

PEMBUATAN TURBIN AIR TIPE UNDERSHOT UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKOHIDRO (PLTPH) DENGAN MEMANFAATKAN ALIRAN AIR CURUG GONDORIYO NGALIYAN SEMARANG BARAT

Andi Dwi Suprayogo

Jurusan Teknik Elektro Universitas Semarang
Jalan Soekarno - Hatta, Tlogosari, Semarang - Jawa Tengah Telp:(024) 6702757 Fax: (024) 6702272
e-mail: andisuprayogo12@gmail.com

ABSTRACT- *Irrigation channels are spread in almost all parts of Indonesia. Potential energy and kinetic energy in irrigation water flow can be utilized to produce mechanical energy using turbines. Although the possibility can only drive a small-scale water turbine. Turbine selection is very dependent on conditions in the field such as head height and flow rate. Breathshot and Undershot type water turbines are suitable for small heads. The water flow of the Gondoriyo waterfall in Ngaliyan, West Semarang, was observed before conducting research on the manufacture of a pico-hydro power plant by utilizing the mechanical energy of the Undershot water turbine to be converted into electrical energy. With the water flow characteristics of the Gondoriyo waterfall, which is quite large with a relatively small head, with a flat river flow structure, it is suitable for conducting trials of undershot water turbines for picohydro power plants. This study aims to measure the potential of the waterfall water flow, determine the capacity and dimensions of the water turbine used for the manufacture of a pico-hydro power plant. The design of the turbine uses an outer diameter of 1 m, a diameter in 0.6 m, a spoon width of 25 cm and a spoon height of 20 cm, the diameter of the shaft used measuring 20 mm, the turbine spoon amounting to 12 pieces. The test was conducted three times with a potential water discharge (a) of 0.201 m³/s, water bedite (b) 0.245 m³/s, and water discharge (c) of 0.291 m³/s. The largest turbine capacity was obtained at water discharge (c) 0.291 m³/s with a power of 762.78 Watts and efficiency of 26.72%. The greater the water potential, the higher the power capacity and efficiency of the turbine.*

Key words: *irrigation canal, picohydro, undershot type water turbine*

ABSTRAK- Saluran irigasi tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia, Energi potensial dan energi kinetik pada aliran air irigasi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi mekanik dengan menggunakan turbin. Walaupun kemungkinannya hanya bisa menggerakkan turbin air skala kecil. Pemilihan turbin sangat bergantung pada keadaan di lapangan seperti *head* ketinggian dan debit aliran. Turbin air tipe *Breathshot* dan *Undershot* cocok digunakan untuk *head* yang kecil. Aliran air curug gondoriyo yang berada di Ngaliyan Semarang Barat, dilakukan *observasi* sebelum melakukan penelitian pembuatan pembangkit skala piko hidro dengan memanfaatkan energi mekanik turbin air *Undershot* untuk diubah menjadi energi listrik. Dengan karakteristik aliran air curug gondoriyo yang cukup besar dengan jatuh air (*head*) yang *relative* kecil dengan struktur aliran sungai yang datar cocok untuk melakukan uji coba turbin air *undershot* untuk pembangkit pikohidro. Penelitian ini bertujuan untuk mengukur potensi aliran air curug, menentukan kapasitas dan dimensi turbin air yang digunakan untuk pembuatan pembangkit listrik sekala pikohidro. Perancangan turbin menggunakan diameter luar 1 m, diameter dalam 0,6 m, lebar sudu 25 cm dan tinggi sudu 20 cm, diameter poros yang digunakan berukuran 20 mm, sudu turbin berjumlah 12 buah. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali dengan potensi debit air (a) 0,201 m³/s, bedit air (b) 0,245 m³/s, dan debit air (c) 0,291 m³/s. kapasitas turbin terbesar didapat pada debit air (c) 0,291 m³/s dengan daya sebesar 762,78 Watt dan efisiensi 26,72 %. Semakin besar potensi air maka kapasitas daya dan efisiensi turbin akan semakin tinggi.

Kata Kunci : saluran irigasi, pikohidro, turbin air tipe *undershot*

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan permasalahan krisis listrik dan kebutuhan energi yang semakin meningkat, maka potensi energi aliran sungai harus dimanfaatkan semaksimal mungkin. Salah satunya dengan merancang pembangkit listrik tenaga air untuk memenuhi kebutuhan listrik dengan memanfaatkan sumber air yang kecil [1].

Saluran irigasi tersebar hampir diseluruh wilayah Indonesia, Energi potensial dan energi kinetik pada aliran air irigasi dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi mekanik dengan menggunakan turbin. Walaupun kemungkinannya

hanya bisa menggerakkan turbin air skala kecil. Di dalam turbin energi potensial dan kinetik air dirubah menjadi energi mekanik, dimana air memutar roda turbin. Energi puntaran yang dihasilkan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator [2].

Sumber energi baru terbarukan yang mudah untuk di jadikan energi listrik, diantaranya adalah energi air karena yang memiliki energi potensial apabila berada pada suatu ketinggian atau air jatuh dari suatu ketinggian dan energi kinetik aliran. Pemanfaatan air sebagai sumber energi, dapat digunakan sebagai pembangkit tenaga listrik melalui alat yang merubah energi kinetik menjadi energi mekanik, misalnya kincir air, turbin [3].

