



Kaplan Turbine Modification With Draft Tube Variations To Generate Electric Power

Modifikasi Turbin Kaplan Dengan Variasi Draft Tube Untuk Menghasilkan Daya Listrik

Amin Jakfar^{1*}, Misbakhul Fatah¹, Ike Dayi Febriana¹

Abstract

Kaplan turbine manufacture has been tested with several variations, namely the diameter of the turbine blade, the angle of the turbine blade, and the angle of the Guide Vanes. However, the power generated is relatively small, namely 416,89 watt. This study aims to increase the power generated by Kaplan turbines. In this modification, a kaplan turbine will be made with a variation of draft tube with three different shapes, namely the type simple conical, simple elbow and elbow varying cross forms. The working principle is converting the potential energy of water into mechanical energy. The method used in this study is to vary the shape of the Draft Tube which can affect the performance of the kaplan turbine and the power it produces. The results from the kaplan turbine test obtained the highest rpm of 409 with a power of 426,16 watts on the simple conical type and the lowest rpm was 149 with a power of 54,79 watts on the simple elbow type.

Keywords

Draft Tube Form, Flow Discharge, Kaplan Turbine

Abstrak

Dalam pembuatan turbin kaplan telah dilakukan pengujian dengan beberapa variasi yaitu diameter sudu turbin, sudut sudu turbin dan sudut *guide vanes*. Namun daya yang dihasilkan relatif kecil yaitu sebesar 416,89 watt. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan daya yang dihasilkan dari turbin kaplan. Pada modifikasi ini akan dibuat turbin kaplan dengan variasi *draft tube* dengan tiga bentuk berbeda yaitu bentuk *type simple conical*, *simple elbow* dan *elbow varying cross*. Prinsip kerjanya mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah memvariasi bentuk *draft tube* yang dapat mempengaruhi performa turbin kaplan dan daya yang dihasilkan. Hasil dari pengujian turbin kaplan didapatkan *rpm* tertinggi 409 dengan daya 426, 16 watt pada *type simple conical* dan *rpm* terendah 149 dengan daya 54,79 watt pada *type simple elbow*.

Kata Kunci

Bentuk *Draft Tube*, Debit Aliran, Turbin Kaplan

¹Teknik Mesin Alat Berat, Politeknik Negeri Madura

Jl. Raya Camplong KM 4 Taddan, Camplong Sampang Madura

*aminjakfar@poltera.ac.id

Submitted : April 04, 2022. Accepted : June 12, 2023. Published : June 15, 2023



PENDAHULUAN

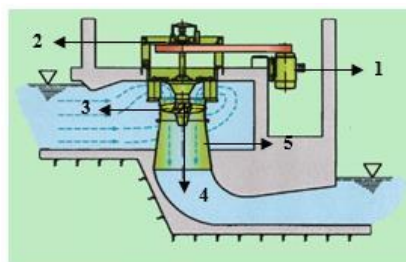
Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan pembangkit yang mengandalkan energi potensial dan kinetik pada air untuk menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dibangkitkan oleh PLTA biasanya disebut sebagai hidroelektrik. PLTA merupakan energi terbarukan karena termasuk salah satu energi yang tidak pernah habis [1]. Pembangkit Listrik Tenaga Hidro (PLTH) merupakan pembangkit listrik tenaga air berskala terbatas dengan memanfaatkan air yang mengalir untuk penggerak utama dengan perbedaan ketinggian dan jumlah aliran air yang mengalir dalam satuan waktu. Pengembangan dan peningkatan PLTH sudah ada di desa-desa yang dilalui jalur air [2]. Peningkatan inovasi turbin air sebagai pembangkit listrik akan memberikan peran yang sangat membantu pemanfaatan energi nasional. Air adalah sumber energi terbarukan sehingga persediannya melimpah. Air adalah sumber daya yang berkelanjutan, sehingga persediaannya melimpah, juga ramah lingkungan sehingga pemanfaatannya meminimalisir kerusakan lingkungan. Pengelompokan Turbin dapat dilihat dengan cara kerjanya, perkembangan (susunan poros dan *inlet* air) dari kecepatan tertentu [3].

Sungai Gladak Kennong yang mengalir dan melintasi desa penampa, Kecamatan Pamekasan, Kabupaten Pamekasan. Sungai ini mengalir sepanjang tahun namun sebagian besarnya airnya hanya dimanfaatkan untuk irigasi persawahan, air minum dan memandikan ternak warga sekitar. Berdasarkan pengambilan data awal potensi energi yang dimiliki sungai Gladak Kennong debit air yang berkisaran 0,57 m³/detik. Dengan ketinggian sekitar 0,5 meter dan daya air sekitar 2,8 KiloWatt, maka perlu adanya pemanfaatan dengan cara membuat pembangkit tenaga *pyco hydro* sebagai penghasil energy alternative. Skala *pico* pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Dari Permasalahan di sungai Gladak Kennong tersebut sudah dilakukan penelitian oleh [4] tentang pengaruh *draft tube* dengan variasi ketinggian dengan hasil kurang dari 5 kW sehingga perlu melakukan penelitian lagi tentang *draft tube* dengan cara melakukan varisasi terhadap *draft tube*. Sehingga diharapkan hasil yang dicapai menuju 5 kW.

