

Disain Perencanaan Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe *Cross Flow* Kapasitas 5 kW

Sulis Yulianto¹, Fadwah Maghfurah^{1*}, Munzir Qadri, Imam Ali Syariati¹

¹Jurusan Teknik Mesin, Universitas Muhammadiyah Jakarta, Jakarta,
Jl. Cempaka Putih Tengah 27, 10510

*Corresponding Author : fadwah.maghfurah@ftumj.ac.id

Abstrak

Perencanaan suatu disain sebuah turbin PLTMH yang efektif mejadi hal yang sangat penting dalam meningkatkan evektifitas dan *performance* sebuah unit PLTMH, dimana dalam perencanaan disain ini menitik beratkan pada jenis material yang akan dipakai dalam perencanaan konstruksi disain dari suatu turbin. Bahan material yang dipakai dalam penelitian ini menggunakan material baja karbon JIS S 45 C dengan unsur kandungan karbon medium antara kisaran 0,3 sampai sudah 0,45%, dimana material tersebut selain memiliki sifat yang kuat dan banyak dipakai dalam komponen – komponen mesin serta harga material tersebut lebih murah dan terjangkau dibandingkan dengan jenis material lainnya. Jenis turbin yang dipakai dalam kegiatan ini menggunakan jenis turbin *cross-flow* diamana jenis turbin ini mudah diterapkan dilingkungan yang memiliki letak geografis dan kontur tanah seperti diwilayah Indonesia, serta memiliki nilai efisien yang tinggi . Turbin yang dirancang pada kegiatan ini memiliki jumlah sudu sebanyak 28 buah dengan diameter runner (Do) 300 mm dan dan diameter dalam runner (Di) sebesar 200 mm dengan diameter poros turbin sebesar 25 mm dan memiliki torque turbin sebesar sebesar 3872,6 kg/mm² dan rencana kapasitas daya generator yang akan dipakai adalah sebesar 5 kW.

Kata kunci: *Baja karbon, daya generator, Turbin cross-flow*

Abstract

Planning an effective PLTMH turbine design is very important in increasing the effectiveness and performance of a PLTMH unit, where in the planning of this design focuses on the type of material to be used in planning the construction of a turbine design. Ingredients are used in this study using JIS S 45 C carbon steel material with the medium carbon content element is in the range of 0.3 to 0.45%, wherein these materials in addition to having strong properties and are widely used in machine components and material prices are cheaper and affordable compared to other types of material. The type of turbine used in this activity using the type of cross-flow turbine where this type of turbine easy to apply environment that has geographical location and land contour like in the Indonesian region, and has a high efficient value. The turbine designed in this activity has a total of 28 blades with the diameter of the runner (Do) is 300 mm and the inside diameter of the runner (Di) is 200 mm with a turbine shaft diameter of 25 mm and has a turbine torque of amounted to 3872.6 kg / mm² and the planned generator power capacity used is 5 kW.

Keywords: *Carbon steel, generator power, turbine cross-flow*

PENDAHULUAN

Potensi sumber daya air di Inonesia masih sangatlah besar tetapi dalam pemanfaatan dan pengelolaan secara maksimal masih cukup kurang memadai dimana salah satunya dapat difungsikan untuk media pembuatan sarana pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) yang dapat dikelola oleh masyarakat langsung, kebutuhan listrik bagi masyarakat sangat penting

