

**PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO**



**AHMAD NURHUDA
2012 / 1203083
PENDIDIKAN TEKNIK MESIN**

**JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2016**

HALAMAN PERSETUJUAN JURNAL SKRIPSI

**PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK
TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO**

Nama : Ahmad Nurhuda
Nim/ BP : 1203083/ 2012
Program Studi : Pendidikan Teknik Mesin
Fakultas : Teknik

Padang, Februari 2016

Disetujui Oleh :

Pembimbing I



Drs. Hasanuddin, M.Si.
NIP. 19550520 198003 1 005

Pembimbing II



Arwizet K, S.T., M.T.
NIP. 19690920 199802 1 001

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Arwizet K, S.T., M.T.
NIP. 19690920 199802 1 001

PERANCANGAN TURBIN CROSSFLOW UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO BUKIT BIOBIO

CROSSFLOW TURBINE DESIGN FOR BUKIT BIOBIO MICROHYDRO POWER

Ahmad Nurhuda⁽¹⁾, Drs. Hasanuddin, M.Si.⁽²⁾, Arwizet K. S.T., M.T.⁽³⁾
^{(1), (2), (3)}Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang
Kampus Air Tawar, Padang 25131, Indonesia
ahmadnh369@gmail.com
San_Oniakino@telkom.net
arwizet@yahoo.com

Abstrak

Bukit biobio merupakan desa yang belum mendapatkan listrik PLN. Sementara itu, Bukit biobio memiliki potensi dalam pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) dari air terjun Baburai dengan debit air 200 l/s dan tinggi jatuh air 20 m. Turbin Crossflow menjadi pilihan yang tepat dalam perancangan PLTMH Bukit Biobio karena memiliki beberapa kelebihan diantaranya, beroperasi pada debit besar dengan tinggi jatuh air rendah dan proses pembuatan yang lebih mudah dan kokoh. Tujuan perancangan ini adalah untuk menghasilkan sebuah rancangan turbin Crossflow untuk Bukit Biobio yang terdiri dari perhitungan *losses*, *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin, generator, *pulley* dan *belt*.

Jenis penelitian ini adalah studi kasus dalam perancangan turbin Crossflow, dimana hasil data perencanaan turbin Crossflow diperoleh melalui pengukuran debit dan tinggi jatuh air menggunakan metode *float*. Metode yang digunakan terdiri dari data perancangan, penganalisisan dan pendesainan turbin Crossflow untuk mendapatkan gambaran terhadap potensi PLTMH Bukit Biobio.

Hasil analisis perancangan menunjukkan bahwa dengan debit air 200 l/s dan tinggi jatuh air 20 m, diameter pipa 0,35 m, diameter runner 0,20 m, dan panjang pipa 28 m dapat menghasilkan daya turbin Crossflow 23,3 kW dengan efisiensi turbin crossflow 70 %, efisiensi transmisi 97 %, efisiensi generator 90,3 % dan total lossesnya 0,63 m.

Kata Kunci: Bukit Biobio, Debit, Tinggi air, Turbin Crossflow.

Abstract

Bukit biobio is a village that has not been getting the electricity from PLN. Meanwhile, Bukit Biobio has potential in the development of micro hydro power plant (MHP) from the waterfall Baburai with water discharge of 200 l/s and 20 m high water fall. Crossflow turbines is the right choice in the design of the MHP Bukit Biobio because it has several advantages including, operate on a large discharge with high water fall lower and manufacturing process easier and sturdiness. The purpose of this design is to produce a design for Bukit Biobio Crossflow turbines that consist of calculating losses, power, pressure in the pipe, the size of the turbine, generator, pulley and belt.

This research is a case study in the design of turbines Crossflow, where the results of Crossflow turbine planning data obtained by measuring water discharge and the height water fall using the float method. The method used consists of designing the data, analyzing and designing turbines Crossflow to get an idea of the potential of MHP Bukit Biobio.

Analysis design results show that the water discharge 200 l/s and 20 m high water fall, the pipe diameter of 0.35 m, 0.20 m runner diameter and length of pipe 28 m Crossflow turbines can generate power 23.3 kW with an efficiency of turbine crossflow 70%, 97% transmission efficiency, generator efficiency 90.3% and total lossesnya 0.63 m.

Keywords: Bukit Biobio, Water Discharge, High Water, Turbine Crossflow.

I. Pendahuluan

A. Latar Belakang

Indonesia sebagai salah satu Negara berkembang di dunia terus mengalami peningkatan kebutuhan energi. Peningkatan kebutuhan energi meliputi sektor industri, transportasi, rumah tangga dan lain sebagainya. Energi fosil khususnya minyak bumi, merupakan sumber energi utama dan sumber devisa Negara. Kenyataan menunjukkan bahwa cadangan energi fosil yang dimiliki Indonesia jumlahnya terbatas. Sementara, konsumsi energi terus meningkat. Oleh karena itu, perlu dikembangkan sumber energi terbarukan yang dapat menggantikan sumber energi berbasis fosil yang tidak ramah lingkungan.

Air merupakan salah satu sumberdaya alam yang tidak ada habisnya. Secara konstan tersedia melalui siklus global, evaporasi dan pengembunan. Panas dari sinar matahari menyebabkan air danau dan air laut menguap dan membentuk awan. Air kemudian jatuh kembali ke bumi melalui hujan dan mengalir ke sungai kemudian kembali ke laut. Melalui proses mekanik, aliran air dapat digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator yang akan menghasilkan energi listrik.

