https://ejurnalunsam.id/index.php/jurutera

Jurnal Ilmiah jurutera

ISSN 2356-5438

DEVELOPMENT OF A FIBERGLASS COMPOSITE PELTON TURBINE FOR MICRO-HYDROPOWER APPLICATIONS

Alfianda Gustiadinur[1], Nasruddin A. Abdullah[2,*], Nazaruddin Abdul Rachman[3], Fazri Amir[4]
[1,2,3,4)]*Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh - Langsa 24416, Aceh*

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:
Dikirim 31 Mei 2024
Direvisi dari 02 Juni 2024
Diterima 10 Juni 2020
Dipublikasi 30 Juni 2024

***Keywoard's*:**
Air Bersih;
Reverse Osmosis;
Concentrated Solar Power;
Simulasi;
Energi.

DOI:
https://doi.org/10.55377/jurutera.v11i01.7153

A B S T R A K

Saat ini kebutuhan akan energi listrik terus meningkat. Pada umumnya energi listrik dihasilkan menggunakan energi fosil seperti batu bara pada pembangkit listrik tenga uap (PLTU). Pada umumnya PLTU atau pembangkit listrik lainnya menyuplai listrik ke daerah yang memiliki populasi padat seperti dikota – kota besar. Untuk daerah terpencil masih jarang ditemukan akan adanya energi listrik yang disebabkan karena jauhnya daerah tersebut dari kota. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalah tersebut adalah dengan membuat pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH). Pada PLTMH umumnya turbin terbuat dari bahan logam yang memiliki inersia tinggi sehingga menyebabkan rendahnya efisiensi dari PLTMH. Oleh karena itu, pada penelitian ini turbin pada PLTMH diganti dengan menggunakan bahan fiberglass untuk mengetahui ketahanan dari fibergalss terhadap tekanan air yang dioperasikan pada PLTMH. Berdasarkan penelitian yang dilakukan tegangan izin dari fiberglass yang didapat adalah sebesar 11,59801 MPa dengan tekanan air yang diberikan adalah sebesar 0,000985 MPa.

A B S T R A C T

The demand for electricity is continually increasing. Typically, electrical energy is generated using fossil fuels such as coal in thermal power plants. Generally, these power plants or other electricity generators supply power to densely populated areas such as large cities. Remote areas, however, often lack access to electricity due to their distance from urban centers. One solution to this issue is the development of micro-hydropower plants (MHPs). In MHPs, turbines are generally made of metal, which has high inertia and thus leads to lower efficiency. Therefore, this study replaces the turbine in an MHP with one made of fiberglass to assess the material's resistance to the water pressure in MHP operations. Based on the research conducted, the allowable stress for the fiberglass was determined to be 11.59801 MPa, with the water pressure applied to be 0.000985 MPa.

© 2024 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

PENDAHULUAN

Kebutuhan akan energi listrik saat ini semakin meningkat(Adlie, Amir, and Effendi 2015; Suheri et al. 2019). Salah satu penyebab kebutuhan energi listrik meningkat diantaranya adalah semakin banyak produk - produk elektronik yang diproduksi. Selain itu, saat ini kendaraan seperti mobil dan motor yang semula menggunakan mesin pembakaran dalam sebagian telah diganti dengan dinamo. Sehingga dibutuhkan banyak pembangkit listrik untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat. Energi listrik umumnya diperoleh dengan mengkonversikan energi panas yang berasal dari fosil(Timotius 1982).

Energi fosil merupakan energi tak terbarukan yang didapat dari proses pembusukan organisme yang mati ratusan juta tahun lalu(Hidayat 2020). Contoh dari energi fosil ini adalah batu bara, minyak tanah, dan lainnya. Batu bara umumnya digunakan pada pembangkit listrik tenaga uap sebagai pemanas uap untuk memberikan tekanan pada turbin. Dikota – kota besar telah banyak berdiri pembangkit listrik sehingga pada suatu kota kebutuhan akan energi listrik tercukupi. Namun, untuk sebagian tempat yang jauh dari kota seperti di desa terpencil masih jarang ditemukan penggunaan energi listrik(Rohana and

Alamat e-mail: nasruddin@unsam.ac.id (email korespoden)
© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

Zulfikar 2015). Jika desa terpencil dibiarkan terus mengalami kelangkaan listrik maka desa tersebut tidak akan maju dan tidak akan mendukung kemajuan didaerahnya. Salah satu solusi agar desa terpencil mendapat suplai energi listrik adalah dengan membangun pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH)(Damastuti 1997).

