

Rekonstruksi Turbin Pembangkit Tenaga Listrik Mikrohidro Berbasis Pedesaan Dengan Head 5 M (Reconstructions Of Rural Based Microhidro Power Plant With Head 5 M)

Ibrahim SB

Akademi Teknik Industri Makassar (ATIM)
Jalan Sunu No.220 Makassar 90111
Email: Ibrahimsb48@gmail.com

ABSTRAK

Krisis energi yang melanda dunia dewasa ini telah menarik perhatian para ahli untuk menemukan sumber-sumber energi baru yang murah dan tersedia dalam jumlah yang besar. Sumber energi yang sudah lazim digunakan adalah sumber energi minyak bumi, gas alam dan batubara, sedangkan sumber energi lainnya, seperti energi air, panas bumi, panas matahari dan nuklir masih terus dikembangkan. Potensi hidropower yang tersebar di seluruh Indonesia diperkirakan mencapai 75.000MW namun pemanfaatannya baru sekitar 2,5 persen. Sementara potensi tenaga mikrohidro untuk Indonesia bagian Timur mencapai sekitar 141,824 MW. Pembangkit tenaga listrik mikrohidro merupakan salah satu energi terbarukan (renewable energy) yang ramah lingkungan, oleh karena itu sering disebut *energi putih (white resources energy)*. Jenis turbin yang rancang dalam penelitian ini adalah *turbin Cross flow (Ossberger)* yang lebih populer dengan sebutan mikrohidro dimana daya outnya maksimal 100 kW. Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan rekonstruksi yang efektif dari konstruksi sebelumnya, sehingga diperoleh out put daya maksimal, dan dapat memberikan solusi pada masyarakat pedesaan yang membutuhkan layanan penerangan kelistrikan, khususnya masyarakat Desa Tallumbamba kecamatan Enrekang yang belum terjangkau layanan penerangan listrik dari pihak PLN. Oleh karena itu harus ditentukan ukuran dan dimensi komponen-komponen yang berhubungan dengan optimalisasi daya output turbin. Untuk menunjang rancangan konstruksi tersebut maka dibutuhkan metodologi rancangan sebagai berikut : menentukan data awal hasil pengukuran lapangan, kemudian merencanakan daya air yang dapat dibangkitkan, putaran poros pada turbin, dimensi serta ukuran komponen mesin dan kerugian (losses) pada aliran fluida kerja pada pipa pesat.

Dari hasil penelitian rancangan rekonstruksi turbin mikrohidro diperoleh hasil: Kapasitas aliran air pada pipa luaran (Q) = $0,0775 \frac{m^3}{s}$, kecepatan putaran runner (U) = $8,8 \frac{m}{s}$, daya air (P_h) = $14,985 \text{ kW}$ dan turbin efektif (P_{pef}) = $10,236 \text{ kW}$.

Kata kunci: Head, kapasitas, putaran runner ,daya efektif dan efisiensi.

Pendahuluan

Krisis energi yang melanda dunia dewasa ini telah menarik perhatian para ahli untuk menemukan sumber-sumber energi baru dan terbarukan yang lebih murah dan tersedia dalam jumlah yang besar. Indonesia termasuk negara kaya akan potensi sumber daya alamnya, termasuk sumber energi aliran air dengan potensi diperkirakan mencapai kurang lebih 75.000 MW, sementara pemanfaatannya baru sekitar 2,5 % (Bakhtiar Rifai 2007), sedangkan Indonesia bagian timur memiliki potensi pengembangan pembangkit tenaga listrik mikrohidro sekitar 141,824

MW (Workshop pengembangan mikrohidro Indonesia 2012). Penduduk Indonesia yang dapat menikmati layanan aliran listrik dari Negara berada sekitar 54 % (Yahya Irianto, Riak bumi –New letter cifor 2008). Mikrohidro merupakan suatu penamaan yang digunakan pada pembangkit tenaga listrik yang relatif kecil atau daya sekitar (5 - 100) kW (Sahban Nafis 2012). Pengembangan sumber daya listrik mikrohidro dapat menunjang kesejahteraan sosial ekonomi masyarakat pedesaan.

Rekonstruksi turbin type *crossflow* pada pembangkit listrik mikrohidro didasarkan pada konstruksi sebelumnya yang belum dirancang dan

diperhitungkan secara seksama. Penelitian ini dirancang dengan menggunakan data awal pada ketinggian terjauh air sebesar 5 meter.