Pembangkit listrik tenaga air di Indonesia memang sudah ada seperti PLTA Singkarak, PLTA Maninjau, PLTA Asam-Asam, PLTA Jelok, PLTA Lamajan, PLTA Asahan dan lain-lain. Namun, masih banyak aliran sungai yang belum dimanfaatkan menjadi pembangkit listrik terutama dalam menghasilkan daya yang lebih kecil. Sementara itu, PLN belum dapat melayani distribusi listrik sampai ke desa-desa terpencil, padahal banyak desa terpencil yang memiliki potensi sumberdaya air yang dapat dikembangkan menjadi PLTMH.

Bukit bio-bio merupakan salah satu dari 14.198 desa di Indonesia yang belum mendapatkan pasokan energi listrik dari PLN. Salah satu penyebabnya adalah letak geografis yang tidak mendukung dan lemahnya perekonomian masyarakat untuk membangun jaringan listrik PLN. Dilihat dari potensial, Bukit bio-bio memiliki potensi dalam pengembangan di bidang pertanian dan objek wisata air terjun. Air terjun Baburai merupakan sumber mata air dalam pemenuhan kebutuhan pertanian sekitar. Sehingga belum memanfaatkan secara maksimal potensi air terjun tersebut dibidang pembangkit listrik.

Menurut Sutamo (1993) dalam bukunya sistem listrik mikrohidro untuk kelistrikan desa, mengemukakan faktor pendorong perlu dibangunnya suatu PLTMH pada suatu daerah adalah sebagai berikut:

1. Di daerah itu ada sumber air yang dapat dimanfaatkan untuk PLTMH.
2. Daerah tersebut sulit atau cukup jauh untuk dijangkau jaringan listrik PLN. Kalupun akan dipasang biayanya terlalu mahal.
3. Jarak antara pembangkit dengan daerah konsumen tidak terlalu jauh.
4. Adanya minat dan keinginan dari penduduk setempat untuk menggunakan tenaga listrik. Ada kemampuan untuk berswadaya, dan lebih utama lagi apabila ada industri rumah misalnya dimungkinkan akan lebih berkembang dengan adanya tenaga listrik.

Pemilihan jenis turbin yang digunakan sangat tergantung dari besarnya debit air dan tinggi jatuh air yang tersedia, besarnya harga dari debit dan tinggi jatuh air ini didapatkan dari hasil survei ke lapangan yang menunjukkan bahwa debit air terjun baburai 200 l/s dan tinggi jatuh air 20 m.

Berdasarkan perbandingan karakteristik turbin berdasarkan head (m) dengan flow (m^3/s), turbin air yang lebih cocok untuk PLTMH di Bukit Biobio adalah jenis turbin Kaplan. Namun karena proses produksi turbin Kaplan sulit, maka penulis mencoba merancang turbin Crossflow.

Turbin Crossflow merupakan turbin impuls dengan aliran radial. Awal dalam pengembangan turbin Crossflow di Nepal didasarkan pada teori Profesor Donat Bangki yang mempatenkan konsepnya sekitar tahun 1920. Turbin Crossflow sekarang ini sudah jarang dipakai, hal ini disebabkan adanya model turbin air yang modren seperti turbin Francis, turbin Pelton dan Kaplan. Tetapi bagaimanapun juga, turbin Crossflow mempunyai keunggulan dibandingkan turbin jenis lainnya yaitu lebih cocok untuk daerah yang memiliki debit yang besar dan tinggi jatuh air yang relatif rendah serta proses produksi turbin Crossflow yang mudah dan murah.

Berdasarkan uraian di atas, maka penulis ingin melakukan "*Perancangan Turbin Crossflow Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Bukit Biobio*".

B. Identifikasi Masalah

Bertolak dari latar belakang di atas, maka dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang ada yaitu:

1. Adanya air terjun yang belum dimanfaatkan secara penuh dalam pembangunan PLTMH.
2. Adanya 10 rumah yang belum mendapatkan energi listrik dari PLN yang diakibatkan beberapa faktor seperti faktor ekonomi dan faktor letak geografis.

3. Bukit Biobio memiliki potensi dalam pengembangan pariwisata alam/ air terjun dan hasil pertanian seperti padi dan kelapa.

C. Batasan Masalah

Mengacu pada identifikasi masalah di atas, maka agar pembahasan ini terfokus dan dikarenakan keterbatasan yang dimiliki oleh Penulis, maka Penulis memberikan batasan masalah yaitu

1. Perancangan turbin Crossflow yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*;
2. Tidak membahas aspek sosial;
3. Tidak membahas konstruksi sipil;

Penulis akan menggunakan buku panduan energi terbarukan sebagai referensi dalam hal perancangan turbin Crossflow dan menggunakan software Autodesk Inventor dalam pembuatan desainnya.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah dan untuk lebih terarahnya penulisan ini, serta tujuan yang ingin dicapai dan terhindar dari kesimpang siuran dalam pembahasan, maka penulis memberikan rumusan masalah.

Rumusan masalah yang penulis maksud adalah bagaimana merancang turbin Crossflow dengan debit 200 l/s dan jatuh air 20 m, yang meliputi perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*.

E. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan yang ingin dicapai adalah untuk menghasilkan sebuah rancangan turbin Crossflow yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*. Sehingga bisa menjadi pedoman dalam pengembangan turbin Crossflow nantinya.

F. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan setelah penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi penulis
 - a. Mengaplikasikan ilmu-ilmu yang didapat ketika perkuliahan.
 - b. Sebagai bekal dalam pengembangan energi baru dan terbarukan khususnya dalam pengembangan turbin air Crossflow.

2. Bagi dunia pendidikan
 - a. Sebagai acuan dalam upaya penerapan PLTMH turbin Crossflow.
 - b. Sebagai referensi dalam perancangan turbin Crossflow selanjutnya.

II. Metoda Penelitian

A. Jenis Penelitian

Berdasarkan pokok masalah yang dibahas dalam bab sebelumnya, maka skripsi ini berbentuk studi kasus dalam perancangan turbin Crossflow yang terdiri dari perhitungan *losses*, perhitungan *power*, tekanan dalam pipa, ukuran turbin Crossflow, generator, *pulley* dan *belt*.

B. Waktu dan Tempat

Waktu pelaksanaan penelitian dilakukan pada semester juli - desember 2015 dalam jangka waktu 4 bulan, mulai dari pengajuan judul, pembuatan proposal, bimbingan proposal, seminar proposal, survei, proses perancangan/ analisis turbin Crossflow dan pembuatan skripsi. Adapun tempat penelitian dilaksanakan adalah di air terjun Bukit Biobio, Kabupaten Padang Pariaman.

C. Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah meteran, stopwatch dan tali yang berfungsi untuk pengukuran debit sungai menggunakan metode *float* dan mengukur tinggi jatuh air. Alat ukur tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 di bawah ini.



Gambar 2.1. (a) meteran, (b) stopwatch, (c) tali

D. Pelaksanaan Kegiatan

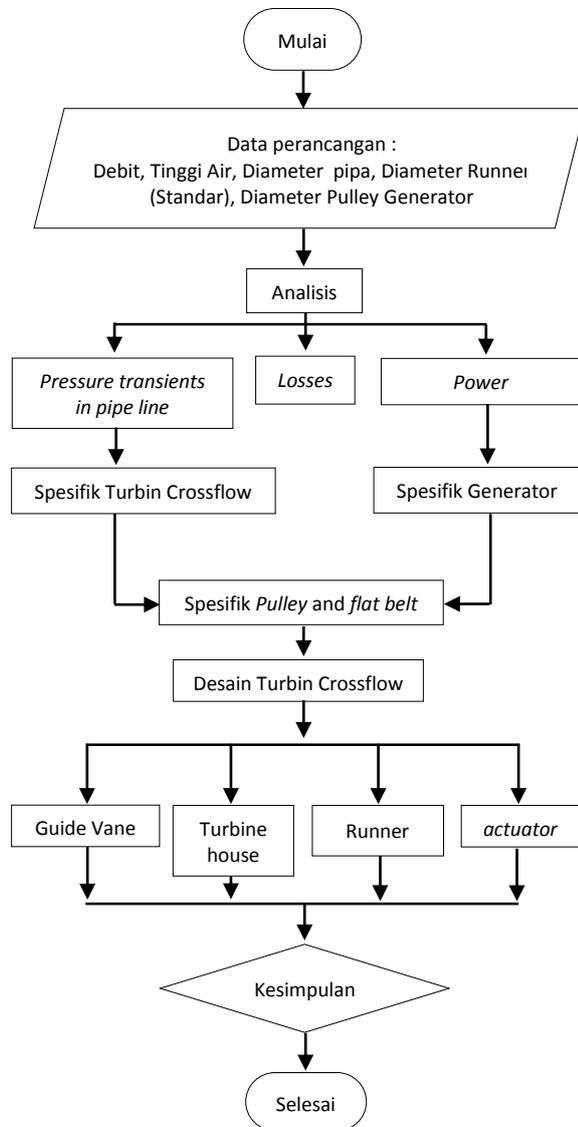
Pelaksanaan kegiatan dilaksanakan sesuai dengan jadwal pelaksanaan yang direncanakan selama empat bulan. Jadwal pelaksanaannya adalah studi pustaka dan studi lapangan, pengajuan judul, bimbingan proposal, seminar proposal, perancangan/ analisis teoritis, ujian akhir dan perbaikan skripsi.

E. Pengolahan Data

Metode pengolahan data penelitian dilakukan dengan perhitungan matematis yang menerapkan

beberapa persamaan seperti perhitungan daya yang dihasilkan oleh air.

F. Perancangan PLTMH Turbin Crossflow



Gambar 2.2. Metode PLTMH turbin Crossflow

III. Hasil Pembahasan

A. Perhitungan Losses

1. Design Flow (Q)

Berdasarkan dari hasil survei ke lapangan, air terjun Bukit Biobio memiliki debit yang cukup besar yaitu $0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $200 \text{ liter}/\text{s}$, Penulis memilih metode pengukuran debit air terjun menggunakan metode *float* yang sederhana dan cukup akurat, tergantung dari jumlah titik pengukuran yang digunakan. Semakin banyak jumlah titik pengukuran, maka tingkat akurasi debit semakin tinggi, begitu juga sebaliknya. Oleh sebab itu, debit rencana yang digunakan adalah

$0,2 \text{ m}^3/\text{s}$ atau $200 \text{ liter}/\text{s}$ dengan mengabaikan konsumsi air terhadap kebutuhan air terjun tersebut.