Pembangkit listrik skala *pico* pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. *Output* yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan atas : [5]

1. *Large-hydro* : lebih dari 100 MW
2. *Medium-hydro* : antara 15 – 100 MW
3. *Small-hydro* : antara 1- 15 MW
4. *Mini-hydro* : Daya atas 100 kW - 1 MW
5. *Micro-hydro* : antara 5 – 100 kW
6. *Pico-hydro* : daya yang dikeluarkan kurang dari 5 kW

Turbin Kaplan dan *propeller* merupakan turbin reaksi aliran aksial [6]. Turbin ini tersusun dari *propeller* seperti pada perahu. *Propeller* tersebut biasanya mempunyai tiga hingga enam baling-baling. Konfigurasi turbin kaplan seperti terlihat pada Gambar 1:

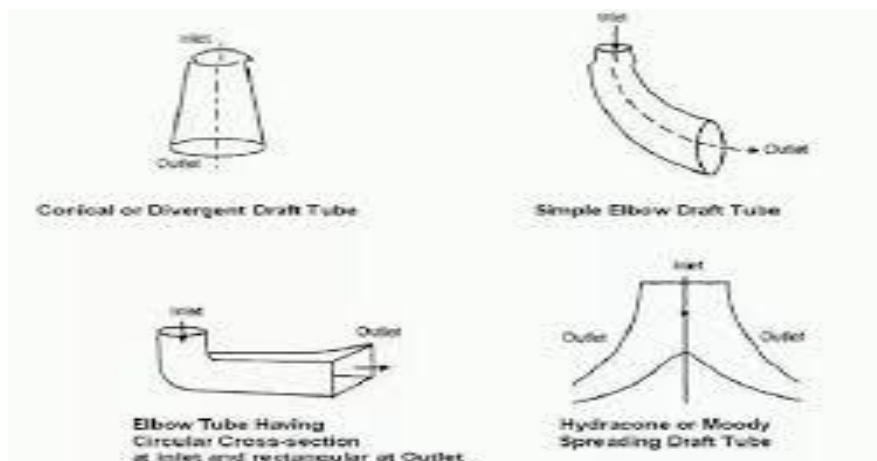


Gambar 1. Turbin Kaplan

Keterangan gambar 1 dirinci sebagai berikut

1. Generator listrik, berfungsi sebagai pengonversi energi kinetik putaran poros menjadi energi listrik. Pada umumnya, generator yang digunakan untuk PLTA skala kecil adalah generator sinkron dengan arus bolak-balik (AC).
2. *Pulley*, memiliki fungsi sebagai penyalur daya dari penggerak menuju komponen yang digerakkan, dalam hal yaitu dari poros menuju generator.
3. Sudu turbin, berfungsi sebagai penampang yang menerima energi dorong dari aliran air secara langsung, sekaligus mengubah energi tersebut menjadi putaran. Perputaran sudu disebabkan oleh gaya dorong air yang mengenai sudu turbin.
4. Poros, memiliki fungsi menyalurkan gerak putar dari dari turbin menuju ke *pulley*. Kemudian putaran dari *pulley* tersebut akan dilanjutkan lagi ke generator untuk dikonversi menjadi energi listrik.
5. Saluran pelepasan (*Draft Tube*), merupakan sebuah tabung atau pipa yang menghubungkan *outlet* turbin dengan saluran bawah. Fungsi *draft tube* yaitu untuk mengalirkan air yang keluar dari runner turbin.
6. Sudu pengarah (*Guide vanes*), adalah salah satu komponen dari turbin air yang memiliki fungsi utama yaitu sebagai pintu masuk air dari *spiral case* menuju baling-baling turbin, *guide vanes* juga berfungsi. sebagai distributor supaya air di sekeliling *runner* memiliki debit yang sama besar.

Macam-macam *draft tube* seperti terlihat pada [Gambar 2](#).



Gambar 2. Macam-macam *Draft Tube*

Draft tube adalah saluran yang menghubungkan *runner exit* ke jalur pembuangan air pada turbin Kaplan. *draft tube* adalah komponen utama dari turbin, jenis tabung yang mengalir dari *outlet* turbin reaksi, *draft tube* meningkatkan *output* dan efisiensi turbin secara keseluruhan. Salah satu ujung dari *draft tube* dibenamkan dibawah dalam air dan ujung dihubungkan ke *outlet runner* turbin, dalam hal ini energi kinetik disalurkan keluar turbin [7]. Dimana *draft tube* ini dibuat dalam bentuk yang bervariasi agar arah aliran air yang menuju baling-baling dari turbin Kaplan memiliki debit air yang meningkat serta untuk meningkatkan tekanan diujung turbin dan menurunkan tekanan diluar turbin.