Pembangkit PLTMH merupakan salah satu dari berbagai jenis alat konversi energi terbarukan yang memanfaatkan energi aliran fluida untuk menghasilkan energi mekanik yang dapat dikonversi lagi menjadi energi listrik. Pada PLTMH terdapat beberapa komponen penting seperi turbin(Putra, Weking, and Jasa 2018). Turbin merupakan komponen yang berfungsi merubah energi aliran dari fluida menjadi energi mekanik. Pada saat ini telah terdapat berbagai turbin yang digunakan untuk masing – masing sifat fluida untuk menghasilkan efisiensi dari konversi energi yang tinggi. Pada umumnya pada PLTMH turbin yang digunakan adalah turbin pelton dikarenakan memiliki inersia yang rendah sehingga dapat mengkonversi momentum dari fluida yang kecil(Sugiyanto 2015).

Turbin Pelton adalah turbin impuls, mis. turbin yang digerakkan oleh energi kinetik air(Kasus, Pdam, and Wonogiri n.d.). Semburan air berkecepatan tinggi mengenai pelari dan setelah pelari dipindahkan, air keluar dengan kecepatan rendah, yang berarti pelari tidak menyerap energinya. Tekanan air masuk dan keluar dari pisau adalah tekanan atmosfer. Pada turbin Pelton, bilah yang menggerakkan air biasanya terbuat dari logam. Pada pembangkit listrik tenaga air mikro dengan tekanan air rendah, bahan logam sangat berbahaya karena momen inersia yang tinggi. Jika turbin diganti dengan material selain logam maka dikhawatirkan akan terjadi kegagalan pada turbin akibat dari tekanan air yang diberikan. Oleh karena itu, pada penelitian ini sudu turbin Pelton diganti dengan material komposit yang memiliki sifat tegangan dan regangan yang tinggi.

Komposit merupakan material yang terdiri dari dua atau lebih material pembentuk(Law 1985). Pada umumnya material pembentuk komposit memiliki sifat yang berbeda – beda agar terbentuk suatu material komposit yang memiliki sifat tertentu sesuai dengan sifat yang diinginkan. Pada penelitian ini akan dirancang sebuah PLTMH dengan turbinnya menggunakan material komposit untuk mengetahui besar tegangan izin pada sudu turbin berdasarakan besar tekanan air yang diberikan.

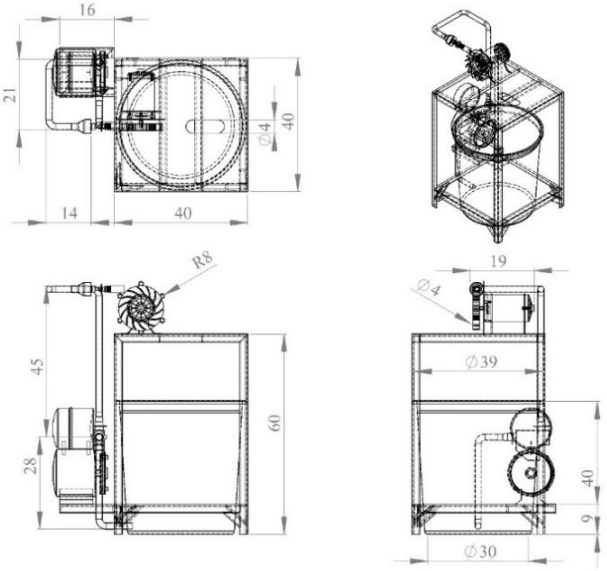
Beberapa peneliti juga telah melakukan penelitian terhadap turbin pelton untuk menghasilkan listrik seperti penelitian yang dilakukan oleh (T Zulfadli et al. 2023), yang menghasilkan daya dari generator 20.000 watt. Dengan berkembangnya teknologi, para peneliti mengembangkan sistem yang sama yaitu dengan menggunakan media turbin pelton untuk menghasilkan pembangkit listrik.