2. Design Inner Diameter of Pipe (D)

Berdasarkan kecepatan rata-rata maksimum yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik, adalah $2,8 \text{ m}/\text{s}$. Maka Penulis menggunakan diameter pipa dalam *penstock* sebesar $0,35 \text{ m}$. Karena hal ini erat kaitannya terhadap kecepatan rata-rata air dalam pipa *penstock* yang dihasilkan.

3. Kedalaman Air Dari Atas Pipa Kepermukaan Bak (d)

Menentukan kedalaman air dari atas pipa kepermukaan bak dapat dicari dengan menggunakan pers. 4.1.

$$\left[d = 0,89 + \frac{Q \times \sqrt{D}}{D^2} \quad (m) \right] \dots \text{Pers. 4.1.}$$

$$d = 0,89 + \frac{0,2 \text{ m}^3/\text{s} \times \sqrt{0,35 \text{ m}}}{(0,35 \text{ m})^2}$$

$$d = 1,855 \text{ m}$$

Pers. 4.1. adalah untuk *penstock* yang tegak lurus terhadap aliran air.

$$\left[d = 0,69 + \frac{Q \times \sqrt{D}}{D^2} \quad (m) \right] \dots \text{Pers. 4.2.}$$

Pers. 4.2. adalah untuk *penstock* yang searah terhadap aliran air.

4. Pipe Area (A)

Menentukan luas permukaan pipa, maka digunakanlah rumus untuk mencari luas lingkaran melalui pers. 4.3.

$$\left[A = 3,14 + \left(\frac{D}{2} \right)^2 \quad (m^2) \right] \dots \text{Pers. 4.3.}$$

$$A = 3,14 + \left(\frac{0,35 \text{ m}}{2} \right)^2$$

$$A = 0,10 \text{ m}^2$$

5. Friction Factor (γ)

Friction factor yang penulis gunakan adalah sebesar $0,003 \text{ m}^2/\text{s}$.

6. Pipe Length (L)

Perencanaan panjang pipa *penstock* dengan $\alpha = 45^\circ$ dan tinggi air 20 m , maka total panjang *penstock* yang didapatkan adalah $L = 28 \text{ m}$.

7. Average Velocity (V)

Menentukan kecepatan air dalam pipa, maka dapat dicari dengan menggunakan pers. 4.4.

$$\left[V = \frac{Q}{A} \quad (m/s) \right] \dots \text{Pers. 4.4}$$

$$V = \frac{0,2 \text{ m}^3/s}{0,1 \text{ m}^2} = 2,08 \text{ m/s}$$

8. Gravity Constant (g)

Nilai gravitasi yang Penulis gunakan adalah $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

9. Kinematic Viscosity (ν)

Standar nilai kekentalan air adalah $\nu = 1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

10. Reynolds Numbers (Re)

Menentukan bilangan Reynolds, dapat dicari dengan pers. 4.5.

$$\left[Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \right] \dots \text{Pers. 4.5.}$$

$$Re = \frac{2,08 \text{ m/s} \cdot 0,35 \text{ m}}{1 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}}$$

$$Re = 7,28E + 05$$

11. Absolute Roughness of Pipe Material (k)

Nilai kekasaran *absolute* pada material pipa yang Penulis gunakan berdasarkan CV. Prowater Multi Teknik adalah sebesar $k = 0,05 \text{ mm}$.

12. Relative Roughness of Pipe Material (k/d)

Nilai kekasaran relatif pada material pipa yang Penulis gunakan berdasarkan CV. Prowater Multi Teknik adalah melalui pers. 4.6.

$$\left[k/d = \frac{k}{D \times 1000} \right] \dots \text{Pers. 4.6.}$$

$$k/d = \frac{0,05 \text{ mm}}{0,35 \text{ m} \times 1000}$$

$$k/d = 1,4E - 04$$

13. Friction Losses (H_f)

Panjang losses akibat gesekan yang terjadi di dalam pipa dapat di tentukan dengan pers. 4.7.

$$\left[H_f = \frac{\gamma \cdot L \cdot v^2}{2 \cdot D \cdot g} \quad (m) \right] \dots \text{Pers. 4.7.}$$

$$H_f = \frac{0,003 \text{ m}^2/\text{s} \cdot 28 \text{ m} \cdot (2,08 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 0,35 \text{ m} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$H_f = 0,053 \text{ m}$$

14. Losses For Inlet

Nilai losses yang terjadi berdasarkan sudut masukan pipa yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik adalah 0,040 untuk sudut 45° , dapat di cari melalui pers. 4.8.

$$\left[Value = coeff \times Qty \right] \dots \text{Pers. 4.8.}$$

$$Value = 0,040 \times 1$$

$$Value = 0,04$$

15. Losses For Bent 45°

Nilai losses yang terjadi berdasarkan sudut belokan pipa yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik adalah 0,25, dan dapat di cari melalui pers. 4.9.

$$\left[Value = coeff \times Qty \right] \dots \text{Pers. 4.9.}$$

$$Value = 0,250 \times 2$$

$$Value = 0,50$$

16. Losses For Reduser

Nilai losses yang terjadi berdasarkan reduser yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik adalah 0,04, dan dapat di cari melalui pers. 4.10.