Berdasarkan penelitian sebelumnya [8], Dari hasil perancangan turbin kaplan dengan variasi *draft tube*, Hasil yang didapatkan adalah dengan presentasi turbin air, dengan hasil terendah turbin *francis* tanpa *draft tube* menghasilkan torsi senilai 8,4721 N/m dengan rpm 1932 rpm dan kecepatan *inlet* senilai 1,524 N/m . Dengan penggunaan *draft tube* lurus (*conical draft tube*) terjadi ekspansi torsi senilai 8,8178 N/m . Sedangkan pada variasi *draft tube* dengan L/D 4, L/D 6, L/D 8 dan bengkok (*simple elbow*) menghasilkan torsi senilai 8,80395 N/m ,

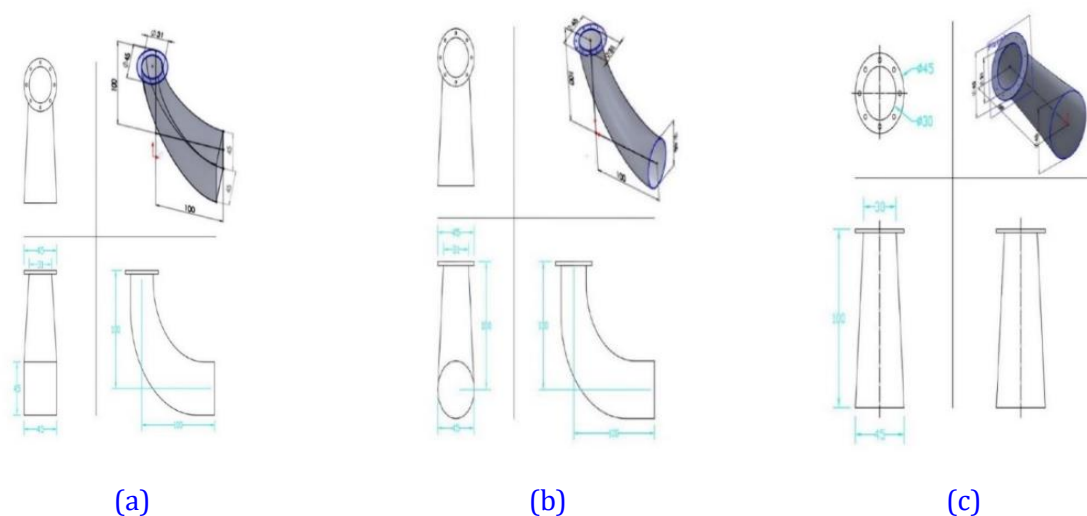
8,80058 N/m dan 8,64504 N/m . Memperoleh torsi paling besar pada turbin *francis* poros vertikal dengan menggunakan *draft tube* lurus (*conical draft tube*) senilai 8,8178 N/m dan daya senilai 1784 Watt. Misal dari penelitian [9] juga membahas “Penambahan ketinggian *draft tube*” menyebabkan putaran turbin menjadi lebih cepat. Dari ketinggian 2 meter, 3 meter dan 4 meter yang diujikan putaran tertinggi didapat pada ketinggian 4 meter dengan pintu air bukaan 1 debit 132 dm^3/s putaran yang dihasilkan 493,6 rpm. Sedangkan putaran terendah terdapat pada ketinggian 2 meter dengan pintu air bukaan 4 debit 57 dm^3/s dengan hasil putaran 210,8 rpm.

Penelitian lain melakukan analisis pada turbin *francis* telah dipelajari, untuk mendapatkan geometri tenaga yang efisiensi terhadap turbin. Mengenai *draft tube* masalah pada aliran keluar atau *outlet* dan bentuk pada *draft tube*. Karakteristik efisiensi dan daya turbin menghasilkan energi yang sangat besar dan tersedia, dalam bentuk energi kinetik pada rotor *outlet*. Perlu dipulihkan dengan tabung hisap atau *draft tube* sebagai tekanan dan menghasilkan energi statis. Memungkinkan mengalir pada saluran keluar *outlet* dan saluran masuk diffuser dari *draft tube*. Karena bentuk dari *draft tube* kerucut atau *simple conical* saluran masuk yang mempengaruhi tinggi tekanan. Yang berdampak pada pemulihan tekanan statis *outlet* tabung dan akibatnya pada kinerja *hidrodinamik* secara keseluruhan turbin [10].

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan maka, akan dilakukan modifikasi turbin kaplan dengan memvariasi bentuk *draft tube*. Variasi bentuk *draft tube* diharapkan dapat mengoptimalkan kinerja dari turbin kaplan, sehingga didapatkan daya turbin yang lebih besar. Sehingga penelitian ini akan melakukan bentuk variasi *draft tube* sebanyak 3 bentuk yaitu *conical tube*, *simple elbow*, *elbow varying cross section* dengan diameter atas *draft tube* 31 cm dan diameter bawah 45 cm dengan sudut baling-baling 15° dan ketinggian *draft tube* 1m.