METODE PENELITIAN

DESAIN PEMBUATAN PLTMH

Pada penelitian yang akan di laksanakan penulis merancang gambar PLTMH yang di desain pada software solidwork, untuk lebih jelasnya dapat di lihat pada Gambar 1. Rancangan gambar didapat berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan dan berdasarkan prinsip kerja sistem yang dirancang.

Dalam pembuatannya PLTMH memiliki beberapa komponen diantaranya adalah turbin pelton, poros, rangka, dan penampung air atau fluida kerja. Masing – masing komponen memiliki tahap pembuatannya tersendiri. Untuk lebih jelasnya maka dapat dilihat dibawah ini.

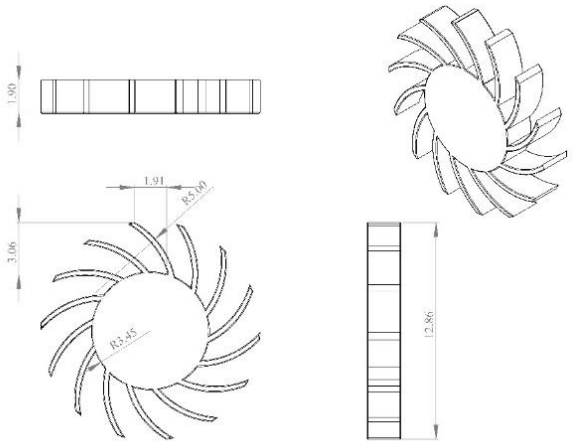


Gambar 1. Desain Pembuatan Turbin Pelton

1. Pembuatan Turbin Pelton

Turbin dibuat dengan menggunakan bahan komposit. Komposit yang digunakan terdiri dari bahan utama berupa fiber glass dan pengikat berupa resin. Komposisi pada komposit yang digunakan pada pembuatan turbin pelton adalah 300 gram resin, 300 gram serbuk tepung talk, dan 1 mm katalis. Dimensi

dari turbin pelton yang dibuat dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Desain Turbin Pelton.

Pada gambar 2 dapat dilihat ukuran dari diameter turbin adalah 6,9 cm dengan tinggi sudu sebesar 3 cm dan lebar dari turbin keseluruhan adalah 1,5 cm. turbin dibuat dengan cetakan berupa tabung. sedangkan untuk sudu dibuat dengan cara membuat lengkungan dari plat aluminium yang disesuaikan dengan ukuran dimensi sudu, lalu meletakkan bahan komposit mentah di bagian aluminium. Selanjutnya sudu yang sudah dicetak dipotong sesuai dimensi pada rancangan.

2. Pembuatan Poros

Poros digunakan untuk menyalurkan daya mekanis yang diperoleh dari turbin untuk memutar generator agar diperoleh energi listrik. Dalam pembuatannya poros harus direncanakan sesuai dengan prinsip perencanaan mesin. Poros yang digunakan berbahan baja carbon C1060. Tahap yang dilakukan dalam pembuatan poros adalah sebagai berikut :

1. Perhitungan daya rencana

   Daya rencana didasarkan pada besar daya maksimum yang bisa didapat oleh generator.
2. Perhitungan momen puntir

   Momen puntir diperlukan untuk mengetahui besar dari tegangan izin yang dapat diterima oleh poros
3. Tegangan izin

   Tegangan izin diperlukan untuk mengetahui besar dari diamter poros yang diperlukan
4. Diameter poros