Pemilihan turbin sangat bergantung pada keadaan di lapangan seperti *head* ketinggian dan debit aliran. Turbin air tipe *Breathshot* dan *Undershot* cocok digunakan untuk *head* yang kecil, walaupun turbin jenis ini dalam operasinya akan mengalami dua rugi-rugi efisiensi, yaitu rugi-rugi inlet karena geometri roda turbin dan kedua rugi – rugi gesekan aliran melewati sudu turbin. Aliran air curug gondoriyo yang berada di Ngaliyan Semarang Barat, dilakukan observasi sebelum melakukan penelitian pembuatan pembangkit skala pikohidro dengan memanfaatkan energi mekanik turbin air *Undershot* untuk diubah menjadi energi listrik. Dengan karakteristik aliran air curug gondoriyo yang cukup besar dengan jatuh air (*head*) yang *relative* kecil, struktur aliran sungai yang datar cocok untuk melakukan uji coba turbin air *undershot* untuk pembangkit pikohidro.

Penelitian ini bertujuan untuk mengukur potensi aliran air curug, menentukan kapasitas dan dimensi turbin air yang digunakan untuk pembuatan pembangkit listrik skala pikohidro. Dari latar belakang diatas dan hasil observasi di lapangan yang menghasilkan debit air sebesar $0,141 \text{ m}^3/\text{s}$, tinggi jatuh air (*head*) 1 meter, dan kedalaman air mencapai 10 cm sampai 50 cm. penulis akan melakukan pembuatan pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) dengan jenis turbin air tipe *undershot*. Untuk tugas akhir yang berjudul Pembuatan Turbin Air Tipe Undershot Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Pikohidro (PLTPH) Dengan Memanfaatkan Aliran Air Curug Gondoriyo Ngaliyan Semarang Barat.

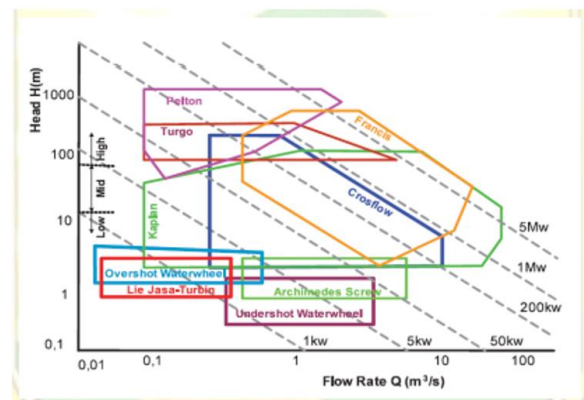
II. TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit listrik tenaga pikohidro adalah suatu pembangkit yang dapat menghasilkan energi listrik kurang dari 5 kW dan dapat diklasifikasikan sebagai pembangkit listrik berskala kecil. Prinsip pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin dan generator. Pembangkit listrik tenaga air skala piko pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit air per detik yang ada pada aliran sungai. Aliran ini selanjutnya menggerakkan turbin, lalu turbin menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik [4].

Sistem tenaga pikohidro merupakan pembangkit listrik tenaga air yang menghasilkan pembangkit listrik maksimum 5 kW dan biasanya ditemukan didaerah pedesaan dan perbukitan. [5].

Turbin merupakan mesin penggerak dimana fluida digunakan langsung untuk memutar roda turbin. Turbin air adalah turbin dengan air sebagai fluida kerjanya. Penggolongan turbin air dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa hal antara lain [6].

Turbin air *undershoot* bekerja bila air yang mengalir menghantam dinding sudu/*blade* yang terletak pada bagian bawah dari turbin air. Tipe ini cocok dipasang pada perairan dangkal pada daerah yang rata. Tipe ini disebut juga dengan "*vitruvian*". Disini aliran air berlawanan dengan arah sudu yang memutar turbin. Pemilihan jenis turbin dapat dilakukan dengan melihat grafik karakteristik hubungan antara tinggi jatuh net (*m*) dan debit aliran (m^3/s) agar didapatkan jenis turbin yang cocok sesuai dengan kondisi pengoperasiannya seperti pada gambar dibawah [7].



Gambar 1. karakteristik pemilihan jenis turbin

BAGIAN TURBIN UNDERSHOT

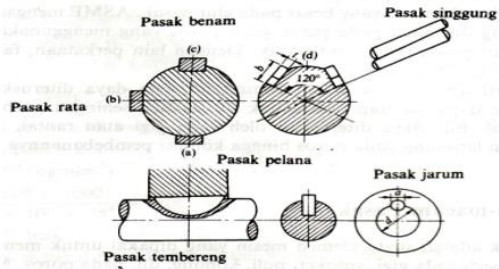
1. Pelampung (*poonton*) merupakan bagian tempat berlangsungnya suatu proses pembangkit listrik tenaga air. Pelampung (*poonton*) juga berfungsi sebagai pondasi suatu peralatan yang menyangga komponen – komponen seperti bantalan poros turbin, *pulley*, generator dan komponen – komponen mekanik turbin.
2. Poros merupakan salah satu bagian terpenting dari setiap mesin hampir semua mesin meneruskan tenaga bersama – sama dengan putaran. peranan utama dalam transmisi seperti itu depegang oleh poros [8].