$$\left[Value = coeff \times Qty \right] \dots \text{Pers. 4.10.}$$

$$Value = 0,040 \times 1 = 0,04$$

17. Local Losses (H_i)

Sehingga, total *losses* yang terjadi akibat sudut masukan, belokan dan reduser yang digunakan adalah melalui pers. 4.11.

$$\left[H_i = value \text{ inlet} + value \text{ bent } 45^\circ + value \text{ reduser} \right] \dots \text{Pers. 4.11.}$$

$$H_i = 0,04 + 0,50 + 0,04$$

$$H_i = 0,58 \text{ m}$$

18. Total Losses Without Pipe Losses (H_t)

Sehingga, total *losses* secara keseluruhan adalah dengan menjumlahkan *losses* panjang pipa dan akibat sambungan pipa, melalui pers. 4.12.

$$\left[H_t = H_i + H_f \quad (m) \right] \dots \text{Pers. 4.12.}$$

$$H_t = 0,58 \text{ m} + 0,053 \text{ m}$$

$$H_t = 0,63 \text{ m}$$

B. Perhitungan Power

1. Gross Head (H_g)

Berdasarkan hasil pengukuran pada air terjun Bukit Biobio, maka tinggi jatuh air adalah 20 m. Oleh sebab itu dengan mengabaikan hambatan-hambatan dilapangan, maka tinggi jatuh air rencana adalah $H_g = 20 \text{ m}$.

2. Total Losses (H_t)

Total *losses* pada bagian sebelumnya adalah $H_t = 0,63 \text{ m}$.

3. Net Losses (H_n)

Persamaan *head net* dapat dihitung dengan Pers. 4.13. (Mockmore, C.A. dkk., 1949).

$$[H_n = H_g - H_t \quad (m)] \dots \text{Pers. 4.13.}$$

Dimana :

H_n : *Head net* (m).

H_g : *Head gross*, merupakan jarak vertikal antara permukaan air dari *intake* menuju turbin (m).

H_t : *Head total losses*, merupakan jumlah *losses* pada *open channel*, *trash back*, *intake*, *penstock* dan *gate or valve*. Biasanya 6 % dari *head gross* (m).

$$H_n = H_g - H_t$$

$$H_n = 20 \text{ m} - 0,63 \text{ m}$$

$$H_n = 19,37 \text{ m}$$

4. *Flow (Q)*

Berdasarkan hasil pengukuran di lapangan, maka debit rencana adalah

$$Q = 0,2 \text{ m}^3/\text{s}.$$

5. *Gravity Constant (g)*

Nilai gravitasi yang Penulis gunakan adalah $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

6. *Net Hydraulic Power Potential (P_w)*

Menentukan daya air net, maka digunakanlah pers. 4.14. dengan mengkalikan antara gravitasi, debit dan tinggi bersih jatuh air.

$$[P_w = g \cdot Q \cdot H_n \quad (kW)] \dots \text{Pers. 4.14.}$$

$$P_w = 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,2 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 19,37 \text{ m}$$

$$P_w = 38 \text{ kW}$$

7. *Turbine Efficiency (η_t)*

Efisiensi turbin yang Penulis gunakan adalah antara 65 % - 75 %. Hal ini didasarkan pada efisiensi turbin yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$\eta_t = 0,65 - 0,75$$

8. *Turbine Shaft Output Power (P_t)*

Daya yang dihasilkan oleh poros turbin dapat digunakan melalui pers. 4.15. dengan mengkalikan daya air dengan efisiensi pada turbin Crossflow.

$$[P_t = P_w \cdot \eta_t \quad (kW)] \dots \text{Pers. 4.15.}$$

$$P_t = 38 \text{ kW} \cdot 0,7$$

$$P_t = 27 \text{ kW}$$

9. *Mechanical Transmission Efficiency (η_{trans})*

Efisiensi transmisi yang Penulis gunakan adalah 97 %. Hal ini didasarkan pada efisiensi transmisi yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$\eta_{trans} = 0,97$$

10. *Mechanical Power Transferred To Generator (P_d)*

Daya yang dihasilkan melalui transfer dari turbin ke generator dapat digunakan melalui pers. 4.16. dengan mengalikan daya pada turbin dengan efisiensi pada generator.

$$[P_d = P_t \cdot \eta_{trans} \quad (kW)] \dots \text{Pers. 4.16.}$$

$$P_d = 27 \text{ kW} \cdot 0,97$$

$$P_d = 26 \text{ kW}$$

11. *Generator Efficiency (η_{gen})*

Efisiensi generator yang Penulis gunakan adalah 90,3 %. Hal ini didasarkan pada efisiensi generator yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$\eta_{gen} = 0,903$$

12. *Electric Power Generated (P_{el})*

Daya yang dihasilkan oleh generator dapat digunakan melalui pers. 4.17. dengan mengkalikan daya transfer dengan efisiensi pada generator.

$$[P_{el} = P_d \cdot \eta_{gen} \quad (kW)] \dots \text{Pers. 4.17.}$$

$$P_{el} = 26 \text{ kW} \cdot 0,903$$

$$P_{el} = 23,3 \text{ kW}$$

C. *Perhitungan Tekanan Dalam Pipa*

1. *Modulus of Elasticity (Bulk Modulus) of Water (E_{elq})*

Nilai modulus elastisitas dari air yang digunakan adalah $E_{elq} = 2,1E + 09 \text{ N/m}^2$.