Berdasarkan pada masalah diatas maka tujuan penelitian dimaksudkan :

1. Mendapatkan rancangan turbin yang tepat dari sebelumnya, sehingga optimalisasi daya out put dapat dicapai.
2. Mendapat ukuran dan dimensi komponen yang lebih efektif yang didasarkan pada geometri segitiga.

Hasil penelitian diharapkan dapat memenuhi kebutuhan akan layanan penerangan listrik pada masyarakat desa yang belum terjangkau listrik dari PLN.

Pembangkit listrik Mikrohidro

Pembangunan energi listrik mikrohidro membutuhkan beberapa komponen utama seperti bendungan (weir), saluran pemasukan (inteks), resorvoir, pipa pesat (penstock), rumah turbin dan pembuangan.

A. Turbin Cross Flow

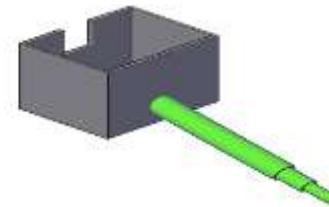
Turbin *Cross flow* adalah salah satu turbin air dari jenis turbin aksi (impuls turbin). Prinsip kerja turbin ini mula mula ditemukan oleh seorang Insyinur Australia bernama A.G.M.Micheel pada tahun 1903, kemudian dikembangkan dan dipatenkan di Jerman Barat oleh Prof.Donat Banki, sehingga turbin diberi nama Turbin Banki atau Turbin Micheel-Ossberger (Heimerl, L,A 1960). Penggunaan jenis turbin *Cross-flow* lebih menguntungkan dibandingkan dengan kincir air atau jenis pembangkit mikrohidro lainnya untuk daya yang sama. Efisiensi rata rata dari turbin ini lebih tinggi dari kincir air. Hasil pengujian Labrotorium yang telah dilakukan oleh Pabrik turbin Ossberger di Jerman Barat menyimpulkan bahwa daya guna untuk kincir air hanya sekitar 70% sedangkan untuk Jenis turbin Ossberger dapat mencapai sekitara 82 %

(Haimierl, L, A, 1960). Tingginya capaian effisiensi ini karena turbin *cross flow* ini memanfaatkan energi aliran air dua kali yakni yang pertama energi tumbukan air pada sudu sudu saat air mulai masuk, dan yang kedua adalah daya dorong air pada sudu sudu saat air meninggalkan *ranner*.

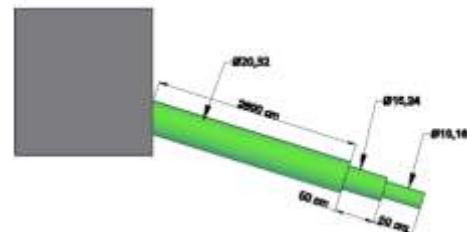
Konstruksi turbin dibuat dari material baja sedang (mild steel) seperti St 37 dan dibentuk dengan permesinan seperti bubut, gerinda, boring dan peralatan kerja bangku lainnya kemudian komponen lainnya disambung dengan menggunakan las listrik.

B . Energi Aliran Fluida

Instalasi Pembengkit Tenaga Listrik mikrohidro pada gambar (1) diasumsikan fluida mengalir dalam konsidisi tunak (steady state), dalam keadaan konstan dari posisi permukaan yang tinggi melalui pipa pesat ketik yang posisinya lebih rendah. Bila luas penampang pipa keluaran berubah diamaternya, maka aliran akan mencapai kondisi tunak setelah terjadi ketimbangan baru.



Gambar 1a. Instalasi Pipa Pesat dengan Resorvoir(3 D)



Gambar 1b.Pandangan Samping Kanan (2 dimensi)

C. Prinsip Bernoulli

Ada tiga komponen utama yang terjadi dalam elemen energi aliran fluida yaitu :

1. Energi potensial yang bernilai $W.h$, dimana w berat fluida ($\frac{kgm}{s^2}$), h adalah head dari suatu referensi (m).
2. Energi Tekanan nilainya adalah $\frac{wp}{\rho}$, dimana p adalah tekanan ($\frac{N}{m^2}$) dan $\rho(\frac{kg}{m^3})$ adalah kerapatan zat alir.
3. Energi kinetik, besarnya $\frac{Wv^2}{2g}$ diperoleh dari head kecepatan $\frac{v^2}{2g}$, hukum Tericelle, $c = \sqrt{2gh}$.