Gambar 2. Poros

3. Pasak adalah bagian dari mesin yang berfungsi untuk penahan/pengikat benda yang berputar.

III. METODOLOGI



Gambar 3. macam - macam pasak

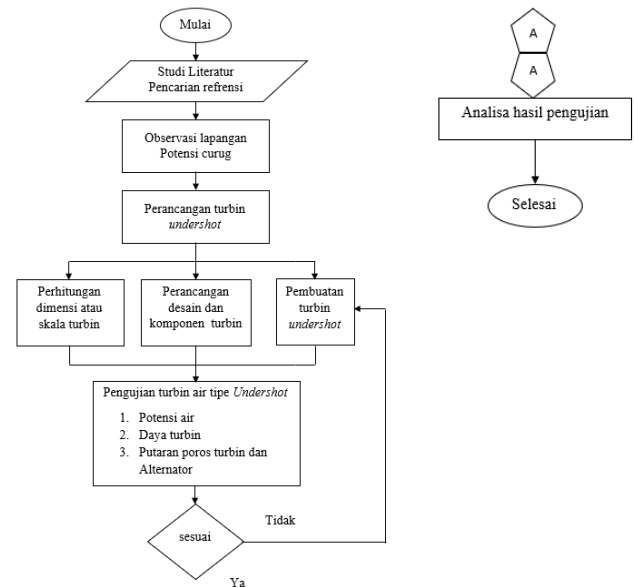
4. Bantalan adalah elemen mesin yang menumpu poros berbeban sehingga putaran atau gerakan bolak baliknya dapat berlangsung secara halus, aman dan panjang umur. Bantalan harus cukup kokoh untuk menahan poros serta elemen mesin lainnya agar bekerja dengan baik.
5. *Blade* atau sudu – sudu turbin/kincir air terbuat dari plat besi, namun kebanyakan dari kincir air terbuat dari kayu. *Blade* atau sudu berfungsi untuk mendapatkan gaya akrobat dari tumbukan air terhadap bidang atau dinding sudu turbin tersebut. Apabila dinding – dinding turbin tersebut dipasang pada keliling roda maka gaya – gaya tumbukan pada dinding turbin tersebut akan menimbulkan torsi yang akan menyebabkan roda berputar pada porosnya.
6. Sistem transmisi pada kebanyakan pembangkit kecil. Pada umumnya turbin atau kincir yang berputar akan dikopelkan langsung untuk memutar generator. Akan tetapi untuk mengkopelkannya ke generator, terlebih dahulu harus dipertimbangkan kecepatan putar turbin atau kincir air tersebut dengan kecepatan generator, apabila kecepatannya berbeda dengan kecepatan putar generator, maka dalam pengkopelannya dapat digunakan system transmisi mekanik yang berupa *pully (pully)* dan sabuk (*belt*) atau juga dapat digunakan garden (*differential*).



Gambar 4. Pully

7. untuk mengantarkan atau mentransmisikan daya dan putaran yang diperoleh maka perlu direncanakan jenis transmisi yang dipakai. Dalam perencanaan transmisi ini jenis transmisi yang dipakai adalah transmisi *pully* dan sabuk.

A. Flowchart



Langkah kerja dalam penyusunan tugas akhir ini, proses yang dilakukan pada penelitian pembuatan turbin *undershot* yaitu:

1. Studi literatur

Proses mencari referensi mengenai teori – teori yang berkaitan dengan perancangan ataupun pembuatan turbin *undershot* yang didapatkan dari berbagai macam buku serta sumber – sumber terkait lainnya yang berhubungan dengan perhitungan dalam menentukan dimensi atau skal turbin undershot.

2. Observasi lapangan

Proses ini dilakukan untuk melihat secara langsung tempat penelitian, mengukur lebar sungai, kedalaman sungai dan tinggi jatuh air selanjutnya menghitung kecepatan air, luas penampang, serta debit air untuk mengetahui potensi air yang akan dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

3. Perhitungan dimensi atau skala turbin

Perhitungan dimensi dilakukan untuk menentukan suatu ukuran turbin yang akan di desain dan di lakukan pembuatan konstruksi turbin.

4. Perencanaan desain turbin

Desain turbin dan komponen turbin digambar melalui software *Autocad* untuk memudahkan dalam pembuatan konstruksi turbin.

5. Pembuatan turbin

Alat dan bahan yang telah disiapkan dirangkai membentuk konstruksi turbin sesuai perencanaan desain gambar. yang telah dihitung sesuai dengan nilai perencanaan perhitungan dimensi atau skala turbin yang telah diketahui ukurannya.

6. Pengujian turbin

Pengujian dilakukan untuk menganalisa kapasitas turbin yang menghasilkan data untuk laporan penelitian.

B. OBSERVASI

Hasil observasi yang dilakukan pada curug gondoriyo didapatkan hasil pengukuran sebagai berikut:

1. Lebar saluran = 60 cm
2. Kedalaman saluran = 20 cm
3. *Head* atau tinggi jatuh air = 1 meter

Mencari debit air, untuk mencari debit air sebelumnya harus menentukan volume aliran air curug terlebih dahulu. Rumus persamaan untuk menentukan volume yaitu $V = p \times l \times T$ (kedalaman saluran).