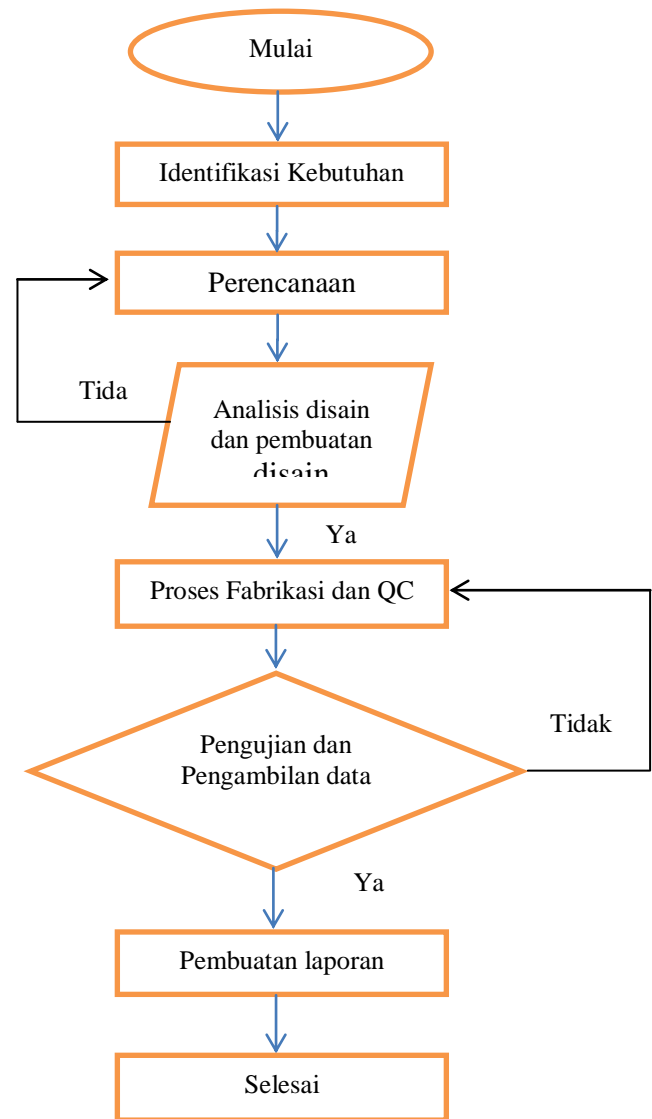
khususnya bagi masyarakat yang belum teraliri listrik baik pada daerah daerah terpencil ataupun pada daerah yang sudah teraliri listrik tetapi belum maksimal penerapannya dimasyarakat. Penentuan disain terbaik dari sebuah unit PLTMH dapat mempengaruhi performance dari unit tersebut dapa saat pengaplikasiannya, maka oleh sebab itulah dalam kegiatan penelitian ini

kami akan merancang disain dari elemen-elemen mesin pada unit PLTMH tersebut yang kemudian akan kami lakukan pengujian pada sebuah unit prototipe PLTMH skala laboratorium.

Jenis turbin yang digunakan pada rancangan ini menggunakan jenis turbin *crossflow* (aliran silang) sebab jenis turbin ini dapat diaplikasikan pada ketinggian jatuh air minimum antara 3 s/d 5 meter dengan debit air mencapai 30 m³/detik dengan kapasitas maksimal 500 watt per pembangkit (Mahdi Syukri dkk, Rancang bangun pembangkit listrik tenaga pikohidro sistem terapung, 2012), dan juga besarnya tenaga air bergantung pada besarnya *head* dan debit aliran, sedangkan dalam hal hubungan dengan reservoir air (sebuah waduk tempat penyimpanan air digunakan ketika diperlukan) maka *head* adalah beda ketinggian antara muka air pada reservoir dengan muka air yang keluar dari kincir atau turbin air (Ho-Yan, Bryan. Lubitz,W David, 2011, *Performance evaluation of cross-flow turbine for low head application*, World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden.).

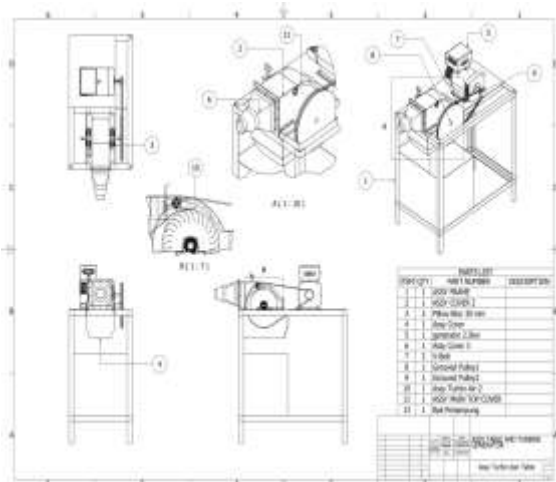
METODE PENELITIAN

Kegiatan perencanaan disain ini menitik beratkan pada sebuah konsep disain terhadap komponen-komponen elemen mesin yang akan dipergunakan pada unit PLTMH tersebut, yang kemudian dilakukan upaya perencanaan estimasi perencanaan perhitungan terhadap disain yang akan dibuat, sehingga diharapkan dapat menghasilkan suatu disain rancangan yang terbaik dan tahan lama dalam pengaplikasiannya dilokasi sebenarnya. Pengambilan data dari hasil survey lapangan juga sangat penting dalam membantu mempermudah perencanaan perhitungannya sehingga dapat memperkecil kesalahan dalam hal kalkulasi disain dan konstruksi yang akan dipergunakan. Alur kegiatan penelitian ini dapat terlihat pada gambar (1) dibawah yang menerangkan tahapan proses kegiatan penelitian ini hingga akhir.



