepatan Absolut di stasion 3 | $\alpha_3$  | 49.37  | derajat           |
| Sudut kecepatan Relatif di stasion 3 | $\beta_3$   | 30     | derajat           |
| Daya turbin                          | P           | 341.75 | watt              |

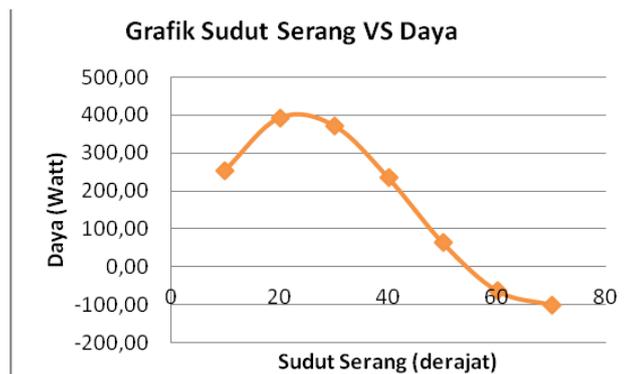


Gambar 5. Grafik Debit VS daya perancangan

▪ **Gaya-gaya yang terjadi pada sudu**

Gaya pada tubin dapat dihitung berdasarkan persamaan dari Wright dan Wood, 2004, dengan sudut serang yang semakin besar maka kecenderungan daya yang dihasilkan akan semakin kecil, namun semakin kecil sudut serang maka daya yang dihasilkan juga akan semakin kecil, sehingga terdapat harga daya yang paling optimum yaitu sudut serangnya 22 derajat.

| Deskripsi                                    | Simbol    | Harga  | Satuan            |
|--|-----------|--------|-------------------|
| <b>Gaya-gaya pada Sudu Turbin</b>            |           |        |                   |
| Kecepatan Absolut Relatif 2                  | W2        | 3.26   | m/s               |
| Luas Permukaan Turbin Cross Section          |           | 0.020  | m <sup>2</sup>    |
| massa jenis air                              | $\rho$    | 998    | kg/m <sup>3</sup> |
| sudut Serang                                 | $\xi$     | 30     | derajat           |
| Sudut kecepatan Relatif di stasion 2         | $\beta_2$ | 39.06  | derajat           |
| Sudut kecepatan relatif terhadap sudu turbin | $\phi$    | 20.94  | derajat           |
| koefisien gaya angkat                        | CL        | 0.67   |                   |
| koefisien tahanan(drag coefisient)           | CD        | 0.26   |                   |
| Gaya angkat air                              | FL        | 72.19  | N                 |
| Gaya tahanan air                             | FD        | 27.60  | N                 |
| Torsi turbin                                 | $\tau$    | 6.10   | Nm                |
| Daya Turbin                                  | P         | 212.70 | Watt              |



Gambar 6. Grafik sudut Serang VS daya perancangan

▪ **Perhitungan Poros**

Poros merupakan komponen yang mentranmisikan daya dari turbin ke generator. Perhitungan diperlukan untuk dapat meyakinkan bahwa dimensi yang ditentukan masih aman dan masih dalam batas kekuatan material tersebut. Dari perhitungan dapat dilihat bahwa tegangan yang terjadi sebesar 78 Mpa sedangkan bahan tersebut tegangan ijin sebesar 200 Mpa, sehingga masih dalam batas yang sangat aman. Begitu juga jika dilihat dari defleksi sudut masih dibawah 0,25 derajat, sehingga dimensi tersebut aman digunakan.

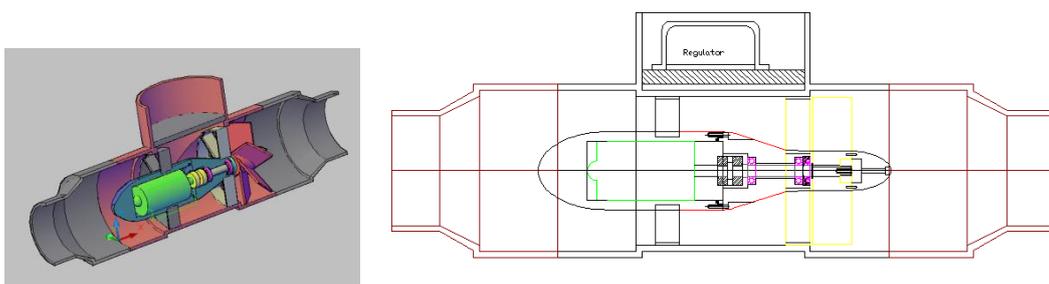
| Deskripsi             | Simbol   | Harga     | Satuan          | Ket. |
|-----------------------|----------|-----------|-----------------|------|
| <b>Dimensi Poros</b>  |          |           |                 |      |
| Material shaft        | Sys      | 200       | Mpa             |      |
| Diameter Poros        | Do       | 10        | mm              |      |
| Panjang Poros         | Lp       | 121       | mm              |      |
| Torsi Poros           | T        | 15.46     | Nm              |      |
| Inersia Poros         | Ip       | 981.25    | mm <sup>4</sup> |      |
| Tegangan geser Poros  | $\tau$   | 78.77     | Mpa             | aman |
| Tegangan aksial poros | $\sigma$ | 2.55      | Mpa             | aman |
| Defleksi Sudut        | $\theta$ | 0.0005464 | derajat         | aman |