Perhitungan volume saluran dapat diketahui sebagai berikut:

$$V = p \times l \times T$$

$$V = 7 \times 0,6 \times 0,2$$

$$V = 0,84 \text{ m}^3$$

Dengan: p = panjang saluran
 l = lebar saluran
 T = kedalaman saluran
 V = Volume

Kemudian bisa dilakukan perhitungan potensi curug sebagai berikut:

1. Kecepatan aliran

$$v = \frac{s}{t}$$

$$= \frac{7}{5,92}$$

$$= 1,18 \text{ m/s}$$

Dengan, v = kecepatan (m/s)
 s = jarak (m)
 t = waktu (s)

2. Luas penampang

$$A = T \times l$$

$$= 20 \times 60$$

$$= 1.200 \text{ cm}^2$$

$$A = 0,012 \text{ m}^2$$

Dengan, T = kedalaman air saluran
 l = lebar saluran

3. Debit Air

$$Q = \frac{V}{t}$$

$$= \frac{0,84}{5,92}$$

$$Q = 0,141 \text{ m}^3/\text{detik}$$

Dengan, Q = debit (m^3/s)

t = waktu (s)

V = volume saluran

4. Potensi daya air

$$P_{\text{air}} = p \cdot Q \cdot g \cdot h$$

$$= 1000 \times 0,141 \times 9,81 \times 1$$

$$= 1383 \text{ Watt}$$

$$= 1,38 \text{ Kw}$$

Dengan, p = densitas air ($1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

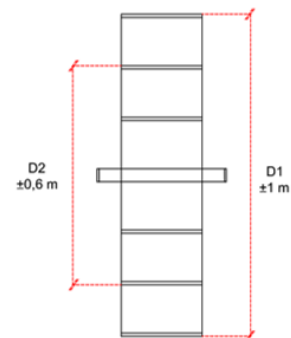
Q = debit

g = percepatan gravitasi ($9,81 \text{ m}/\text{det}^2$)

h = *head*

C. PERANCANGAN TURBIN UNDERSHOT

1. Roda turbin



Gambar 5. Roda turbin tampak depan

Diameter dalam turbin

$$D_2 = \frac{2}{3} \cdot D_1$$

$$D_2 = \frac{2}{3} \cdot 1$$

$$D_2 = 0,6 \text{ m}$$

Dengan, D_1 = diameter luar turbin (m)

D_2 = diameter dalam turbin (m)

Diameter rata – rata turbin

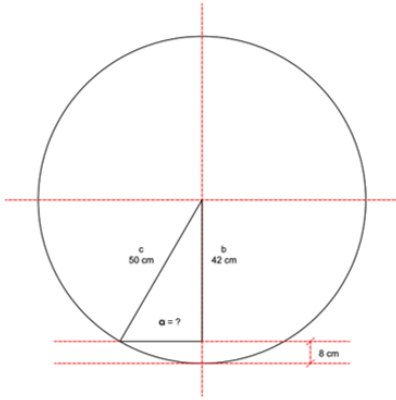
$$D_r = \frac{D_1 + D_2}{2}$$

$$= \frac{1 + 0,6}{2}$$

$$= 0,8 \text{ m}$$

Dengan, D_r = diameter rata – rata

2. Menentukan jumlah sudu roda turbin



Gambar 6. Perencanaan jumlah sudu

$$a = \sqrt{c^2 - b^2}$$

$$= \sqrt{50^2 - 42^2}$$

$$= 27,1 \text{ cm}$$

$$\sin a = \frac{27,1}{50}$$

$$= 0,542$$

$$a = 28,45^\circ$$

Jadi, perencanaan sudut roda turbin (α) yang digunakan adalah 30°

Mencari (z) jumlah sudu, $\frac{360^\circ}{30^\circ} = 12$ buah

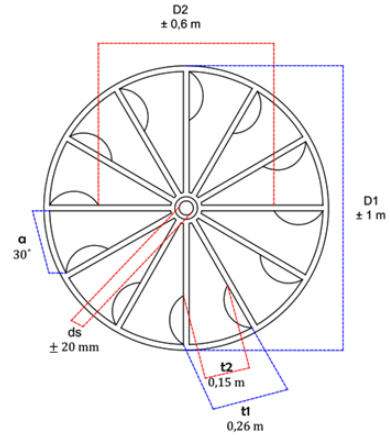
3. Jarak antar sudu

Bagian luar	bagian dalam
$t_1 = \frac{D_1 \times \pi}{z}$	$t_2 = \frac{D_2 \times \pi}{z}$
$= \frac{1 \times 3,14}{12}$	$= \frac{0,6 \times 3,14}{12}$
$= 0,26 \text{ m}$	$= 0,15 \text{ m}$

Dengan, D_1 = diameter luar turbin (m)

D_2 = diameter dalam turbin (m)

Z = jumlah sudu



4. Kecepatan keliling turbin

$$U_1 = \frac{v \cos \alpha}{2}$$

$$= \frac{1,18 \cos 30}{2}$$

$$= 0,51 \text{ m/s}$$

Dengan, v = kcepatan aliran

Putaran turbin

$$N = \frac{60 \times U_1}{\pi \times D_1}$$

$$= \frac{60 \times 0,51}{3,14 \times 1}$$

$$N = 9,74 \text{ rpm} \approx 10 \text{ rpm}$$

Dengan, N = putaran turbin

D_1 = diameter luar turbin

U_1 = kecepatan keliling turbin

5. Jumlah sudu yang aktif

$$N \text{ [dalam rps]} = \frac{N \text{ (dalam rpm)}}{60}$$

$$N \text{ [dalam rps]} = \frac{10}{60} = \frac{2}{12}$$

Jumlah sudu = 12

$$i = N \times z$$

$$= \frac{2}{12} \times 12 = 2$$

Dengan, N = putaran turbin

Z = jumlah sudu

6. Perencanaan sudu

Kapasitas air yang diterima oleh tiap sudu yang aktif

$$q = \frac{Q}{i}$$

$$= \frac{0,141}{2}$$

$$q = 0,070 \text{ m}^3/\text{s}$$

Dengan, Q = debit air

i = jumlah sudu aktif

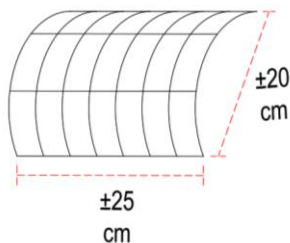
kemudian berdasarkan rumus keliling tabung dengan alas lingkaran. Dapat dihitung lebar sudu.