Gambar 1. Diagram alir kegiatan penelitian

Komponen-komponen yang akan dirancang dalam kegiatan penelitian ini meliputi mengenai disain rancangan dari perencanaan turbin penggerak dan poros turbin yang ideal serta memiliki ketahanan yang baik apabila dipakai dalam waktu yang lama yang dikarenakan seluruh komponen dalam dari PLTMH tersebut akan terkena langsung oleh aliran air yang mengalir, maka diperlukannya bahan material dari komponen-komponen tersebut harus memiliki ketahanan terhadap korosi dan tekanan air selama beroperasi. Sehingga dengan ketangguhan dari material yang dipakai tersebut dapat menjadikan umur material komponen tersebut menjadi tahan lama.



Gambar 2. Disain rancangan unit PLTMH secara keseluruhan.

PEMBAHASAN

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi *performance* dari komponen-komponen mesin yang terdapat pada sebuah unit PLTMH pada saat beroperasi seperti kemampuan komponen untuk menerima beban dan tekanan dari air yang masuk ke area turbin dan poros pada saat beroperasi, maka diperlukanya pertimbangan dalam pemilihan bahan yang terbaik dari komponen-komponen tersebut.

Perencanaan diameter runner.

Sepesifikasi disain:

Sudut $\alpha = 16^{\circ}$

$\phi = 0,98$

Maka,

$$D = 39,85 \cdot H^{0,5} / n \dots\dots\dots(1)$$

Untuk kecepatan spesifik maksimum dari turbin *cross-flow* dihitung dengan (pers 2)

$$n = 133 \cdot \sqrt{H_{net}} \dots\dots\dots(2)$$

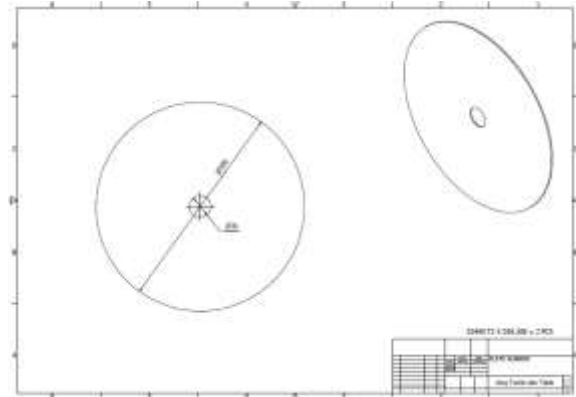
$$= 133 \sqrt{8}$$

$= 376,18 \text{ rpm}$

$$D = 39,85 \cdot H^{0,5} / n$$

$D = 0,299 = 299 \text{ mm}$

Maka untuk diameter luar (D_o) dari runner dibulatkan menjadi diameter 300 mm.



Gambar 3. Disain rancangan diameter runner.

Sedangkan untuk diameter dalam *runner* (D_i) dapat dihitung dengan (pers 2).

$$D_i = 2/3 \cdot D_o \dots\dots\dots(3)$$

$D_o = 300 \text{ mm}$

Sehingga,

$$D_i = 2/3 \cdot 300 \text{ mm}$$

$$= 200 \text{ mm}$$

Maka didapatkanlah nilai penentuan nilai R1 sebesar 150 mm dan nilai R2 sebesar 100 mm dari disain runner turbin tersebut.

Letak pembagian jarak sudu pada blade

Sedangkan untuk mencari letak jarak sudu D_o dan D_i kita harus mencari keliling *blade* tersebut lalu membaginya dengan jumlah sudu yang kita inginkan.

Jarak sudu pada D_i adalah :

$$c_2 = (2 \times \pi \times R_2) / 28$$

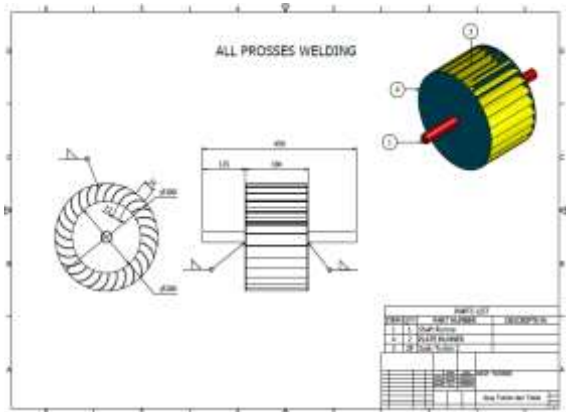
$$= 22,4 \text{ mm}$$

Jarak sudu pada D_o adalah :

$$c_1 = (2 \times \pi \times R_1) / 28$$

$$= \frac{2 \times 3,14 \times 150}{28}$$

$$= 33,6 \text{ mm}$$



Gambar 4. Disain rancangan turbin PLTMH Assy.