Head energi yang terkandung dalam 1 kg fluida dapat di rumuskan sebagai

$$H_{tot} = h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + \frac{c^2}{2g} \quad (1)$$

Dengan mengasumsikan bahwa semua elemen fluida mempunyai energi yang sama, mulai dari posisi masuk hingga pada suatu titik referensi yang diamati. Jika tidak ada energi yang masuk dan keluar sistem maka persamaan (1) menjadi:

$$h + \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2g} + \frac{c^2}{2g} = \text{konstan.} \quad (2)$$

D. Mekanisme Pancaran Air Jet

Pancaran air jet terhadap sudu turbin *Cross flow* pada titik A dengan sudut absolut α_1 maka kecepatan air keluar turbin adalah :

$$C_1 = c\sqrt{2gh} \quad (3)$$

Dimana

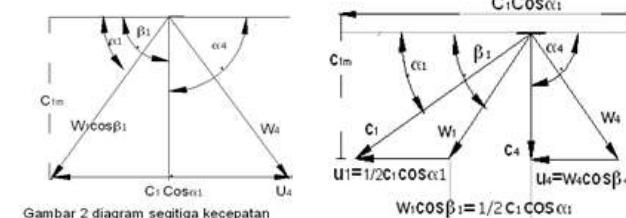
$$C_1 = \text{kecepatan absolut air } \left(\frac{m}{s}\right)$$

$$c = \text{koefien pada nozel}(0,98)$$

$$h = \text{tinggi jatuh air (m)}$$

$$g = \text{percepatan gravitasi } \left(\frac{m}{s^2}\right)$$

Segitiga kecepatan memberikan gambaran aliran fluida yang masuk dan keluar turbin yang dapat diuraikan menjadi: C = kecepatan absolut, U = kecepatan tangensial dan w = kecepatan relatif sebagaimana pada gambar 2. diagram segitiga kecepatan.



Gambar 2. Diagram Segitiga Kecepatan efisiensi teoritis aksimum

Komponen kecepatan absolut pada sisi masuk turbin :

$$C_{u1} = C_1 \cos \alpha_1 \quad (4)$$

$$C_{u2} = C_2 \cos \alpha_2 \quad (5)$$

$$C_{u3} = C_3 \cos \alpha_3 \quad (6)$$

$$C_{u4} = C_4 \cos \alpha_4 \quad (7)$$

Komponen kecepatan relatif

$$W_{u1} = W_1 \cos \beta_1 \left(\frac{m}{s}\right) \quad (8)$$

Kecepatan tangensial (U)

$$U_1 = \frac{1}{2} C_1 \cos \alpha_1 \quad (9)$$

Gambar 2 menunjukkan bahwa C_4 keluar sudu membentuk sudut 90° atau sudut dalam arah relatif sehingga dapat diperoleh korelasi dengan :

$$C_{1m} = W_1 \sin \beta_1 \quad (10)$$

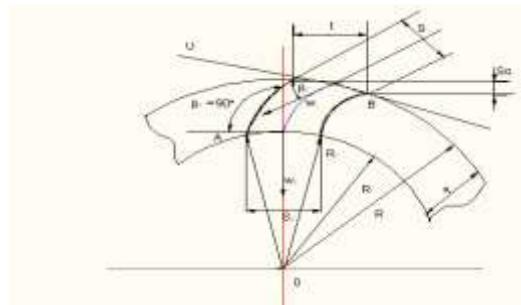
$$C_{1m} = C_1 \sin \alpha_1 \quad (11)$$

Dengan demikian maka $W_1 \sin \beta_1 C_1 \sin \alpha_1$ atau

$$\frac{1}{2} \frac{C_1 \cos \alpha_1}{\cos \beta_1} \sin \beta_1 = C_1 \sin \alpha_1$$

$$\frac{\sin \beta_1}{\cos \beta_1} = 2 \frac{\sin \alpha_1}{\cos \alpha_1} \text{ atau}$$

$$\tan \beta_1 = 2 \tan \alpha_1 \quad (12)$$



Gambar 3. Spacing Sudu

Dari gambar 3. diasumsikan tebal *blade* dapat diabaikan dan ketebalan jet(S_1) saat masuk ke sudu turbin adalah:

$$S_1 = t \sin \beta_1 \quad (13)$$

$$\text{Dimana } \beta_2 = 90^\circ$$

Ketebalan jet pada sisi keluar sudu adalah : $S_2 = t \frac{R_1}{R_2}$

Jarak antara jari luar dan jari jari dalam turbin adalah $R_1 - R_2 = a$

Besarnya gaya sentrifugal dalam turbin dapat dianalisis berdasarkan geometri gambar (3).