METODE

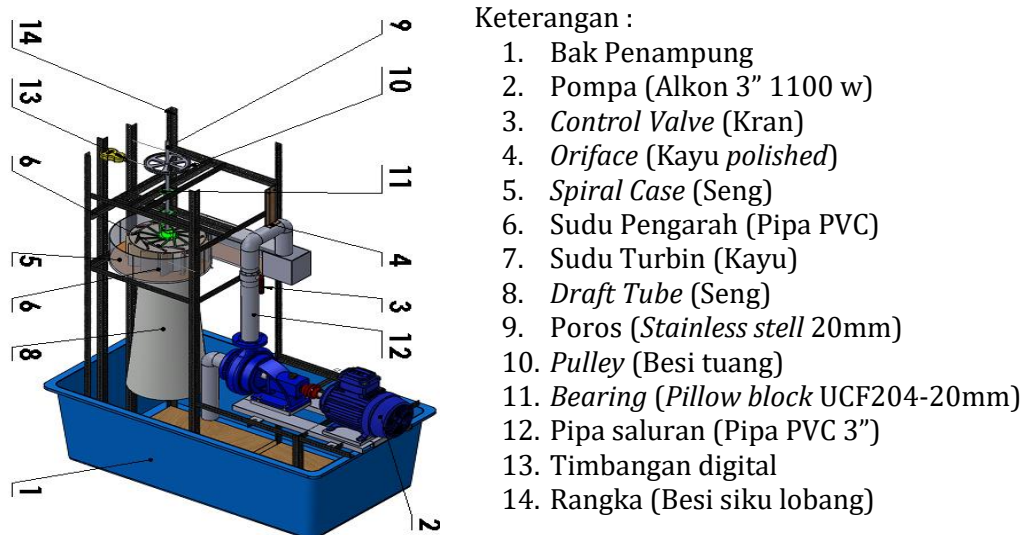
Penelitian diawali dengan menggambar desain Instalasi alat pengujian, 3 bentuk *draft tube* menggunakan program Solidworks seperti pada Gambar 3 dan Gambar 4. Solidworks adalah piranti lunak CAD (*computer-aided design*) untuk merancang dan membuat model tiga dimensi. Solidwork yang digunakan adalah tahun 2022 yang mana di dalamnya terdapat fitur baru pada bagian-bagian seperti pemodelan *hibrida* dan pembuatan *thread* eksternal standar sehingga penggunaan program ini akan meningkatkan kualitas dan kinerja pada saat bekerja dengan rakitan besar dan dapat mengimpor file STEP, IFC, DXF/DWG, merinci gambar, dan mengelola data produk.



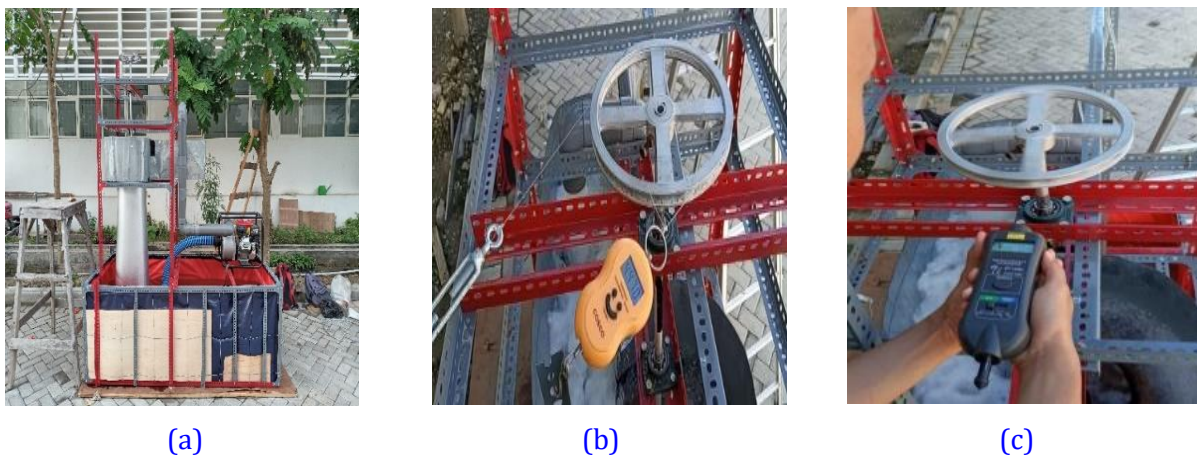
Gambar 3. Desain Draft Tube (a) Elbow Varying Cross; (b) Simple Elbow; (c) Conical Tube)

Draft tube adalah saluran yang menghubungkan *runner exit* ke jalur pembuangan air pada turbin kaplan. Setelah melewati turbin, air yang keluar memiliki energi kinetik yang cukup besar. Untuk tidak membuang banyak energi kinetik pada air yang mengalir pada *tube* aliran masuk pada area *diffuser* yang kita sebut *draft tube*, yang memutar aliran secara horizontal dan memperlambat kecepatan aliran dan meningkatkan tekanan sebelum mengalir ke pembuangan pada *draft tube*. Detail desain dari 3 macam bentuk *draft tube* seperti pada Gambar 3.

Instalasi pengujian dipersiapkan untuk menguji turbin kaplan ini dapat bekerja menghasilkan daya atau tidak. Pastikan instalasi tidak mengalami kebocoran pada saat pengujian seperti pada Gambar 4 dan 5.