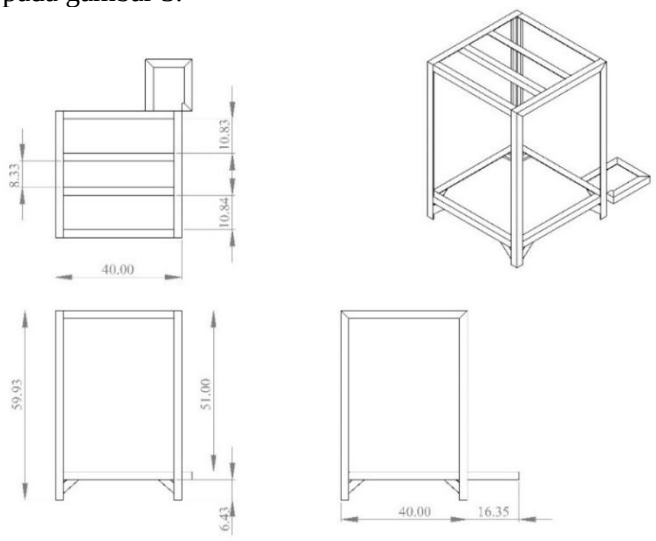
   Diameter poros diperlukan untuk menentukan besar dari diameter yang harus dibuat pada turbin.

Adapun spesifikasi dari baja carbon C1060 adalah sebagai berikut :

1. Kekuatan tarik maksimum = 877 N/m^2
2. Angka keamanan penggunaan/ safety faktor (sf1) = 6 sf1
3. Faktor keamaan tergantung bentuk poros (sf2) = 1,3 – 3.0
4. Koefisien koreksi (Kt) = 1,3 – 3,0
5. Untuk beban yang dikenakan halus maka nilai kt = 1,0
6. Jika terjadi kejutan (Cb) = 1,0 – 1,5.

3. Pembuatan Rangka

Rangka ini berfungsi sebagai dudukan dari sistem turbin Pelton yakni, tempat dudukan turbin, rumah turbin dan penampungan air. Rangka dibuat dengan menggunakan besi baja berukuran 25 x 25 x 0,75 mm. Untuk desain dari rangka maka dapat dilihat pada gambar 3.

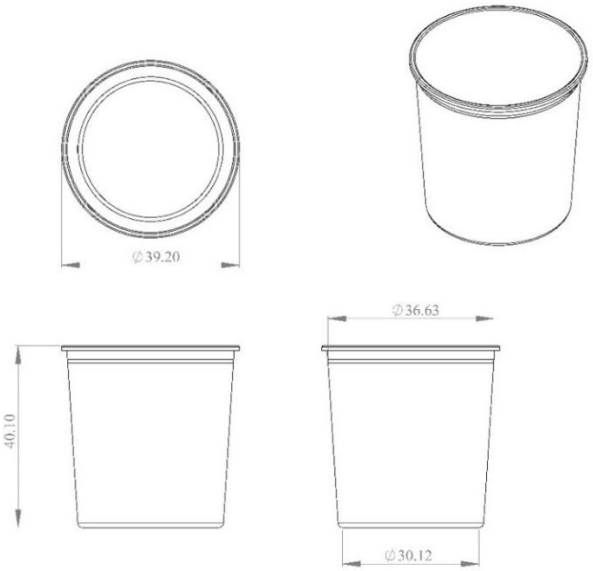


Gambar 3. Desain Rangka.

4. Pembuatan Penampung

Penampung digunakan sebagai tempat untuk mensirkulasikan fluida kerja. Dimensi dari penampung air ini dapat dilihat pada gambar 4 dibawah ini.

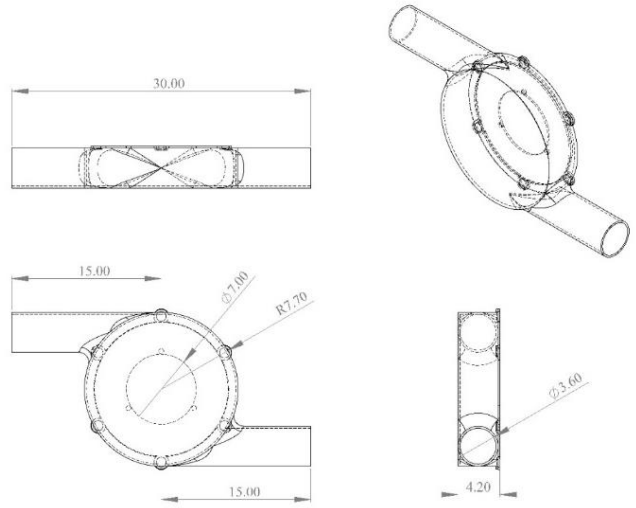
© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra



Gambar 4. Desain Penampung

5. Pembuatan Rumah Turbin

Untuk mengarahkan fluida kerja agar mengenai sudu turbin dan untuk menjaga air jatuh kepenampung maka dibuat rumah turbin. Rumah turbin dibuat disesuaikan dengan ukuran dari turbin pelton. Dimensi dari rancangan rumah turbin dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 5. Desain Rumah Turbin.