$$L_n = \frac{1}{2} \times 2 \times \pi \times r$$

$$= \frac{1}{2} \times 2 \times 3,14 \times 0,10$$

$$L_n = 0,31 \text{ m}$$

Karena aliran curug mengalami penyempitan diujung saluran. maka lebar sudu yang diambil sebesar 0,25 m atau 25 cm.



Gambar 7. Perencanaan sudu

7. Perencanaan poros

$$ds = \left[\frac{5,1}{T} \times Kt \times Cb \times T \right]^{1/3}$$

$$= \left[\frac{5,1}{4} \times 1,5 \times 1,2 \times 8\,035 \right]^{1/3}$$

$$= 26,4 \text{ mm}$$

Dengan, ds = diameter poros (mm)

Kt = faktor koreksi diambil 1,5 karena adanya tumbukan

Cb = diambil 1,2 karena terjadi pemakaian beban lentur

T = momen puntir

Karena diameter poros dipasaran tidak ada yang ukuran 26,4 mm, maka diameter poros yang akan dipilih adalah 20 mm. selain ada dipasaran pemilihan diameter poros 20 mm bertujuan agar poros dapat menerima beban dengan maksimal dari perhitungan yang sudah ada.

8. Perencanaan perbandingan pully

$$\frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$\frac{200}{1000} = \frac{d_2}{25}$$

$$d_2 = \frac{200 \times 25}{1000}$$

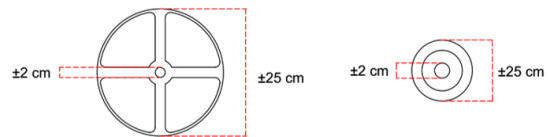
$$d_2 = 5 \text{ cm}$$

Dengan, n1 = putaran penggerak (rencana putaran turbin 200 rpm)

n2 = putaran yang digerakkan (rencana putaran alternator 1000 rpm)

d1 = diameter pully penggerak 25 cm

d2 = diameter pully yang digerakkan



Gambar 8. perencanaan pully

Perencanaan panjang sabuk V-belt

Jari – jari pully besar	12,5 cm
Jari – jari pully kecil	2,5 cm
Titik pusat antar pully	30 cm
Sudut PAB	90°

$$PQ = \sqrt{AB^2 - (AP - BQ)^2}$$

$$= \sqrt{30^2 - (12,5 - 2,5)^2}$$

$$= \sqrt{900 - 100}$$

$$= \sqrt{800}$$

$$PQ = 28,2 \text{ cm}$$

$$\alpha = 360^\circ - (2 \times PAB)$$

$$= 360^\circ - (2 \times 90^\circ)$$

$$= 360^\circ - 180^\circ$$

$$\alpha = 180^\circ$$

$$P \text{ busur besar} = \frac{\alpha}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times r \text{ besar}$$

$$= \frac{180^\circ}{360^\circ} \times 2 \times 3,14 \times 12,5$$

$$P \text{ busur besar} = 39,25 \text{ cm}$$

$$P \text{ busur kecil} = \frac{360^\circ - \alpha}{360^\circ} \times 2 \times \pi \times r \text{ kecil}$$

$$= \frac{360^\circ - 180^\circ}{360^\circ} \times 2 \times 3,14 \times 2,5$$

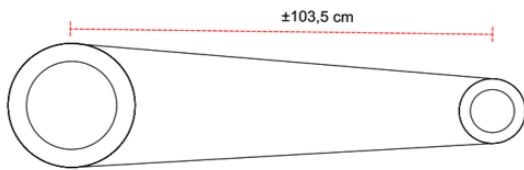
P busur kecil = 7,85 cm

panjang V – bel

$$= (2 \times PQ) + P \text{ busur besar} + P \text{ busur kecil}$$

$$= (2 \times 28,2) + 39,25 + 7,85$$

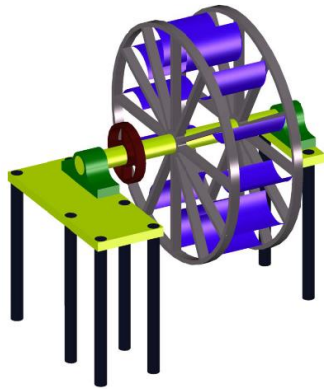
panjang V – belt = 103,5 cm



Gambar 9. panjang sabuk v-belt

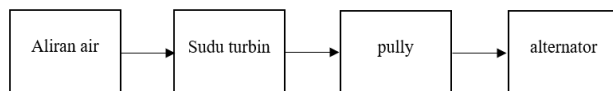
D. DESAIN KONSTRUKSI TURBIN

Desain konstruksi turbin keseluruhan yang telah di gambar melalui software *Autocad* dapat dilihat pada gambar di bawah.