2. *Density of Water (ρ)*

Nilai berat jenis air yang digunakan adalah $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$.

3. *Modulus of Elasticity of Pipe Material (E_p)*

Nilai modulus elastisitas dari material pipa yang digunakan adalah $E_p = 2,1E + 11 \text{ N/m}^2$. Hal ini sesuai dengan yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

4. *Internal Diameter of The Pipe (D)*

Diameter dalam pipa yang direncanakan adalah $D = 0,35 \text{ m}$.

5. *Wall Thickness of The Pipe (t)*

Berdasarkan nilai standarisasi pipa, maka tebal pipa yang digunakan adalah $t = 0,004 \text{ m}$. Hal ini juga di dukung oleh tebal pipa yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

6. *Propagation Speed of Shock Wave (a)*

$$\left[a = \left(\left(\frac{E_{liq}}{\rho} \right) : \left(1 + (d \times E_{liq}) : (t \times E_p) \right) \right)^{0,5} \right] \dots \text{Pers. 4.18.}$$

$$a = \left(\left(\frac{2,1E + 09 \text{ N/m}^2}{1000 \text{ kg/m}^3} \right) : \left(1 + (0,35 \text{ m} \times 2,1E + 09 \text{ N/m}^2) : (0,004 \text{ m} \times 2,1E + 11 \text{ N/m}^2) \right) \right)^{0,5}$$

$$a = 1058,30 \text{ m/s}$$

7. *Gravity Constant (g)*

Nilai gravitasi yang Penulis gunakan adalah $g = 9,81 \text{ m/s}^2$.

8. *Velocity of Water (V)*

Penentuan kecepatan air dalam pipa, maka dapat dicari dengan menggunakan pers. 4.19.

$$\left[V = \frac{Q}{A} \text{ (m/s)} \right] \dots \text{Pers. 4.19.}$$

$$V = \frac{0,2 \text{ m}^3/\text{s}}{0,10 \text{ m}^2}$$

$$V = 2,08 \text{ m/s}$$

9. *Surge Head (h_{surge})*

Tinggi *surge* yang didapat bisa diketahui melalui pers. 4.20.

$$\left[h_{surge} = \frac{a \cdot v}{g} \text{ (m)} \right] \dots \text{Pers. 4.20.}$$

$$h_{surge} = \frac{1058,30 \text{ m/s} \cdot 2,08 \text{ m/s}}{9,81 \text{ m/s}^2}$$

$$h_{surge} = 224,37 \text{ m}$$

10. *Total Head (H_t)*

Sehingga total *head* yang didapat adalah dengan menjumlahkan tinggi *surge* dan tinggi efektif jatuh air dengan pers. 4.21.

$$\left[H_t = h_{surge} + h_n \text{ (m)} \right] \dots \text{Pers. 4.21.}$$

$$H_t = 224,37 \text{ m} + 19,37 \text{ m}$$

$$H_t = 243,74 \text{ m}$$

11. *Ultimate Tensile Strength of Pipe Material (s)*

Kekuatan dari pipa yang digunakan adalah $s = 3,7E + 08 \text{ N/m}^2$. Hal ini juga didukung oleh

penggunaan nilai kekuatan pipa pada CV. Prowater Multi Teknik.

12. *Effective Thickness of The Pipe (t_{eff})*

Efektifitas kekuatan pipa yang digunakan di cari melalui pers. 4.22.

$$\left[t_{eff} = \frac{t}{1,1} \text{ (m)} \right] \dots \text{Pers. 4.22.}$$

$$t_{eff} = \frac{0,004 \text{ m}}{1,1}$$

$$t_{eff} = 0,0036 \text{ m}$$

D. Perhitungan Turbin Crossflow

1. *Inlet Width (b_o)*

Lebar dari *runner* turbin dapat dicari melalui pers. 4.23. Hal ini sangat dipengaruhi oleh debit rencana, tinggi jatuh air dan diameter *runner* yang digunakan.

$$\left[b_o = \frac{1}{0,8 \times D} \times \frac{Q}{H_n^{0,5}} \text{ (m)} \right] \dots \text{Pers. 4.23.}$$

$$b_o = \frac{1}{0,8 \times 0,20 \text{ m}} \times \frac{0,2 \text{ m}^3/\text{s}}{19,37 \text{ m}^{0,5}}$$

$$b_o = 0,28 \text{ m}$$

2. *Rotor Speed (n)*

Kecepatan turbin dapat ditentukan melalui pers. 4.24. yang mana kecepatan turbin air sangat dipengaruhi oleh tinggi efektif jatuh air dan diameter *runner* turbin.

$$\left[n = \frac{38}{D} \times H_n^{0,5} \text{ (rpm)} \right] \dots \text{Pers. 4.24.}$$

$$n = \frac{38}{0,2 \text{ m}} \times 19,37 \text{ m}^{0,5}$$

$$n = 589,93 \text{ rpm}$$

3. *Rotor Diameter (D)*

Berdasarkan standarisasi pabrikan diameter *runner disk* yang digunakan adalah $D = 0,2 \text{ m}$.