6. Pengujian Kekuatan Tekan Turbin Pelton

Turbin pelton yang telah dibuat menggunakan bahan komposit selanjutnya diuji untuk mengetahui besar tegangan maksimum yang dapat diperoleh dari turbin. Pengujian yang dilakukan adalah dengan menggunakan mesin universal testing machine (UTM) agar didapat grafik tegangan dan regangan. Berdasarkan grafik tegangan dan regangan maka dapat diperoleh tegangan izin yang ingin diketahui.

7. Pengukuran Besar Tekanan Air

Untuk mendapatkan nilai tegangan dari sudu turbin maka ditentukan berdasarkan tekanan air dari pompa menggunakan alat ukur pressure gauge. setelah didapat tekanan dari air maka dapat digunakan persamaan 1 untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada sudu turbin. Tegangan yang terjadi pada setiap benda dapat dicari menggunakan persamaan dibawah ini

$$P = \frac{F}{A} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1)$$

Dimana :
P = Tegangan pada benda (N/mm^2)
F = Gaya yang diberikan pada benda (N)
A = Luas penampang benda (mm^2)

Karena pada pengujian ini rangka PLTMH bersirkulasi maka berlaku hukum kontuinitas dan persamaan bernouli dapat diaplikasikan untuk mendapatkan tekanan air yang mengalir disetiap tempat. Persmaan bernouli dapat dilihat pada persamaan 2.

$$P_1 + \rho.g.h_1 + \frac{1}{2}.\rho.{v_1}^2 = C \ldots\ldots (2)$$

Tegangan pada ujung sudu turbin juga dapat dicari dengan menggunakan persamaan 1.

$$U_1 = K_{u1}.\sqrt{2.g.H_{ef}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

Dimana :
U_1 = kecepatan air pada ujung sudu turbin (m/s)
g = percepatan gravitasi (m/s^2)
K_{u1} = perbandingan kecepatan pada roda turbin

Pada persamaan 2 dapat dicari besar kecepatan air yang menumbuk bagian ujung sudu turbin. Tekanan dapat diperoleh menggunakan gaya pada air yang menumbuk sudu turbin. Gaya dari air diperoleh menggunakan persamaan 3.

$$\sum \vec{F} = m\,.\,\vec{a} = \frac{d}{dt}\left(m\,.\,\overrightarrow{U_1}\right) \ldots\ldots (4)$$

Dimana : m = massa air (kg)
dt = perubahan waktu (s).

Setelah gaya pada air didapat maka dapat digunakan persamaan 1 untuk mendapatkan nilai tegangan yang terjadi pada sudu turbin.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Desain dan Pembuatan

Dalam pembuatan turbin pelton maka terdapat beberapa komponen yang harus dibangun terlebih dahulu untuk proses pengujian turbin pelton. Beberapa hal yang harus dibangun terlebih dahulu antara lain adalah tabung penampung air, rumah turbin, dan poros. Setelah komponen – komponen tersebut selesai dibangun maka dibangun turbin pelton.

2. Pembuatan Rangka Pembangkit

Pembuatan rangka bertujuan agar motor dan yang lainnya dapat diletakkan pada tempat tertentu agar proses pembangkitan listrik dapat dijalankan. Rangka dibuat dengan menggunakan besi baja berukuran 25 x 25 x 0,75 mm. Proses pembuatan rangka dimulai dengan pemotongan dengan ukuran sesuai yang tertera pada gambar 5 yang selanjutnya dilakukan pengelasan untuk penyusunan rangka. Desain dan hasil dari rangka yang telah dibuat dapat dilihat pada gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Rangka Pembangkit

Pada gambar 6 diatas dapat dilihat bahwa turbin air terletak pada bagian atas sehingga diperlukan alat untuk memindahkan posisi air dari bawah keatas. Untuk itu digunakan pompa sebagai alat penggerak fluida untuk mengalirkan air agar proses pembangkitan dapat dilakukan. Pompa yang digunakan dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Pompa Air