Perencanaan Runner

Panjang busur pemasukan air (L) didalam sistem dapat dihitung dengan (pers 4).

Dimana,

$$R_1 = 150 \text{ mm}$$

$$\phi = 120^\circ$$

Sehingga,

$$L = \frac{2 \times R_1 \times \pi \times \phi}{360^\circ} \dots\dots\dots(4)$$

$$= \frac{2 \times 150 \times 3,14 \times 120^\circ}{360^\circ}$$

$$= 314 \text{ mm}$$

Besarnya luas pemasukan air

$$A = b_o \times L \dots\dots\dots(5)$$

$$= 102 \text{ mm} \times 314 \text{ mm}$$

$$= 32028 \text{ mm}^2$$

Perencanaan Poros turbin

Komponen poros turbin penggerak merupakan bagian terpenting dari perencanaan sebuah mesin, hampir semua putaran akan diteruskan oleh sebuah poros, dimana dalam perencanaanya disain kapasitas generator didapatkan kapasitas daya generator sebesar 4,97 kW, maka diperlukanya perencanaan sebuah poros penggerak turbin yang mampu menerima beban yang tinggi dimana dapat dihitung dengan menggunakan pers (6).

Diketahui,

$$P = 4,97 \text{ kW}$$

$$n1 = 1500 \text{ rpm (generator)}$$

$$fc = 1,2 \text{ (daya rata-rata yang diperlukan)}$$

Maka untuk daya rencana yang dipakai dalam disain rancangan PLTMH ini dapat dihitung pada pers 6.

$$P_d = f_c \times P \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

$$P = \text{Daya sebenarnya (kW)}$$

$$fc = \text{Faktor koreksi}$$

$$Pd = \text{Daya rencana}$$

Dengan pemilihan faktor koreksi dipilih dengan nilai 1,2 pada daya rata-rata, maka didapatkan nilai sebesar 5,97 kW. Tahap selanjutnya mencari momen puntir yang akan timbul akibat pembeana tersebut dimana kecepatan turbin (n1) sebesar 1500 rpm, maka dapat dihitung dengan (pers 7) berikut.

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n_1} \dots\dots\dots(7)$$

$$= 3872,624 \text{ kg.mm}$$

Bahan yang digunakan untuk poros adalah S45C, Maka unuk tegangan geser yang diijinkan dapat dihitung dengan menggunakan (pers 8), sebagai berikut.

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{(Sf_1 \times Sf_2)} \dots\dots\dots(8)$$

$$= \frac{58}{6 \times 2}$$

$$= 4,83 \text{ kg/mm}^2$$

Sedangkan untuk faktor koreksi tumbukan (Kt) = 1,0 – 1,5 dan faktor keamanan beban lentur (Cb) adalah sebesar = 1,2 – 2,3, dan diameter poros turbin (ds) dapat dihitung menggunakan (pers 9) sebagai berikut.

$$ds = \left[\frac{5,1}{\tau_a} \times cb \times kt \times T \right]^{1/3} \dots\dots\dots(9)$$

Hasil perhitungan dari perencanaan diameter poros didapatkan hasil sebesar 24,16 mm, maka dalam perencanaan ini nilai tersebut menjadi 25 mm.

Perhitungan Perencanaan Pasak

Perhitungan perencanaan pasak perlu dilanjutkan dimana untuk mencari nilai gaya tangensial yang akan diterima oleh poros dan pasak dalam pengoprasianya, maka dengan menggunakan (pers 10) gaya tangensial tersebut dapat diketahui.

$$F = \frac{T}{(d_s/2)} \dots\dots\dots(10)$$

$$= \frac{3872,624}{(25/2)}$$

$$= 309,8 \text{ kg}$$

Penampang pasak yang direncanakan menggunakan 6x6 (mm). Bahan pasak yang digunakan adalah S45C, dan untuk menghitung nilai tegangan geser yang diizinkan, dapat menggunakan (pers 11) sebagai berikut.

$$\tau_{ka} = \frac{\sigma_B}{Sf_{k1} \times Sf_{k2}} \dots\dots\dots(11)$$

$$\tau_{ka} = \frac{58}{6 \times 3} = 3,2 \text{ kg/mm}^2$$

Menurut (Sularso & Suga, 2008), untuk tekanan pada permukaan yang diizinkan p_a (kg/mm^2) di berikan sebesar 8 kg/mm^2 karena poros dengan diameter ukuran yang kecil, dan untuk mengetahui nilai keamanan pasak dapat dihitung dengan menggunakan (pers 12) sebagai berikut.

$$b/d_s = 0,25 < \text{hasil} < 0,35 \dots\dots\dots(12)$$

$$7/25 = 0,25 < 0,28 < 0,35$$

dari hasil perhitungan tersebut didapatkan nilai sebesar 0,28 , dimana nilai tersebut berada diantara 0,25 dan 0,35 makadapat dinyatakan masih dalam kondisi aman.