4. *Number of Blade (n_{blade})*

Berdasarkan standarisasi pabrikan dari diameter *runner disk* yang digunakan, maka jumlah dari sudu turbin adalah $n_{blade} = 28 \text{ Buah}$

5. *Specific Speed (n_{ii})*

Berdasarkan karakteristik turbin Crossflow, kecepatan spesifik yang digunakan adalah $n_{ii} = 38 \text{ rpm}$. Hal ini juga didukung dengan penggunaan kecepatan spesifik oleh CV. Prowater Multi Teknik.

E. Generator

1. Type Generator

Tipe dari generator yang digunakan adalah *generator syncrouns*. Generator sinkron banyak digunakan pada pusat-pusat pembangkit tenaga listrik besar. Secara teknis, desainnya telah mengalami penyempurnaan yang bertujuan untuk meningkatkan performan, efisiensi dan perawatannya.

2. Rating Power (R_{Power})

Penentuan *rating power* sangat tergantung dari daya elektrik yang digunakan. Hal ini dapat dicari melalui pers. 4.25.

$$\left[R_{Power} = \frac{1,3 \times P_{el}}{0,8} \quad (kVA) \right] \dots \text{Pers. 4.25.}$$

$$R_{Power} = \frac{1,3 \times 23,3 \text{ kW}}{0,8}$$

$$R_{Power} = 38 \text{ kW}$$

3. Power Factor (P_f)

Power factor yang digunakan dalam pemilihan generator adalah $P_f = 0,80$.

4. Voltage Star Connection/Delta (V)

Nilai *voltage start connection* adalah $V = 380/220$.

5. Frequence (F)

Nilai frekuensi yang di gunakan indonesia adalah $F = 50 \text{ Hz}$.

6. Speed (n)

Nilai kecepatan putaran generator yang digunakan adalah $n = 1500 \text{ rpm}$.

7. Phasa

Pemilihan dalam generator adalah yang memiliki keunggulan yaitu generator yang memiliki 3 phasa.

F. Perhitungan Pulley dan Flat Belt

1. Rotation Speed Degree (n)

Penentuan kecepatan putaran yang disetujui, maka dapat dilakukan dengan pers. 4.26. dengan membagi putaran generator dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin.

$$\left[n = \frac{n_{gent}}{n_{turbin}} \quad (rpm) \right] \dots \text{Pers. 4.26.}$$

$$n = \frac{1500 \text{ rpm}}{836,15 \text{ rpm}}$$

$$n = 1,794 \text{ rpm}$$

2. Driven Pulley Diameter Generator (d_1)

Pulley generator yang digunakan adalah dengan ukuran $d_1 = 7 \text{ inchi}$

3. Driven Pulley Diameter Turbine (d_2)

Sementara itu, dari perkalian kecepatan yang disetujui terhadap *pulley* turbin, maka didapatkanlah d_2 dengan pers. 4.27.

$$[d_2 = n \times d_1] \dots \text{Pers. 4.27.}$$

$$d_2 = 1,794 \text{ rpm} \times 7 \text{ inchi}$$

$$d_2 = 12,56 \text{ inchi}$$

4. Arc of Contact on Smaller Pulley (b)

Menentukan sudut kontak terhadap *pulley* generator/ *pulley* kecil, maka digunakanlah pers. 4.28.

$$\left[b = 180 - \left(\frac{60(d_2 - d_1)}{e} \right) \quad (\text{derajat}) \right] \text{Pers. 4.28.}$$

$$b = 180 - \left(\frac{60(12,56 \text{ inchi} - 7 \text{ inchi})}{800 \text{ mm}} \right)$$

$$b = 179,586^\circ$$

5. Center Distance (e)

Jarak titik pusat adalah $e = 800 \text{ mm}$. Hal ini berdasarkan *center distance* yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

6. Belt Speed (v)

Menentukan kecepatan *belt* persatuan detik, maka digunakanlah pers. 4.29. dengan mengkalikan diameter pulley generator terhadap kecepatan generator dan membaginya dengan nilai 19100. Pers. yang digunakan adalah sesuai dengan yang di gunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$\left[v = \frac{d_1 \cdot n_{gent}}{19100} \quad (m/s) \right] \dots \text{Pers. 4.29.}$$

$$v = \frac{7 \text{ inchi} \times 1500 \text{ rpm}}{19100}$$

$$v = 0,550 \text{ m/s}$$

7. Peripheral Force To Be Transmitted (F_u)

Gaya keliling untuk transmisi dapat menggunakan pers. 4.30. sesuai dengan pers. yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$\left[F_u = \frac{P_t \times 1000}{v} \quad (N) \right] \dots \text{Pers. 4.30.}$$

$$F_u = \frac{27 \text{ kW} \times 1000}{0,550 \text{ m/s}}$$

$$F_u = 48384,407 \text{ N}$$

8. Load Factor (c)

Faktor beban yang digunakan adalah $c = 1,1$.

9. Max Peripheral Force To Be Transmitted ($F_{u\ max}$)

Gaya keliling maksimum untuk transmisi dapat menggunakan pers. 4.31. sesuai dengan pers. yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

$$[F_{u\ max} = F_u \times c \quad (N)] \dots \text{Pers. 4.31.}$$

$$F_{u\ max} = 48384,407 \text{ N} \times 1,1$$

$$F_{u\ max} = 53222,847 \text{ N}$$

10. Specific Peripheral Force To Be Transmitted (F''_u)

Kecepatan gaya keliling untuk transmisi adalah $F''_u = 27 \text{ N/mm}$. Hal ini sesuai dengan pers. yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

11. Basic Belt Tension (E)

Tegangan pada belt yang diambil adalah $E = 1,75 \%$. Hal ini sesuai dengan yang digunakan oleh CV. Prowater Multi Teknik.