$$W_1^2 - W_2^2 = U_1^2 - U_2^2 \text{ atau } W_2^2 = U_2^2 - U_1^2 = C_1^2$$

Dari (Andi Ade Larasakti,Syukri Himran ,A.Syamsul arifin) $W_2 = W_1 \left(\frac{S_1}{S_2} \right)$ dimana

$$\left(\frac{S_1}{S_2} \right) = \sin \beta_1 \text{ sehingga } W_2 = W_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \sin \beta_1, U_2 = U_1 \left(\frac{R_2}{R_1} \right).$$

$$\left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 - \left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \sin^2 \beta_1 = 1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \quad (16)$$

$$\left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 - \left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \sin^2 \beta_1 = 1 - \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2 \quad (16)$$

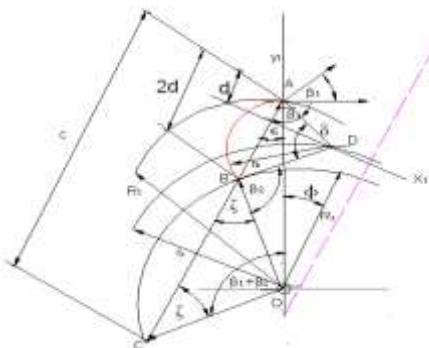
$$\text{Jika } x = \left(\frac{R_2}{R_1} \right)^2, \text{ maka persamaan } \quad (17) x^2 -$$

$$\left[1 + \left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \right] x - \left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \sin^2 \beta_1 = 0 \quad (18)$$

E. Geometri Sudu

Untuk menentukan hubungan geometri antara besaran besaran dari $R_1, R_2, \beta_1, \beta_2, r_p, r_b$ dan δ diperlukan adanya parameter seperti $\varepsilon, \xi, \phi, c$ dan d sebagaimana ditunjukkan pada

gambar (4) Sudut $(\beta_1 + \beta_2)$ dapat di analisis secara grafis. Dari pusat *runner* hingga sisi penjepitnya memotong jari-jari R_1 dan sisi lainnya memotong R_2 . Hubungan antara kedua jari-jari tersebut mempunyai panjang c , sedang garis memotong lingkaran jari-jari R_2 sepanjang $2d$ pada titik potong dengan lingkaran luar *runner*. Garis jarak $2d$ menghasilkan posisi pusat lengkungan sudu merupakan titik potong dengan sudut β_1 yang dihubungkan dengan titik potong bagian atas lingkaran R_1 . Pusat jari-jari sudu terletak sejauh jari-jari lingkaran tusuk r_p dari sumbu *runner*.



Gambar 4. Konstruksi Geometri Sudu Turbin.

Jari-jari r_b memotong lingkaran dalam *runner* yang berjari-jari R_2 , hubungan antara kedua titik potong lingkaran *runner* dengan pusat jari-jari r_b dan sumbu *runner* akan dihasilkan sudut δ dan ϕ . Dari hasil analisis secara grafis dapat dihasilkan persamaan berikut untuk mendapat parameter dari δ , r_b dan r_p dan seterusnya berdasarkan R_1 , R_2 , β_1 dan β_2 yang telah diketahui. Dari konstruksi grafis geometri tersebut dapat dijadikan koreksi untuk memeriksa besaran besaran hasil perhitungan pada penelitian rekonstruksi turbin yang diteliti.

$$c = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2\cos(\beta_1 + \beta_2)} \quad (19)$$

$$\varepsilon = \arcsin \left[\frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right] \quad (20)$$

$$\xi = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon) \quad (21)$$

Sudut antara pusat *runner* dengan jari-jari dalam pada *runner* diperoleh dengan :

$$\phi = \beta_1 + \beta_2 (180^\circ - 2\xi) \quad (22)$$

$$d = \frac{R_1 \sin \phi}{2 \sin 180^\circ - \xi} \quad (23)$$

Radius dari pada *blade* adalah

$$r_b = \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \quad (24)$$

Radius pitch (r_p) dari segitiga OAD diperoleh dengan persamaan :

$$r_p = \sqrt{r_b^2 + R_2^2 - 2r_b R_1 \cos \beta_1} \quad (25)$$

$$\delta = 180^\circ - 2(\beta_1 + \varepsilon) \quad (26)$$

F. Daya pada Sudu Turbin

Untuk daya efektif yang dihasilkan oleh gerak putar sudu turbin dan poros dapat dihitung dari dua sisi antara lain adalah :