3. Pembuatan Tabung Penampung Air

Tabung penampung air dibuat menggunakan material plastik sintesis dengan ukuran volume sebesar 0,00553582 m^3 yang dapat dilihat pada gambar 8. Pada gambar 8 dapat dilihat diameter bawah bagian penampung air berukuran sebesar 46 cm dengan diameter bagian atasnya adalah 43 cm. Penampung air ini dibuat agak tinggi untuk mengatasi air yang akan terbuang akibat percikan air yang jatuh ke bagian penampung air. Pada bagian samping dibuat lubang dengan diameter 1 inci sebagai tempat dimana air akan dihisap oleh pompa air untuk menguji kinerja turbin.



Gambar 8. Tabung Penampung Air Yang Telah Dibuat

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

4. Pembuatan Rumah Turbin

Rumah turbin dibuat disesuaikan dengan ukuran diameter turbin. Rumah turbin dibuat dari material kaca akrilik untuk melihat terjadinya kontak air dengan turbin pelton dan untuk melihat terjadinya putaran pada turbin pelton. Pada gambar 9 dapat dilihat rumah turbin yang dibuat memiliki beberapa lubang yang dibuat dengan bor tangan untuk tempat dimana baut diletakkan. Penggunaan baut ditujukan sebagai pengikat dari penutup rumah turbin yang diberi dengan lem agar tidak terjadi kebocoran. Pada pembuatannya kaca akrilik dipanaskan terlebih dahulu sehingga akan mudah untuk dibentuk.



Gambar 9. Rumah turbin yang telah dibuat

5. Pembuatan Poros Turbin

Pada penelitian ini poros yang digunakan untuk pengoperasian turbin Pelton adalah material baja carbon C1060. Untuk menentukan dimensi dair poros maka disesuaikan dengan sifat material poros. Material baja carbon C1060 yang akan digunakan pada penelitian ini mempunyai spesifikasi sebagai berikut:

a. Kekuatan tarik maksimum = 877 N/m^2
b. Angka keamanan penggunaan/ safety faktor (sf1) = 6 sf1
c. Faktor keamaan tergantung bentuk poros (sf2) = 1,3 – 3.0
d. Koefisien koreksi (Kt) = 1,3 – 3,0
e. Untuk beban yang dikenakan halus maka nilai kt = 1,0
f. Jika terjadi kejutan (Cb) = 1,0 – 1,5
g. Perhitungan Terhadap Daya Rencana

Dik : Dari Spesifikasi Pompa
Daya (P) = 46 volt, maximum (15 Watt)

Rpm = 1500

a. Daya perencanaan (Pd)

Pd = Fc × P

Pd = 1,2 × 15 Watt

Pd = 18 Watt

b. Momen puntir pada poros

$$Mp = \frac{Pd}{\omega} = \frac{60\ Pd}{2 \times \pi \times n} = \frac{60\ .18}{2\ .\ 3{,}14\ .\ 1500} = 0{,}11\ \text{Nm}$$

c. Tegangan Izin

$$\tau a = \frac{\tau b}{Sf1 \times Sf2}$$

τb = Kekuatan tarik maksimum

$Sf1$ = Faktor keamanan material (6)

$Sf2$ = Faktor keamanan poros (1,2)

$$\tau_a = \frac{877\ N/m^2}{6\ .\ 1{,}2} = 121{,}8\ N/m^2$$



Gambar 10. Poros Yang Telah Dibuat

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

d. Diameter Poros

$$d_p = \left[\frac{5,1}{\tau_a}.K_t.C_b.M_p\right]^{1/3}$$

d_p = Diameter poros (mm)

$$d_p = \left[\frac{5,1}{121,8\ N/mm^2}.1,3.1.11.000\ Nmm\right]^{1/3}$$

$$= 8,428\ mm$$

6. Turbin pelton

Pelton dibuat dari bahan fiber glass. Fiber glass dibuat menggunakan campuran antara resin, serbuk tepung talk, dan katalis. Dalam pembuatannya dicampurkan 300 gram resin, 300 gram serbuk tepung talk, dan 1 mm katalis. Pada gambar 11 dapat dilihat proses pembuatan fiber glass berbentuk turbin. Turbin dibuat dengan cetakan berbentuk turbin yang desainnya dapat dilihat pada gambar 2. Jumlah sudu yang dibuat pada turbin pelton ini adalah 13 dengan panjang setiap sudu adalah 9,5 cm.