Gambar 10. Konstruksi Turbin 3D

E. BLOK DIAGRAM SISTEM KERJA TURBIN



Gambar 11. Blok Diagram

Prinsip kerja turbin *undershot* dari aliran air yang mengalir akan menabrak dinding sudu turbin sehingga roda turbin berputar menghasilkan energi mekanik atau energi gerak yang diteruskan *pully* untuk menggerakkan alternator sampai alternator dapat menghasilkan listrik.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. KONSTRUKSI FISIK TURBIN

Hasil perancangan pembuatan konstruksi fisik turbin *undershot* yang telah dicat keseluruhan dapat dilihat pada gambar dibawah, konstruksi turbin yang sudah terpasang keseluruhan bisa dilanjutkan untuk melakukan pengujian dilokasi penelitian.



Spesifikasi ukuran turbin *undershot* yang digunakan sesuai dengan hasil perencanaan perhitungan yang telah dilakukan. Adapun spesifikasi ukuran turbin dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1. Spesifikasi turbin *undershot*

Diameter luar (D1)	1 m
Diameter dalam (D2)	0,6 m
Sudut roda turbin (α)	30°
Jumlah sudu (Z)	12 buah
Lebar sudu	25 cm
Tinggi sudu lengkung	20 cm
Diameter poros (ds)	20 mm
Pully besar	25 cm
Pully kecil	5 cm
V – belt	103,5 cm

B. PENGUJIAN TURBIN

Pengujian turbin *undershot* dilakukan untuk mengetahui kapasitas turbin yang dihasilkan dengan memanfaatkan potensi aliran air yang ada dicurug gondoriyo. Pengujian pertama kali dilakukan untuk menghitung nilai potensial air dengan menghitung volume, kecepatan aliran, luas penampang dan debit air. Setelah itu menentukan nilai potensial air atau daya air yang dihasilkan dari aliran air yang ada di curug gondoriyo. Debit dan nilai potensial air akan sangat mempengaruhi nilai kapasitas turbin yang dihasilkan dari uji coba turbin *undershot*.

Langkah percobaan selanjutnya konstruksi fisik turbin di tempatkan pada aliran air yang mengalir untuk dilakukan pengujian putaran poros turbin dan putaran poros generator yang dihasilkan. Pengujian

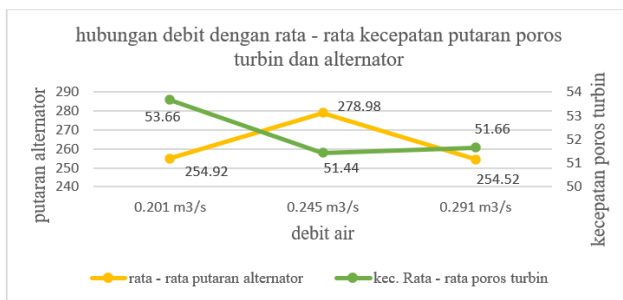
dilakukan tiga kali dengan variasi debit yang berbeda dari hasil pengukuran potensi aliran air curug.

C. HASIL PENGUJIAN TURBIN

Debit air yang digunakan sebagai acuan pengujian pengukuran kecepatan putaran poros dan putaran alternator dilakukan sebanyak tiga kali dengan debit masing – masing sebesar $0,201\text{ m}^3/\text{s}$, $0,245\text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,291\text{ m}^3/\text{s}$. Hasil pengukuran kecepatan putaran poros turbin dan alternator yang kemudian di rata – rata sehingga terlihat pada tabel berikut.

Tabel 2. hubungan debit dengan rata - rata putaran poros turbin dan alternator

debit air m ³ /s	kecepatan rata - rata poros turbin (rpm)	putaran rata - rata alternator (rpm)
0.201 m ³ /s	53.66	254.92
0.245 m ³ /s	51.44	278.98
0.291 m ³ /s	51.66	254.52



Gambar 12. grafik hubungan debit dengan rata - rata kecepatan putaran poros turbin dan alternator

Gambar 12 grafik hubungan debit dengan rata - rata kecepatan putaran poros turbin dan alternator, pada grafik terlihat garis warna hijau menunjukkan kecepatan rata – rata poros turbin sedangkan garis warna jingga menunjukkan rata – rata putaran alternator. nilai pada debit air $0,201\text{ m}^3/\text{s}$ menghasilkan putaran turbin rata – rata sebesar 53,66 untuk putaran alternator rata – rata sebesar 254,92 putaran poros turbin mengalami penurunan pada grafik sedangkan putaran alternator mengalami kenaikan pada debit air $0,245\text{ m}^3/\text{s}$ dengan nilai rata – rata putaran poros turbin sebesar 51,44 sedangkan rata – rata putaran alternator berada di nilai 278,98 pada debit air $0,291\text{ m}^3/\text{s}$ rata – rata putaran poros turbin terlihat pada grafik mengalami kenaikan sebesar 51,66 sedangkan rata – rata putaran alternator sebesar 254,52 grafik tersebut menunjukkan hasil yang naik turun

penyebab ketidak setabilan hasil yang didapat terdapat beberapa faktor yaitu salah satunya faktor tekanan aliran air yang berubah ubah dan jalur aliran yang belum tertata dengan sempurna mengakibatkan air yang mengalir tidak sepenuhnya membentur sudu sehingga berpengaruh pada kecepatan putaran turbin. Selisih waktu pengukuran yang dilakukan antara poros turbin dan putaran alternator juga bisa mempengaruhi nilai yang dihasilkan dalam pengujian.