Untuk sudu pada turbin bagian atas:

$$P_1 = m^0(C_1 \cos \alpha_1 - C_2 \cos \alpha_2)u \quad (27)$$

$$P_2 = m^0(C_1 \cos \alpha_1 U_1 - C_2 \cos \alpha_2 U_2) \quad (28)$$

Untuk sudu turbin bagian bawah

$$P_1 = m^0(C_3 \cos \alpha_3 - C_4 \cos \alpha_4)u \quad (29)$$

$$P_2 = m^0(C_3 \cos \alpha_1 U_3 - C_4 \cos \alpha_2 U_4) \quad (30)$$

$$m^0 = \rho Q \quad (31)$$

Total daya (P) yang dihasilkan adalah

$$P = P_1 + P_2 \quad (kW) \quad (32)$$

Daya efektif poros ($P_{p,eff}$) adalah :

$$P_{p,eff} = \eta_m x P \quad (kW) \quad (33)$$

sedangkan η_m dapat diperoleh dengan :

$$\eta_m = \frac{C^2(1+\psi)\cos^2 \alpha_1}{2} \quad (34)$$

faktor $C = 0,98$ dan

$\psi = 0,98$ (Mockmore dkk, 1949)

G. Daya Fluida Air.

Untuk menentukan hubungan dari beberapa parameter air terjun terhadap ukuran keseluruhan rada jalan dibutuhkan beberapa indikasi antara lain :

$$P_h = \rho g Q H_{ef} \quad (35)$$

$$H_{ef} = Z_1 - Z_3 - \frac{v_3^2}{2g} - H_l \quad (1-3) \quad (36)$$

Dimana H_l adalah losis akibat panjang pipa dan sambungannya dapat dihitung dengan :

$$H_l = \frac{f Q^2}{3} \left[\frac{L_1}{d_1^5} + \frac{L_2}{d_2^5} + \frac{L_3}{d_3^5} \right] \quad (R.S.Khurmi) \quad (37)$$

Dalam aliran fluida diasumsikan mengalir secara tunak sehingga persamaan kontinuitas dapat digunakan :

$$Q = Av \quad (38)$$

Dimana

$$P_h = \text{daya air} \quad (kW)$$

$$Q = \text{kapasitas aliran dalam pipa} \quad \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

$$H_{ef} = \text{head efektif pada fluida} \quad (m)$$

$$H_l = \text{total kerugian fluida pada pipa} \quad (m)$$

$$l_1, l_2, l_3 = \text{masing-masing panjang pipa 1, pipa 2 dan pipa 3.}$$

$$d_1, d_2, d_3 = \text{masing-masing diameter pipa 1, pipa 2 dan pipa 3.}$$

$$A = \text{luas pipa nozel} = \frac{\pi d_3^2}{4}$$

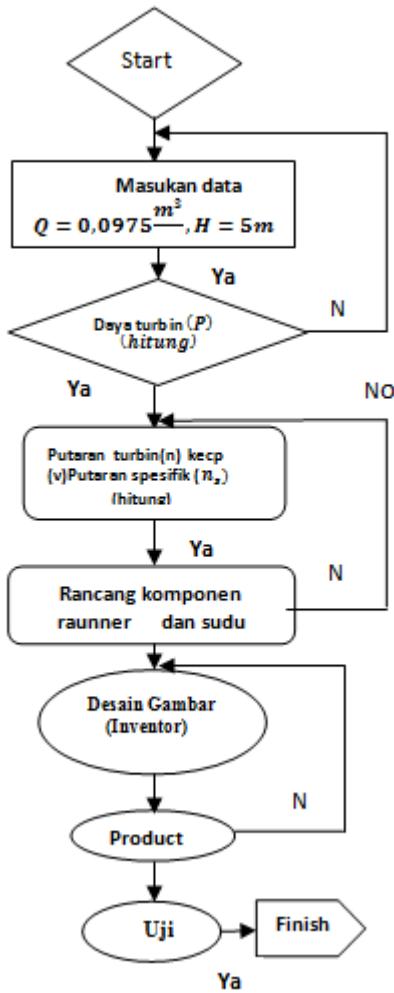
$$v = c \sqrt{2gh} \quad \text{kecepatan aliran pada nozel} \quad \left(\frac{m}{s} \right)$$