▪ **Perhitungan bantalan**

Bantalan merupakan komponen yang sangat penting, dimana bantalan berfungsi untuk mendukung poros sehingga poros dapat berada ditempatnya. Bantalan yang digunakan adalah ball Bearing ZZ6001 dengan basic load axial adalah 2390 N, sehingga dapat dihitung umur bantalan tersebut. Jika pada kondisi normal maka umur bantalan sekitar 5.6 tahun. Dengan umur tersebut sangat cukup untuk pembangkit listrik ini.

| Deskripsi                       | Simbol | Harga  | Satuan |
|---------------------------------|--------|--------|--------|
| Gaya akibat berat air           | Wa     | 200.16 | N      |
| gaya pada sudu turbin           | Ft     | 39.11  | N      |
| Beban pada bearing total        | Wtot   | 239.27 | N      |
| basic dynamic axial load rating | Ca     | 2390   | N      |
| Gaya eqivalen bearing           | Pr     | 239.27 | N      |
| Speed factor                    | fn     | 0.46   |        |
| Life factor                     | fh     | 4.63   |        |
| Basic Rating Life               | L10h   | 5.68   | Tahun  |

Dari hasil perhitungan komponen-komponen diatas maka dapat digambarkan prototype pembangkit seperti terlihat seperti pada gambar 7.



Gambar 7. Pembangkit listrik aliran horizontal dalam pipa 3 dimensi

#### 4. Kesimpulan dan saran

##### Kesimpulan

Pembangkit listrik aliran horizontal telah berhasil dilakukan, dimana dimensi yang dihasilkan adalah 360 x 166 x 166mm. pembangkit ini dapat digunakan pada aliran distribusi air dipedesaan untuk ukuran pipa air 4 inch, sehingga dengan ukuran pipa tersebut masyarakat mudah mendapatkan karena banyak didapatkan di toko material. daya perancangan pembangkit adalah 341 watt pada head air 2 meter. Sudu turbin yang memenuhi untuk dapat dipakai dalam mencapai daya maksimum adalah pada sudut serang 22°.

##### Saran

Penelitian ini perlu dilanjutkan ketahap pembuatan dan pengujian untuk menghasilkan dapat diketahui besarnya performan pembangkit.

##### Ucapan Terimakasih

Teimakasih Kepada Direktorat Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah membiayai penelitian ini Sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Penelitian Dosen Pemula Bagi Dosen Perguruan Tinggi Swasta Nomor:282/SP2H/PL/DIT.LITABMAS/VI/2013, tanggal 27 Juni 2013

##### Daftar Pustaka

- A. Williams, 2007, "Pico hydro for cost-effective lighting," *Boiling Point Magazine*, pp. 14-16
- Celso Penche 1998, Laymans Guide books, , *On How To Develop A Small Hydro Site*, Second Edition European Small Hydropower Association (ESHA)
- ESMAP, 2007, "Technical and Economic Assessment of Off, Mini-grid and Grid Electrification Technologies." December 2007. ESMAP Technical Paper 121/07.
- Frank M. White, 2008, *Fluid Mechanics*, Fifth Edition McGrawpHill.
- Frank M. White. Fluid Mechanics Fifth Edition McGrawpHill.
- Grant Ingram, 2007, *Very Simple Kaplan Turbine Design*, School of Engineering, Durham University,
- H. Zainuddin1,et all. "Investigation on the Performance of Pico-hydro Generation System Using Consuming Water Distributed to Houses"
- N. Smith and G. Ranjtkhar,2000, "Nepal Case Study–Part One: Installation and performance of the Pico Power Pack," *Pico Hydro Newsletter*,.
- Simpson, R., & Williams, A., 2011, *Design of propeller turbines for pico hydro*. University of Nottingham.
- Sularso, Ir, MSME KiyokatsuSuga, 1991, *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin.*, PT. PradnyaParamita, Jakarta.
- Williams, A., & Porter, S, 2006, *Comparison of hydropower options for developing countries with regard to the environmental, social and economic aspects*. International Conference on Renewable Energy for Developing Countries, Washington DC, USA.
- Wright, A. K., & Wood, D.H, 2004, The starting and low wind speed behaviour of a small horizontal axis wind turbine. *Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics*,92(14), 1265-1279.
- www.inilah.com 12 November 2012 ( dilihat 15 maret 2013)



## **PROSIDING**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI NASIONAL (ITENAS) - BANDUNG**

---



SEMINAR NASIONAL XII

**REKAYASA DAN APLIKASI TEKNIK MESIN DI INDUSTRI**

Kampus ITENAS, Bandung 17-18 Desember 2013