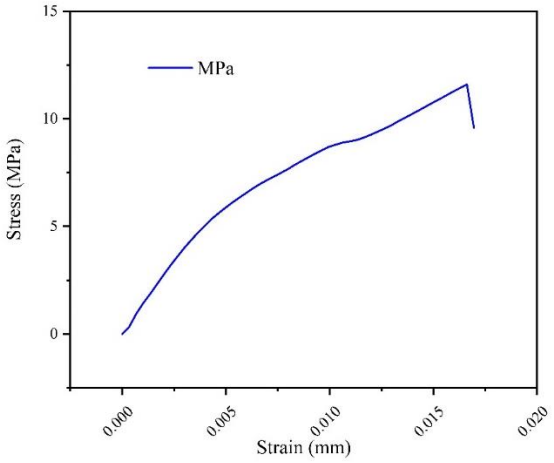


Gambar 11. Turbin Pelton Yang Telah Dibuat

7. Uji Tekan Material Turbin

Untuk mengetahui batas tekanan air yang diizinkan untuk pengujian turbin maka dilakukan pengujian kekutan pada sudu turbin yang dapat dilihat pada gambar 12.

Pada gambar 12 dapat dilihat pengujian uji tarik yang dilakukan menunjukkan bahwa pada beban 0,005907 MPa belum terjadi deformasi pada turbin pelton. Pada beban 11,59801 MPa yang diberikan konstan terjadi deformasi plastis sebesar 0,016615 mm. Selanjutnya pada beban yang terus diberikan sebesar 9,58 MPa benda mengalami kerusakan. Berdasarkan analisa dan pengujian eksperimental maka pengujian yang dilakukan tidak akan merusak turbin yang akan diuji.



Gambar 12. Hasil Pengujian Tekan Terhadap Material Turbin *Fiberglass*

8. Analisa Besar Tekanan Air

Tekanan air diperoleh berdasarkan spesifikasi dari pompa. Pada pompa yang digunakan besar debit maksimal yang digunakan adalah 28 L/menit dengan massa jenis air ρ = 1.000 kg/m^3. Tekanan air didapatkan berdasarkan spesifikasi pompa yaitu 1,8 kgf/m^2 (0,17 MPa). Besar tekanan yang mengalir melalui nozzle didapat menggunakan persamaan bernouli.

$$v_1 = \frac{0,028\ m^3/60\ s}{\pi/4.(0,01905\ m)^2} = 1,64\ m/s$$

Kecepatan aliran pada nozzle sebesar v_2 yaitu :

$$v_2 = \frac{0,028\ m^3/60\ s}{\pi/4.(0,013\ m)^2} = 3,53\ m/s$$

Oleh karena itu, maka dapat ditentukan tekanan air pada nozel yang mengenai sudu turbin sebagai P2 dengan besar ketinggian antara head pompa dengan nozzle adalah h2 = 0,73 m adalah

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra

$$170.000\ Pa + 1.000\ .\ 10\ .\ 0\ + \frac{1}{2}.\ 1.000\ .\ (1{,}64)^2 = P_2 + 1.000\ .\ 10\ .\ 0{,}73 + \frac{1}{2}\ .\ 1.000\ .\ (3{,}53)^2$$

$$P_2 = 157.814{,}35\ Pa = 0{,}157\ MPa$$



Gambar 13. Nozel

Untuk menghitung tegangan yang terjadi pada sudu turbin maka tekanan air harus diubah dalam bentuk gaya. Untuk merubah tekanan air pada bentuk besaran gaya maka digunakan persamaan 1 dengan tekanan merupakan tekanan air P2 dan luas penampang diasumsikan sebagai luas penampang nozzle aliran keluar air sebesar 8 mm^2. Oleh karena itu, maka gaya yang diberikan pada air adalah sebesar 1,256 KN.