Gambar 4. Instalasi Pengujian Turbin



Gambar 5. (a) Instalasi Pengujian; (b) Pengukuran *Massa Pulley*; (c) Pengukuran RPM

Adapun rumus yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut: [11]

A. Daya Air

$$P_{\text{air}} = \rho \cdot Q \cdot h \cdot g \quad (1)$$

Dimana : P_{air} = daya (watt)

ρ = massa jenis fluida (kg/m^3)

Q = debit air (m^3/s)

h = ketinggian efektif (m)

g = gaya gravitasi (m/s^2)

B. Debit Aliran

Untuk mendapatkan debit aliran maka diperlukan :

$$V = p \times l \times h \quad (2)$$

Dimana : V = Volume Air [m^3]

p = panjang [m]

l = lebar [m]

h = tinggi [m]

Maka rumus debit aliran :

$$Q = v \times A \quad (3)$$

Dimana : v = Kecepatan [m/s]

A = Luas Penampang [m^2]

Q = Debit [m^3/s]

$$De = \frac{60.v}{\pi.n} \quad (4)$$

Dimana : De = Diameter Luar [m]

v = kecepatan [m/s]

n = kecepatan putar [rpm]

C. Diameter Luar Turbin

$$V = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

Dimana : V = Kecepatan [m/s]

g = Percepatan gravitasi [m/s^2]

h = tinggi [m]

$$De = \frac{60.v}{\pi.n} \quad (4)$$

Dimana : De = Diameter Luar [m]

v = kecepatan [m/s]

n = kecepatan putar [rpm]

D. Diameter Dalam Turbin

$$Di = \frac{1}{3} De \quad (6)$$

Dimana : De = Diameter Luar [m]

Di = Diameter Dalam [m]

E. Torsi Turbin

$$T = F \cdot r \quad (7)$$

Dimana : T = Torsi [Nm]

F = Gaya [N]

r = Jari-jari [m]

F. Daya Efektif Turbin

$$Ne = T \cdot \omega \quad (8)$$

Dimana : Ne = Daya efektif Turbin [Watt]

T = Torsi [Nm]

ω = kecepatan sudut [rad/s]

G. Efisiensi Draft Tube

$$P + \frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh \quad (9)$$

Dimana: P = Tekanan fluida (Pa)

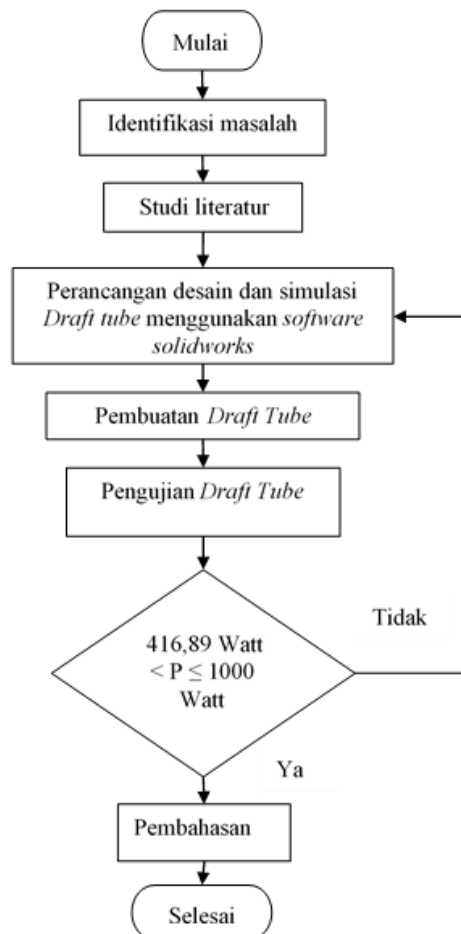
ρ = Massa jenis air (Kg/m^3)

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gravitasi (m/s^2)

h = Ketinggian Draft Tube (m)

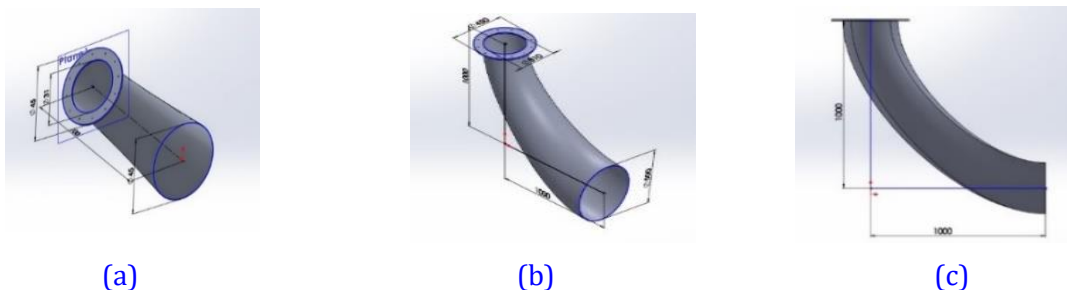
Diagram alir Penelitian dapat terlihat pada [Gambar 6](#):



[Gambar 6](#). Flow Chart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam mendesain *draft tube* harus mengetahui dimensi bentuk *draft tube* yang sesuai dengan turbin Kaplan, dimensi yang harus ditentukan diameter atas, diameter bawah dan ketinggian *draft tube*. Dalam menentukan diameter atas *draft tube* pada penelitian ini diameter atas *draft tube* yang digunakan 31 cm. Nilai ini didapatkan berdasarkan diameter baling-baling turbin yang digunakan, diameter bawah sebesar 45 cm. Nilai ini diperoleh dengan desain jurnal kamal bahwa bentuk *draft tube* berpengaruh pada daya, sedangkan ketinggian *draft tube* adalah 1 meter nilai ketinggian ini mengacu pada pada hasil penelitian terbaik sebelumnya. Desain *draft tube* dapat dilihat pada [Gambar 7](#) berikut ini.