Menentukan Diameter Pulley

Untuk menentukan ukuran diameter puli yang digerakkan, jika yang diketahui putaran rpm generator 1500 rpm dan diameter puli kecil ditetapkan 3 inchi dengan putaran runner 376,16 rpm.

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_1}{d_2} \dots\dots\dots(13)$$

$$d_2 = \frac{n_1}{n_2} \times d_1 \dots\dots\dots(14)$$

Dimana,

- n_1 = putaran generator
- n_2 = putaran runner
- d1 = puli generator
- d2 = puli turbin

Maka dengan menggunakan (pers 14) didapatkan nilai diameter pulli yang akan dipakai oleh turbin pengerak dapat diketahui yaitu berdiameter 12 inchi (304,8 mm).

KESIMPULAN

1. Dari hasil perencanaan disain terhadap turbin didapatkan nilai diameter luar runner yaitu sebesar 300 mm dan untuk diameter dalam

- runner turbin yaitu sebesar 200 mm dengan Jarak sudu terpasang pada runner (D_i) adalah sebesar 22,4 mm dan jarak antar sudu (Do) sebesar 33,6 mm dengan jumlah sudu sebanyak 28 buah.
2. Dari perencanaan disain poros turbin penggerak bahwa spesifikasi disain memiliki torsi sebesar $3872,6 \text{ kg/mm}^2$ dan tegangan geser pada poros yang diterima adalah sebesar $4,83 \text{ kg/mm}^2$ dan diameter poros didapatkan nilai sebesar 25 mm.
3. Sedangkan untuk gaya tangensial yang diterima oleh pasak dan poros adalah sebesar 309,8 kg dan tegangan geser yang diijinkan sebesar $3,2 \text{ kg/mm}^2$.

SARAN

Bahwa dalam suatu perencanaan dan perancangan suatu disain diperlukanya pengetahuan mengenai spesifikasi material yang tepat terhadap karakteristik pembebanan yang akan diterima pada saat dioperasikan, sehingga dalam penentuan spesifikasi material yang tepat dapat meningkatkan umur komponen yang lebih panjang dari yang direncanakan pada saat unit dipergunakan.

DAFTAR PUSTAKA

Fernando, Hendrik., 2017, “Rancang Bangun Turbin Crossflow Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Untuk Debit Air $0,18 \text{ m}^3/\text{s}$ dan Tinggi Jatuh Air 4 M (PLTMH)”.

Fritz Dietzel,1992. *Turbin,pompa dan kompresor*. Jakarta: Erlangga

Ho-Yan, Bryan. Lubitz,W David, 2011, Performance evaluation of cross-flow turbine for low head application. World Renewable Energy Congress 2011 – Sweden.

Linsley, Pratinzi dan Djoko sasongko, 1986. Teknik Sumber Daya Air. Jakarta, Erlangga

Mahdi Syukri, Ramdhan Halid , Harry Sukma, 2012, Rancang bangun pembangkit listrik tenaga pikohidro sistem terapung, Seminar Nasional dan ExpoTeknik Elektro (SNETE).

- Pudjanarsa, Astu., Nursuhud, Djati., 2013, Mesin Konversi Energi edisi ke 3. Yogyakarta: Andy Yogyakarta.
- Peterson's, Stress Concentration Factor, 3 penyunt., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2007, p. 174.
- Sulis Yulianto, Fadwah Maghfurah, Munzir Qadri, Koos Sardjono Kuntadi, 2018, Disain Perencanaan Unit Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Tipe Cross Flow Kapasitas 5 Kw, Prosiding Semnastek FT UMJ, TM-002.
- Safiril, 2010, Perencanaan Runner Dan Poros Turbin Cross Flow Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), Padang: Tim Kajian IPTEK Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negri padang.
- Sunarto Edy. M, aretr Alex, Meier. 1991. *Pedoman rekayasa tenaga air seri 2*. Jakarta
- Sularso dan Suga, K., 2013, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen mesin. Jakarta: PT. Pradnya Paramita.
- Peterson's, Stress Concentration Factor, 3 penyunt., New Jersey: John Wiley & Sons, Inc, 2007, p. 174.