$$F = P.A$$
$$F = 0{,}157\ MPa\ .\ 6{,}28.10^{-6} m^2$$
$$F = 0{,}985\ N$$

Selanjutnya untuk menghitung tekanan yang terjadi pada sudu turbin menggunakan persamaan 1 maka luas penampang sudu turbin digunakan. Luas penampang sudu turbing adalah sebesar 10 cm^2. Oleh karena itu, maka didapat besar tegangan yang terjadi pada sudu turbin adalah sebesar 0,000985 MPa.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$
$$\sigma = \frac{0{,}985\ N}{0{,}001\ m^2} = 985\ Pa = 0{,}000985\ MPa$$

KESIMPULAN

Adapun dari rancang bangun yang telah dilakukan didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain dari turbin pelton yang telah dibuat dan dirangcang dari material fiberglass untuk pembuatan PLTMH terdiri dari 13 sudu dan panjang masing – masing sudu sebesar 3 cm. Material poros dengan bahan baja berupa C1060 berdasarkan perencanaan memiliki diameter sebesar 8,428 mm. Rangka PLTMH berbahan baja siku dengan ukuran tinggi sebesar 60 cm. Rumah turbin berbahan akrilik dengan volume penampung air sebesar 0,00553582 m^3.
2. Dari uji eksperimental yang dilakukan bahwa pada beban 11,59801 MPa yang diberikan konstan terjadi deformasi plastis sebesar 0,016615 mm. Selanjutnya pada beban yang terus diberikan sebesar 9,58 MPa benda mengalami kerusakan. Oleh karena itu, tegangan izin yang didapat berdasarkan pengujian adalah lebih kecil dari 11,59801 MPa.
3. Tekanan air yang didapat menggunakan pompa adalah sebesar 0,000985 MPa. Sehingga jika diaplikasikan pada PLTMH tidak akan merusak sudu turbin.

DAFTAR PUSTAKA

Adlie, Taufan Arif, Fazri Amir, and Zulfan Effendi. 2015. 'Analisa Biaya Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Di Wilayah Pesisir Kota Langsa'. *Jurutera* 2(02): 1–7. http://jurnal.unsam.ac.id/index.php/jurutera/article/view/573 (December 3, 2022).

Damastuti, Anya P. 1997. 'P l t m'. 7(8): 11–12.

Hidayat, Firman. 2020. 'ANALISIS BREAK EVEN POINT (BEP) POMPA LISTRIK TENAGA MODUL SURYA Mencapai Derajat Sarjana S1 Disusun Oleh : Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia Yogyakarta LEMBAR PENGESAHAN ANALISIS BREAK EVEN POINT (BEP) POM'.

Kasus, Stiidi, D I Pdam, and Kabtipaten Wonogiri. 'Kecamatan Jatinom'. : 54–63.

Law, Brenda M. 1985. 'Rawlings'. *The Musical Times* 126(1712): 583. doi:10.2307/964910.

Putra, I Gede Widnyana, Antonius Ibi Weking, and Lie Jasa. 2018. 'Dengan Menggunakan Turbin

Archimedes Screw'. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro* 17(3): 641–57.

Rohana, and Zulfikar. 2015. 'Laporan Akhir Tahun Hibah Bersaing Optimalisasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya Untuk Meningkatkan Kapasitas Daya Listrik'. *Kumpulan Penelitian Dosen* 1(1): 10–45.

Sugiyanto, Didik. 2015. 'TURBIN KAPLAN SEBAGAI PENGGERAK MULA Abstrak'. : 171–80.

Suheri, Suheri, Suri Purnama Febri, Zainal Arif, and Fazri Amir. 2019. 'Kajian Penggunaan Pembangkit Listrik Photovoltaik Atap Sebagai Upaya Implementasi Green Campus'. *JURUTERA - Jurnal Umum Teknik Terapan* 6(02): 14–18. doi:10.55377/JURUTERA.V6I02.1911.

Timotius, Chris. 1982. 'Potensi Energi Panas Bumi Di Indonesia'. : 1–10.

•TAR

© 2024 ISSN 2356-5438. Fakultas Teknik Universitas Samudra