[Gambar 7](#). Desain Draft Tube (a) Conical Tube; (b) Simple Elbow; (c) Elbow Varying Cross)

Bahan yang digunakan untuk membuat *draft tube* adalah seng, penggunaan seng bertujuan agar *draft tube* tidak kebocoran air dan udara dalam membuat konstruksi *draft tube* harus dipastikan tidak kebocoran. Turbin kaplan dirancang khusus sebagai pembangkit listrik tenaga air dengan sumber *picohydro* Karena daya yang direncanakan pada awalnya adalah 1000 watt. Dari pengambilan data awal ketinggian sungai didapatkan ketinggian air 0.5 m sehingga turbin Kaplan ini dirancang dengan ketinggian 0.5 m. Turbin 1 Kw ini direncanakan untuk menerangi minimal 1 rumah di desa sekitar sungai Gladak kennong. Turbin kaplan terbuat dari kayu. Penggunaan kayu bertujuan agar baling-baling tidak mudah karat dan keropos.

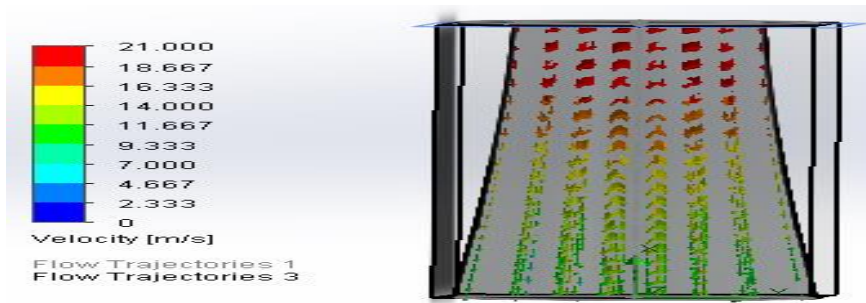
Data hasil perhitungan pada [Tabel 1](#) menunjukkan besarnya putaran, torsi dan daya yang dihasilkan turbin terbesar adalah *conical* hal ini dikarenakan penggunaan *draft tube conical* terjadi peningkatan performa. Hal ini disebabkan aliran pada *Draft Tube Conical* aliran air dapat terarahkan dan terdistribusikan secara maksimal sehingga diperoleh massa terbesar yang dihasilkan ada pada bentuk *draft tube conical*. Ini sesuai dengan persamaan '7' yaitu dimana $T = m \cdot g \cdot r$ maka semakin optimum massanya maka torsi yang dihasilkan semakin optimum juga. Untuk torsi terbesar yaitu 9,94283 N/m pada bentuk *conical*. Sedangkan dengan penggunaan variasi *draft tube simple elbow*, *elbow varying cross* menghasilkan torsi 9,5377 N/m, 9,525 N/m.

Tabel 1. Data hasil perhitungan

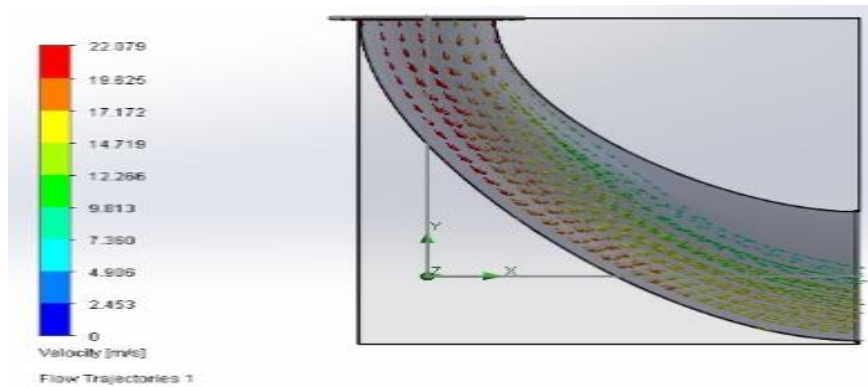
No	Macam –Macam bentuk <i>draft tube</i>	Debit (m ³ /s)	Massa (kg)	RPM	Daya (Watt)	T (Nm)
1	<i>Conical Tube</i>	0.01	3.52	191.2	89.4628	4.4704
2		0.01167	4.785	210.5	133.889	6.0769
3		0.0133	6.28	244.1	203.77	7.9756
4		0.013975	6.705	346.4	308.737	8.51535
5		0.0152	7.829	409.5	426.16	9.94283
1	<i>Simple elbow</i>	0.01	2.75	149.9	54.7956	3.4925
2		0.01167	3.25	164.8	71.1955	4.1275
3		0.0133	4.5	277.1	165.7529	5.715
4		0.013975	6.3	284.5	238.251	8.001
5		0.0152	7.51	387.2	386.5337	9.5377
1	<i>Elbow varying cross</i>	0.01	3.1	179.1	73.8022	3.937
2		0.01167	3.45	188.9	86.6289	4.3815
3		0.0133	4.6	284.1	173.7165	5.842
4		0.013975	6.45	401.1	343.8939	8.1915
5		0.0152	7.5	407.6	406.3568	9.525