$$c = \text{konstante pada nozel} \quad (0,95 \div 0,98)$$

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan di Desa Tallubamba kecamatan Enrekang Sulawesi Selatan dalam rangka pemenuhan kebutuhan penerangan

pada masyarakat pedesaan yang belum terjangkau aliran listrik dari PLN. Penelitian ini sifatnya merekayasa ulang apa yang selama ini telah dilakukan, untuk itu maka dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :



Gambar 5. Diagram Alir Metodologi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data pada gambar 1 dan head yang diketahui ($H=5$ m) maka beberapa parameter dapat dianalisis :

1. Daya air

$$P_h = \rho g Q H_{ef} \quad (35)$$

$$\rho = 1000 \frac{kg}{m^3}$$

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2},$$

2. Kapasitasa aliran air(Q).

$$Q = Av \quad (38)$$

$$Q = 8,103 \times 10^{-3} \times 0,965 (2 \times 9,81 \times 5)^{\frac{1}{2}} = 775 \frac{m^3}{s}$$

3. Head efektif (H_{ef})

$$H_{ef} = Z_1 - Z_3 - \frac{v_3^2}{2g} - H_{l(1-3)} \quad (36)$$

$$4. H_{l(1-3)} = \frac{f Q^2}{3} \left(\frac{L_1}{d_1^5} + \frac{L_2}{d_2^5} + \frac{L_3}{d_3^5} \right) \quad (37)$$

Raynold number (R_{ed}) = 203960 dan $f=0,0085$ (diagram Moody)

$$L_1 = 26m, L_2 = 0,5m \text{ dan } L_3 = 0,5 m$$

$$d_1 = 0,2032 m, d_2 = 0,1524 m \text{ dan}$$

$$d_3 = 0,1016 m \quad H_{l(1-3)} = 2,16, \text{ dan } \frac{v_3^2}{2g} = ,65m$$

$$\text{dan } Z_1 - Z_3 = H_{tot} = 26,52m$$

$$H_{l(1-3)} = 19,71m.$$

Dengan demikian maka

$$P_h = \left(1000 \frac{kg}{m^3} \right) \left(9,81 \frac{m}{s^2} \right) \left(0,0775 \frac{m^3}{s} \right) (19,71 m) \\ = 14,985 \text{ kW.}$$

5. Daya efektif turbin($P_{ef.}$)

$$P_{ef} = \eta_{max} P_h \quad (33)$$

Dimana

$$\eta_{max} = \frac{C^2(1+\psi)\cos^2\alpha}{2} \quad (34)$$

$$C = 0,98, \psi = 0,98 \text{ dan } \alpha = 16^\circ$$

$$\eta_{max} = 87,43\% \text{ dengan demikian maka}$$

$$P_{ef} = 0,87 \times 14,985 = 13,036 \text{ kW.}$$

Daya sudu dan Daya Efektif Poros

Daya poros sangat dipengaruhi oleh seberapa besar daya potensial air untuk mengubah daya mekanik pada roda turbin, hal ini dapat diukur dengan indikasi putaran poros.

1. Putaran runner (U)

$$U = \frac{\pi D n}{60}$$

$$D = 0,98 m \text{ (terukur)}$$

$$n = 171 rpm \text{ (hasil pengukuran)}$$

$$U = 8,8 \frac{m}{s}$$

2. Analisis diagram segitiga kecepatan (Bachtiar Acep Neris 1988)

$$C_1 = \sqrt{2gH} = 1 \text{ dan } \alpha_1 = 16^\circ$$

$$U_1 = U_3, \quad U_2 = U_4 \rightarrow C_3 = C_2$$

$$\alpha_2 = \alpha_3, \beta_4 = 180^\circ - \beta_1 \rightarrow \beta_3 = \beta_1 = 90^\circ$$

$$\text{dengan } \beta_1 = 30^\circ \rightarrow \frac{R_2}{R_1} = 0,666 \text{ dan } U_2 =$$