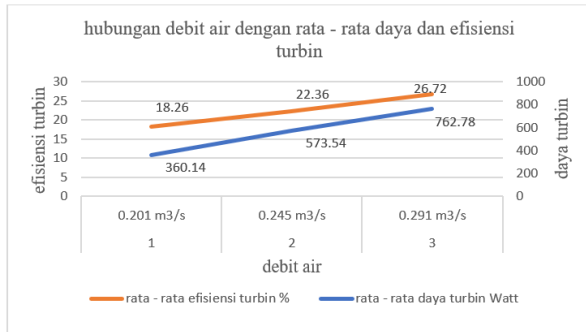
F. ANALISA PERBANDINGAN

1. Perbandingan hubungan debit dengan rata – rata daya dan efisiensi turbin

Debit air didapatkan saat pengukuran potensi aliran yang dilakkukan ketika pengujian turbin. selain debit hasil pengukuran potensi aliran meliputi volume, kecepatan aliran, luas penampang, dan potensi daya air. Debit air digunakan sebagai acuan dalam pengukuran putaran poros dan putaran alternator. dengan mengacu pada debit pengujian turbin dapat di variasikan dengan pengukuran debit yang berbeda. Dengan pengukuran setiap potensi aliran debit air akan diketahui lalu pengujian pengukuran kecepatan poros turbin dan alternator dilakukan. Dengan cara tersebut akan membuat nilai di setiap pengukuran potensi aliran akan memiliki nilai debit air yang berbeda begitupun dengan hasil pengukuran kecepatan putaran turbin dan alternator memiliki perbedaan disetiap debit. Ketika hasil pengujian sudah didapat maka dilanjutkan perhitungan kapasitas turbin untuk mengetahui kapasitas turbin yang dibuat. pengujian dilakukan dengan tiga debit air yang berbeda sedangkan pengukuran kecepatan turbin dan alternator setiap debit air sebanyak lima kali. Dalam perhitungan kapasitas turbin setiap hasil pengukuran kecepatan turbin dan alternator di hitung untuk mendapatkan nilai kapasitas turbin dari masing – masing hasil pengukuran kecepatan putaran poros turbin dan putaran alternator. untuk mengetahui hubungan debit dengan rata – rata daya dan efisiensi turbin dari hasil pengujian dan hasil perhitungan maka dibuat tabel berikut yang merupakan nilai rata – rata dari keseluruhan pengujian maupun perhitungan.

Tabel 3. perbandingan hubungan debit dengan hasil pengujian dan perhitungan

pengujian	Debit air m ³ /s	rata - rata Daya Turbin Watt	rata - rata Efisiensi Turbin %
1	0.201 m ³ /s	360.14	18.26
2	0.245 m ³ /s	573.54	22.36
3	0.291 m ³ /s	762.78	26.72



Gambar 13. grafik perbandingan hubungan debit air dengan rata - rata daya dan efisiensi turbin

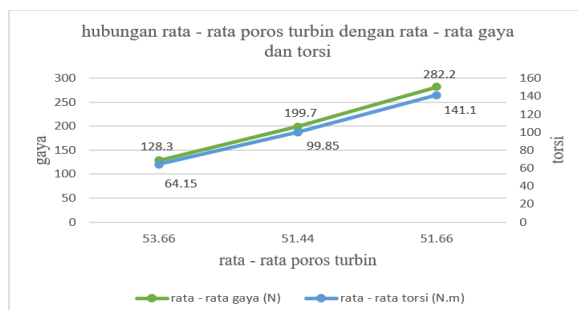
dihasilkan dari keseluruhan pengujian maupun perhitungan mendapatkan nilai rata – rata efisiensi 18,26 % dengan rata – rata Daya turbin 360,14 Watt pada pengujian debit air 0,201 m³/s. sedangkan nilai rata – rata efisiensi 22,36 % dengan rata – rata nilai daya turbin 573,54 Watt pada pengujian debit air 0,245 m³/s. dan selanjutnya nilai rata – rata efisiensi 26,72 % dengan rata – rata nilai daya turbin 762,78 Watt didapat pada pengujian debit air 0,291 m³/s. jadi nilai efisiensi dan daya turbin mengalami kenaikan terhadap pengujian debit air yang dihasilkan.

2. Perbandingan hubungan rata – rata putaran poros dengan rata – rata gaya dan torsi

Putaran poros turbin pengujian masing – masing dirata – rata untuk dilakukan perbandingan dengan rata – rata gaya dan torsi yang dihasilkan dari perhitungan data pengujian. Sehingga mendapatkan tabel berikut.

Tabel 4. Perbandingan hubungan rata – rata putaran poros dengan rata – rata nilai gaya dan torsi

pengujian	rata - rata poros turbin (rpm)	rata - rata Gaya (F) N	rata - rata Torsi (T) N.m
1	53.66	128.3	64.15
2	51.44	199.7	99.85
3	51.66	282.2	141.1



Gambar 14. hubungan nilai rata - rata poros turbin dengan rata - rata gaya dan torsi