Tujuan dari simulasi ini yaitu untuk mendapatkan bentuk *draft tube* yang paling ideal yaitu mampu mengarahkan sekaligus mendistribusikan aliran secara maksimal. Aliran yang terarahkan secara maksimal menyebabkan luasan penampang turbin yang tertabrak oleh air semakin besar dan aliran yang terdistribusi secara maksimal akan menyebabkan kecepatan aliran menjadi maksimal. Jika luas penampang dan kecepatan aliran ini maksimal, itu artinya debit yang diberikan telah berhasil digunakan secara maksimal pula. Debit yang maksimal inilah yang akhirnya mengakibatkan daya turbin lebih besar. Dari tiga bentuk *draft tube* yang disimulasikan terlihat bentuk *draft tube conical* yang paling maksimal mendistribusikan aliran dibandingkan dengan bentuk *draft tube* yang lain. Hal ini dapat terlihat jelas dari [Gambar 8, 9](#)

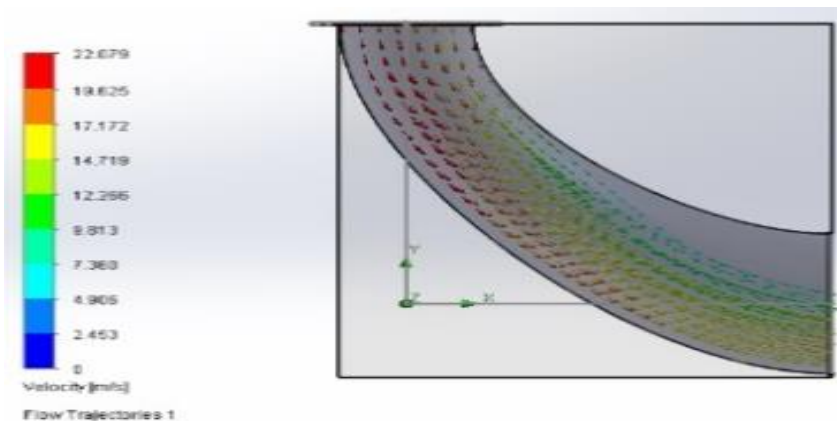
dan 10 berikut ini dimana pada bentuk *draft tube conical* air dapat berkumpul maksimal saat didistribusikan.



Gambar 8. Aliran Velocity Conical Tube



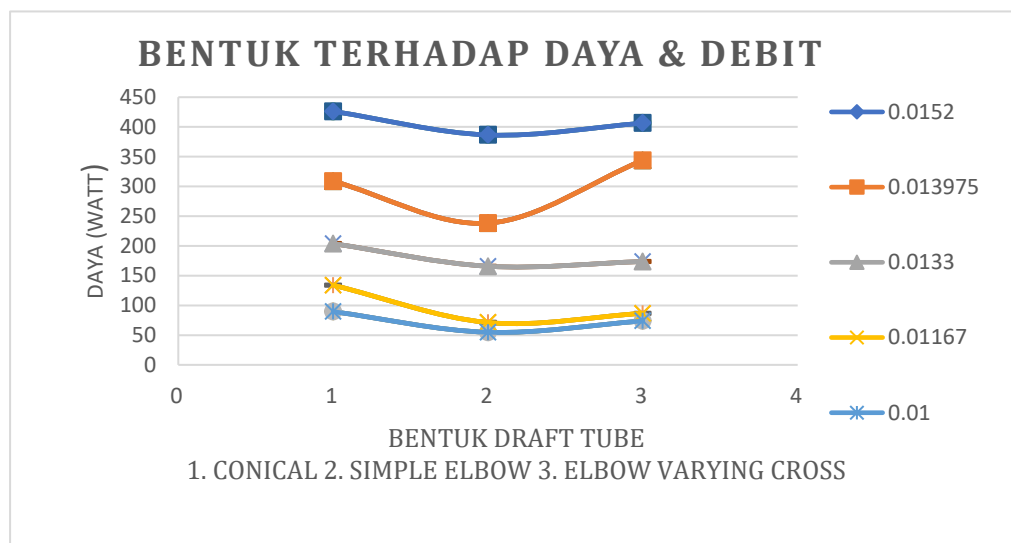
Gambar 9. Aliran Velocity Simple Elbow



Gambar 10. Aliran Velocity Elbow Varying Cross

Pada Gambar 11 dapat dilihat grafik hubungan variasi *draft tube* terhadap daya yang dilakukan 5 kali percobaan pada tiap tiap *draft tube* dengan variasi debit yang berbeda. Pada grafik tersebut menunjukkan daya yang dihasilkan oleh *draft tube conical* lebih besar dibandingkan dengan bentuk *simple elbow* dan *elbow varying cross*. Hal ini disebabkan karena *draft tube* berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Berdasarkan jurnal kamal tahun 2017 bahwa *draft tube* mempengaruhi kecepatan aliran. Pada *draft tube conical* kecepatan aliran langsung mengalir kebawah sehingga, rugi rugi aliran yang dialami *relative* lebih kecil dibanding *simple elbow* dan *elbow varying cross*. Kecepatan aliran yang dihasilkan *draft tube conical* paling maksimal. Kecepatan yang maksimal ini menyebabkan putaran turbin semakin tinggi, semakin tinggi putara turbin maka daya turbin juga semakin maksimal.