$$0,666 U_1$$

$$U_1 = 0,481 C_1 \rightarrow \alpha_2 = 53^\circ \rightarrow C_2 = 0,528 C_1$$

$$\alpha_4 = 90^\circ \rightarrow C_4 = 0,276 C_1$$

$$U_1 = 0,481 C_1$$

$$\rightarrow C_1 = \frac{8,8}{0,481}, C_1 = 18,29 \frac{m}{s}, C_2 = 0,528 C_1 =$$

$$9,66 \rightarrow U_2 = 0,666 U_1 = 5,86$$

3. Daya sudu atas(P_1)

dapat diperoleh dari persamaan (27)

$$P_1 = 77,5 \frac{kg}{s} [18,29x8,8x \cos 16^\circ - 5,86x9,66 \cos 53^\circ] \frac{m^2}{s^2}$$

$$P_1 = 7,814 \text{ kW}$$

4. Daya sudu bawah (P_2)

Dari persamaan (30) diperoleh :

$$P_2 = 77,5 \frac{kg}{s} \left[\frac{8,8x9,66 \cos 53^\circ}{-5,048x5,86 \cos 90^\circ} \right] \frac{m^2}{s^2}$$

$$P_2 = 3,952 \text{ kW}$$

$$P = P_1 + P_2 \quad \text{persamaan (32)}$$

$P = 11,766 \text{ kW}$. dengan demikian maka daya efektif poros diperoleh dari (33)

$$P_{pef} = \eta_{max} P \text{ atau } = 0,87x11,766$$

$$P_{pef} = 10,236 \text{ kW.}$$

Menentukan parameter spesifik (N_s)

Setiap turbin memiliki nilai kecepatan spesifik masing-masing, dan parameter ini dapat menjelaskan batasan kecepatan spesifik untuk beberapa turbin konvensional. Dari data rancangan sebelumnya diperoleh putaran maksimal turbin 171 rpm sehingga :

1. Putaran spesifik (N_s)

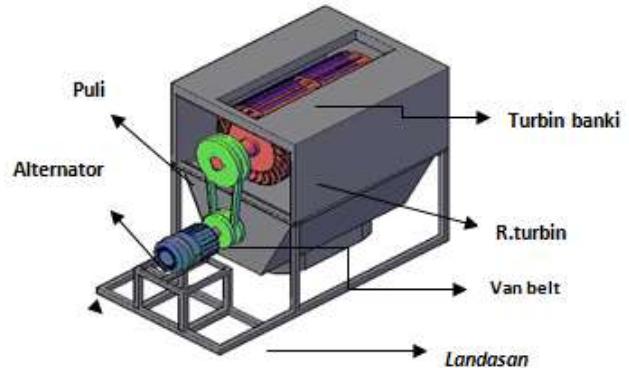
$$N_s = n \frac{P_{pef}^{\frac{1}{2}}}{H^{\frac{5}{4}}} = 171 \left[\frac{10,236^{\frac{1}{2}}}{5^{\frac{5}{4}}} \right] = 73,17 \text{ rpm.}$$

2. Kecepatan spesifik (N_q)

$$N_q = \frac{n(Q)^{\frac{1}{2}}}{H^{0,75}} = \frac{171(0,0775)^{\frac{1}{2}}}{(5)^{0,75}} = 14,22 \text{ rpm.}$$

3. Debit satuan (Q_u)

$$Q_u = \frac{Q}{d_3^2(H)^{\frac{1}{2}}} = 3,36 \frac{(m)^3}{s}$$



Gambar 6. Konstruksi Turbin dan Alternator

Desain turbin

Dari hasil pengukuran sebelumnya ditentukan jarak antara sudu (t) = 4 cm sehingga ukuran komponen komponen penting secara geometris dapat ditentukan:

1. Ketebalan jet sisi masuk sudu turbin (S_1)

$$S_1 = ts \sin \beta_1, \quad (13) \text{ untuk } N_s = 60 \div 120 \text{ rpm} \rightarrow \beta = 60^\circ \text{ sampai } 90^\circ (\text{R S Khurmi})$$

$$S_1 = 4x \sin 60^\circ = 3,23 \text{ cm}$$

2. ketebalan jet sisi keluar sudu turbin

$$S_2 = t \left(\frac{R_1}{R_2} \right) \quad (14)$$

$$= 4(1,5) = 6 \text{ cm.}$$

Jumlah sudu (Z)

$$Z = \frac{\pi D}{t} = \frac{3,4 \times 49}{4} = 38 \text{ buah.}$$

3. Menentukan kecepatan relatif (W_1) akibat gaya sentrifugal, Persamaan (18) diperoleh: $(0,443)^2 -$

$$\left[1 + \left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \right] 0,443 -$$