12. Belt Supply Width (b_o)

Lebar *belt* yang digunakan dapat dicari menggunakan pers. 4.32.

$$\left[b_o = \frac{F_{u\ max}}{F''_u} \quad (mm) \right] \dots \text{Pers. 4.32.}$$

$$b_o = \frac{53222,847 \text{ N}}{27 \text{ N/mm}}$$

$$b_o = 1971,217 \text{ mm}$$

13. Belt Pulley Width (b)

Lebar *pulley* yang digunakan dapat dicari menggunakan pers. 4.33.

$$[b = b_o + 20 \quad (mm)] \dots \text{Pers. 4.33.}$$

$$b = 1971,217 \text{ mm} + 20$$

$$b = 1991,217 \text{ mm}$$

14. Geometrical Belt Length (L)

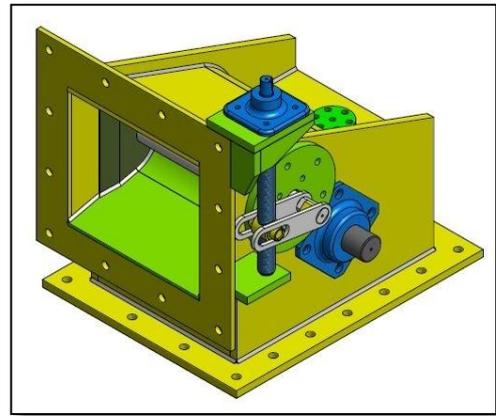
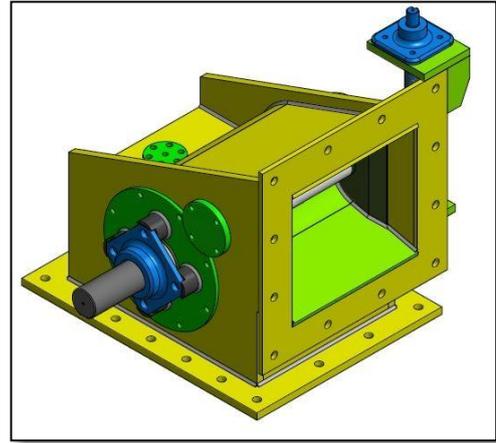
Berdasarkan pers. di atas, maka dapat ditentukan kebutuhan panjang geometris *belt* yang digunakan melalui pers. 4.34.

$$\left[L = 2 \times e + (1,57 \times (d_1 + d_2)) + \frac{(d_2 - d_1)}{4 \cdot e} \quad (mm) \right] \dots \text{Pers. 4.34.}$$

$$L = 2 \times 800 \text{ mm} + (1,57 \times (7'' + 12,56'')) + \frac{(12,56'' - 7'')}{4 \cdot 800 \text{ mm}}$$

$$L = 1630,707 \text{ mm}$$

G. Desain Turbin Crossflow



Gambar 3.1. Turbin Crossflow

IV. Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dalam perancangan turbin Crossflow dapat disimpulkan bahwa dari data perancangan menunjukkan Bukit Biobio yang memiliki debit air 200 l/s dengan mengabaikan debit air terhadap air terjun dan tinggi jatuh air 20 m, dengan diameter pipa 0,35 m, dan diameter runner 0,20 m, serta panjang pipa 28 m dapat menghasilkan daya turbin Crossflow sebesar 23,3 kW dengan efisiensi turbin crossflow yang diambil 70 %, efisiensi transmisi 97 % dan efisiensi generator 90,3 %. Sementara itu total losses yang terjadi akibat rugi-rugi aliran dari rancangan turbin Crossflow adalah 0,63 m.

Referensi

- Arismunandar, Wiranto. 1997. *Penggerak Mula Turbin*. Bandung: ITB.
- Hidayat, Nur. 2011. *Autodesk Inventor*. Bandung: Informatika.
- Juhana, IR. Ohan & M. Suratman, S.Pd. 2000. *Menggambar Teknik Mesin Dengan Standar ISO*. Jawa Barat: CV. Pustaka Grafika.

- Marjuki, Tejo & Armen Fianel. 2013. *Buku Tabel Teknik Mesin*. Malang: CV. Gunung Samudera.
- Pakpahan, Sahat. 2012. *Tabel Konversi Satuan*. Jakarta: Erlangga.
- Pudjanarsa, Astu & Djati Nursuhud. 2012. *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: Andi Yogyakarta.
- Sationo, Aries. 2009. *Autodesk Inventor Professional 2009*. Tangerang: Andi Yogyakarta.
- Sato, G. Takeshi & N. Sugiarto Hartanto. 2013. *Menggambar Mesin Menurut Standar ISO*. Jakarta Timur: PT. Balai Pustaka.
- Sitompul, Rislina. 2011. *Manual Pelatihan*. Jakarta:
- Sularso & Kiyokatsu Suga. 2008. *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: PT. Prandya Paramita.
- Sunarto, M. Edy & Markus Eisenring. 1991. *Turbin Pelton Mikro*. Yogyakarta: Andi Offset.