Hal ini sesuai dengan persamaan rumus daya yaitu $P = T \cdot \omega$. Daya terbesar oleh *draft tube conical* adalah 426,16 Watt dengan debit 0,0152 m³/s. Sedangkan penggunaan variasi *simple elbow* dan *elbow varying cross* daya terbesar 386.5337 Watt penggunaan *simple elbow* dengan debit air 0,0152 m³/s dan daya terbesar 406.3568 Watt penggunaan *elbow varying cross* dengan debit 0,0152 m³/s. Hal ini disebabkan semakin tinggi debit air yang digunakan maka semakin tinggi daya yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan debit sangat mempengaruhi kecepatan putaran turbin yang dihasilkan. Semakin tinggi debit air yang digunakan maka semakin tinggi rpm yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan rpm berbanding lurus dengan daya pada persamaan $P = T \cdot \omega$. Kecepatan sudut didapat dari kecepatan yang dihasilkan oleh turbin (rpm). Massa sangat berpengaruh pada besar kecilnya torsi yang dihasilkan yaitu sesuai persamaan $T = m \cdot g \cdot r$ semakin tinggi massa nya maka semakin besar juga torsi yang dihasilkan.



Gambar 11. Grafik Pengaruh Variasi *Draft Tube* Terhadap Daya dan Debit

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan tentang pengaruh bentuk *draft tube* terhadap daya yang dihasilkan turbin kaplan dapat disimpulkan bahwa untuk meningkatkan daya turbin kaplan dapat dilakukan dengan menggunakan desain *draft tube* yang memiliki bentuk paling ideal sebagai pengarah aliran air dan ketinggian dari *draft tube* tersebut yang berpengaruh terhadap daya turbin kaplan. Semakin lurus bentuk *draft tube* seperti bentuk *draft tube conical* kecepatan aliran langsung mengalir kebawah sehingga, rugi rugi aliran yang dialami relatif lebih kecil dibanding *simple elbow* dan *elbow varying cross*. Kecepatan aliran yang dihasilkan *draft tube conical* paling maksimal. Kecepatan yang maksimal ini menyebabkan putaran turbin semakin tinggi, semakin tinggi putara turbin maka daya turbin juga semakin maksimal. Daya terbesar oleh *draft tube conical* adalah 426,16 Watt dengan debit 0,0152 m³/s. Sedangkan penggunaan variasi *simple elbow* dan *elbow varying cross* daya tersebsar 386.5337 Watt penggunaan *simple elbow* dengan debit air 0,0152 m³/s dan daya terbesar 406.3568 Watt penggunaan *elbow varying cross* dengan debit 0,0152 m³/s. Hal ini disebabkan semakin tinggi debit air yang digunakan maka semakin besar daya yang dihasilkan.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dan mengacu pada rumusan masalah yang diambil, maka terdapat saran terhadap penelitian selanjutnya disarankan untuk

mengetahui desain dan bentuk *draft tube* serta pengukuran debit air di tempat pengambilan data dilakukan secara teliti agar aplikasi turbin kaplan dapat bekerja lebih maksimal.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Sunardi, I. A. (2017). Pembuatan Prototype Pembangkit Listrik Tenaga Piko (pp. 9-11). Universitas Negeri Yogyakarta.
- [2] Kamal. (2017). Studi Numerik Analisa Pengaruh Variasi Bentuk Draft Tube Terhadap Performa Turbin Francis Poros Vertikal. *Kampus ITENAS*.
- [3] Irawan, H. (2018). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton. *jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, 27-31.
- [4] Rais. (2020). Studi Numerik Analisa Pengaruh Variasi Bentuk *Draft Tube* Terhadap Performa Turbin Francis Poros Vertikal. *Proposal Tugas Akhir Polteknik Negeri Madura*.
- [5] Putra, F. A. (2018). Analisa pengaruh sudut sudu dan debit aliran terhadap performa turbin kaplan. *Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Volume 1 No. 1*.
- [6] Kusnadi, A. M. (2018). RANCANG BANGUN DAN UJI PERFORMANSI TURBIN AIR JENIS KAPLANSKALA MIKROHIDRO. *Jurnal Teknik Mesin Univ. Muhammadiyah Metro* 207-213.
- [7] Laksono, A. B. (2018). *Perancangan turbin air tipe crossflow dengan debit 1,551 m³/s dan tinggi jatuh air 12 m*. Universitas Negeri Malang, Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Malang.
- [8] Irawan, H. (2018). Analisis Performansi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Air Jenis Turbin Pelton. *jurnal Hasil Penelitian LPPM Untag Surabaya*, 27-31
- [9] Arsipe, T. M. (2018). *Ferancis Draft Tube Parameterization And Analysis Of Performance Characteristics Using CFD Techniques*.
- [10] Susanto, A., Putro, S., & Aklis, N. (2017). *Perancangan dan pengujian turbin kaplan pada ketinggian (h) 4 m sudut sudu pengarah 30° dengan variabel perubahan debit (q) dan sudut sudu jalan*. Universitas Muhammadiyah Surakarta, Jurusan teknik mesin fakultas teknik, Surakarta.
- [11] Wadibhasme, S. J. (2019). HYDRAULIC TURBINE DRAFT TUBE: LITERATUR REVIEW. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR)*. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin UNTAG Surabaya*, 1-12.

Halaman ini sengaja di kosongkan