$$\left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 \times 0,81 = 0$$

$$\left(\frac{W_1}{U_1} \right)^2 = 0,673 \rightarrow W_1 = 0,82 U_1$$

4. Menentukan bagian turbin

a) Titik potong jari-jari dalam dan luar turbin

$$c = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2R_1 R_2 \cos(\beta_1 + \beta_2)} \quad (19)$$

$$\text{dimana } \frac{R_2}{R_1} = 0,666. \rightarrow \cos 120^\circ$$

$$c = \sqrt{2,332 R_1^2} = 75 \text{ cm.}$$

$$\text{b) } \varepsilon = \text{Arc sin} \left[\frac{R_2 \sin(\beta_1 + \beta_2)}{c} \right] \dots \dots \dots (20)$$

$$= \text{Arcsin} \left[\frac{32,634 \sin(120^\circ)}{75} \right] = 22^\circ$$

$$\text{c) } \zeta = 180^\circ - (\beta_1 + \beta_2 + \varepsilon) \dots \dots \dots (21)$$

$$= 38^\circ$$

$$\text{d) Sudut antara jari-jari runner dengan titik pusat runner (22)}$$

$$\begin{aligned}\phi &= \beta_1 + \beta_2 - (180^\circ - 2\zeta) \\ &= 16^\circ \\ \text{e)} \quad d &= \frac{R_1 \sin \phi}{2 \sin(180^\circ - \xi)} = 11 \text{ cm.} \\ \text{f)} \quad \text{Sudut kelengkungan blade} \\ \delta &= 180^\circ - 2(\beta_1 + \varepsilon) \quad (26) \\ &= 76^\circ \\ \text{g)} \quad \text{Radius blade}(r_b) \\ r_b &= \frac{d}{\cos(\beta_1 + \varepsilon)} \quad (24) \\ &= 18,03 \text{ cm} \\ \text{h)} \quad \text{Radius pitch segitiga OAD} \\ r_p &= \sqrt{r_b^2 + R_1^2 - 2r_b R_1 \cos \beta_1} \quad (25) \\ &= \sqrt{4759} = 69 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis rekonstruksi turbin tenaga mikrohidro pada penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan pada data kapasitas aliran, head air serta putaran poros maka dapat dihasilkan daya hidrolik sebesar 14,985 kW dan daya efektif pada poros turbin adalah 10,236 kW dengan demikian efisiensi turbin(η_t) sebesar 68,3%.
2. Dari hasil analisis segitiga kecepatan diperoleh beberapa parameter seperti :
 - a. Ketebalan jet masuk sudu turbin(s_1) = 3,23 cm
 - b. Ketebalan jet keluar sudu turbin(s_2) = 6,0 cm
 - c. Jumlah sudu turbin (Z) = 38 buah
 - d. Kecepatan relatif (W_1) = $0,82U_1$
 - e. Radius blade(r_b) = 18,03 cm
 - f. Radius pitch(r_p) = 69 cm
 - g. Sudut kelengkungan blade(δ) = 76°
 - h. Sudut antara jari-jari runner dengan titik pusat(ϕ) = 16°

Referensi

Ahmad Farid dkk. Studi Potensi dan Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Sungai Guci Kabupaten Tegal (2012)

Andi Ade Larasakti dkk. Pembuatan dan Pengujian Pembangkit listrik Tenaga Mikrohidro Turbin Bunki Daya 200 Watt (2012)

Buhari Rifai. Redesain Pembangkit Listrik Mikrohidro, Seminar Nasional Teknik Ketenaga Listrikan(2007)

Bachtiar, Acep Neris. Perencanaan Turbin Air Penggerak Generator Listrik Pedesaan Tugas Akhir (1998)

Ika Novia Anggaraini dkk. Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro dengan Memanfaatkan Potensi Air di Desa Benteng Besi Kabupaten Lebang Provinsi Bengkulu (2012)

R.S.Khurmi. Hydraulik, Fluid Mechanics and Hydraulik Mechanic fourteenth edition (1985)

Peguh Adistriyo ST. (Puslitbang Iptekhan Puslitbang Dephan), Pemanfaatan Listrik Tenaga Mikrohidro untuk Daerah Terpencil.

Wibowo Parayatmo. Turbin Air edisi kedua (2007).