Gambar 4.38 hubungan nilai rata – rata poros turbin dengan rata – rata gaya dan torsi, menunjukkan hubungan garis hijau yang menyimbolkan garis nilai rata – rata gaya dengan garis biru menyimbolkan nilai rata – rata torsi mengalami kenaikan. Pada rata - rata putaran poros turbin 53,66 pada grafik nilai rata - rata gaya sebesar 128,3 dan nilai rata - rata torsi sebesar 64,15 pada nilai rata – rata putaran poros turbin 51,44 nilai rata – rata gaya mengalami kenaikan pada nilai 199,7 sedangkan rata – rata torsi pun mengalami kenaikan sebesar 99,85 dan pada rata – rata putaran poros 51,66 gaya mengalami kenaikan grafik di nilai 282,2 untuk torsi pun kembali mengalami kenaikan dengan nilai sebesar 141,1. Grafik tersebut merupakan hasil keseluruhan poros turbin, gaya dan torsi yang sudah dirata – rata dari keseluruhan hasil pengujian dan perhitungan. Nilai poros yang naik turun tidak mempengaruhi kenaikan nilai gaya dan torsi yang didapatkan dari hasil perhitungan. Karena gaya didapatkan dari hasil pengukuran potensi air sedang kan torsi didapat dari perhitungan gaya dengan jari – jari turbin.

V. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Hasil penelitian mengenai Pembuatan turbin air tipe *undershot* untuk pembangkit listrik tenaga pikohidro (PLTPH) dengan memanfaatkan aliran air curug Gondoriyo, Ngaliyan Semarang Barat dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan pembuatan turbin *undershot* yang digunakan berdiameter luar 1 m dan diameter dalam 0,6 m, jumlah sudu 12 buah dengan posisi penempatan sudut 30°, jarak antar sudu bagian luar 0,26 m sedangkan jarak sudu dalam 0,15 m, lebar sudu 25 cm, tinggi sudu 20 cm, poros yang digunakan berdiameter 20 mm, untuk mentransmisikan putaran poros turbin ke alternator digunakan dua *pully* dengan diameter *pully* besar 25 cm dan *pully* kecil 5 cm panjang *V-belt* yang digunakan 103,5 cm. Perencanaan pembuatan turbin telah dilakukan sesuai desain gambar yang telah di buat melalui *software* Autocad.
2. Berdasarkan pengujian potensi aliran curug dan perhitungan kapasitas turbin keseluruhan dari tiga kali pengujian potensi aliran air dan lima kali pengukuran putaran poros turbin maupun alternator didapatkan (a) debit air pertama sebesar 0,201 m³/s dengan putaran

poros turbin rata – rata 53,66 rpm menghasilkan kapasitas daya turbin rata – rata 360,14 Watt dan efisiensi turbin rata – rata 18,26 %; (b) debit air kedua sebesar 0,245 m³/s dengan putaran poros turbin rata – rata 51,44 rpm menghasilkan kapasitas daya turbin rata – rata 573,54 Watt dan efisiensi turbin rata – rata 22,36 %; dan (c) debit air ketiga sebesar 0,291 m³/s dengan putaran poros turbin rata – rata 55,66 rpm menghasilkan kapasitas daya turbin rata – rata 762,78 Watt dan efisiensi turbin rata – rata 26,72 %. Berdasarkan hasil penelitian maka semakin besar nilai debit air yang didapatkan dari potensi air maka kapasitas daya dan nilai efisiensi turbin akan semakin tinggi.

B. SARAN

Untuk kemajuan penelitian selanjutnya berikut saran yang dapat peneliti sampaikan:

1. Jika penelitian ini dilanjutkan hendaknya jalur aliran harus ditata dengan baik untuk menyearahkan air yang akan menabrak dinding sudu.
2. Kerangka penyangga turbin harus lebih diperkuat dan lebih diperhitungkan dengan kondisi yang ada di curug.
3. Variasi pengujian turbin bisa diubah dari debit air ke air yang menabrak dinding sudu atau sudu yang tercelup air.
4. Diameter turbin bisa diperbesar melihat kondisi saat musim hujan memiliki potensi aliran yang cukup besar.
5. Perlu dibuat bak penampung air pada sungai untuk menstabilkan aliran air saat musim kemarau.

DAFTAR PUSTAKA

- PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PIKO HIDRO DI ALIRAN SUNGAI SEKITAR BANGUNMULYO, GIRIKERTO, TURI, SLEMAN,” 2016.
- [5] A. Siregar, M. Syukri, I. D. Sara, and M. Gapy, “Rancang Bangun Prototype PLTPH Menggunakan Turbin Open Flume,” 2015.
- [6] J. Steward poea Ceri, G. D. Soplanit and O. Rantung, “PEMBANGKIT LISTRIK DI DESA KALI KECAMATAN PINELENG DENGAN HEAD 12 METER,” 2013.
- [7] J. Yohanes Morong, “Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Talawaan,” *Kementeri. Ris. Teknol. Dan Pendidik. Tinggi Politek. Negeri Manad.*, pp. 1–35, 2016.
- [8] Sularso and K. Suga, “Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin,” p. 5, 2004.
- [1] E. Y. Setyawan, S. Djiwo, D. H. Praswanto, P. Suwandono, and P. Siagian, “Design of Low Flow Undershot Type Water Turbine,” *J. Sci. Appl. Eng.*, vol. 2, no. 2, p. 50, 2019, doi: 10.31328/jsae.v2i2.1184.
- [2] R. Fernando, “Kaji Eksperimental Turbin Air Tipe Undershot Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Air Dipasang Secara Seri Pada Saluran Irigasi,” pp. 1–7, 2017.
- [3] G. Adhitya Lawani and A. Makhsud, “Unjuk Kerja Kincir Air Tipe Undershot Dengan Perubahan Kemiringan Sudu,” 2020.
- [4] S. S. Asmara, “STUDI POTENSI