

Uji Kinerja Turbin Crossflow Skala Laboratorium Sebagai Pembangkit Listrik

Sudarmanto Jayanegara^{1*}, Rustam Efendi^{2*}, Muhammad Hasim³, Dary Mochamad Rifqie⁴

^{1,3}Jurusan Pendidikan Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

⁴Jurusan Pendidikan Teknik Elektronika Fakultas Teknik, Universitas Negeri Makassar

sudarmanto@unm.ac.id, rustamefendi032@gmail.com, Cinkhoapache@gmail.com,

Dary.mochamad.rifqie@unm.ac.id

Abstrak

Peningkatan konsumsi listrik seiring dengan pertumbuhan penduduk dan industri. Pembangkit listrik yang berkelanjutan seperti turbin merupakan salah satu pilihan. Turbin dan generator merupakan komponen utama serta ketersediaan debit air yang memenuhi untuk memutar turbin sehingga dapat diteruskan ke generator. Penelitian ini dilakukan dalam rangka untuk menguji kinerja dari turbin skala laboratorium yang telah dirancang bangun. Daya *output* yang dihasilkan pada turbin *crossflow* sebesar 12,5 Watt sampai 287,906 Watt untuk pembebanan 100 watt dan sudu pengarah yang bervariasi dengan *head* statis 0,25 kg/cm.

Kata kunci: konsumsi listrik, pertumbuhan penduduk generator, turbin *crossflow*

Abstract

The increase in electricity consumption goes hand in hand with the growth of population and industry. Sustainable power plants such as turbines are one option. Turbines and generators are the main components as well as the availability of sufficient water discharge to turn the turbine so that it can be forwarded to the generator. This research was conducted in order to test the performance of a turbine laboratory scale that has been designed. The output power generated in the crossflow turbine is 12.5 Watt to 287.906 Watt for a load of 100 Watt and a variable guide blade with a static head of 0.25 kg/cm.

Keywords: *electricity consumption, growth of population, generators, crossflow turbine*



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 3.0 License](https://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).

PENDAHULUAN

Penggunaan listrik di Indonesia mengalami peningkatan setiap tahun. Maka prediksi kebutuhan listrik jangka panjang di Indonesia akan terus meningkat. Misalnya beberapa tahun terakhir ini penggunaan sepeda listrik maupun motor listrik dan mobil sudah mulai ramai di kota-kota besar. Begitupun pelebaran jangkauan listrik ke plosok-plosok terus dilakukan. Hanya saja pembangkit yang beroperasi di Indonesia khususnya di industri merupakan jenis

pembangkit yang menggunakan bahan bakar fosil dan memiliki masalah terhadap lingkungan yaitu dapat meningkatkan kadar CO₂ dan pemanasan global (Harjanto, 2016).

Tingginya ketergantungan kepada energi fosil masih menjadi permasalahan utama dalam penyediaan energi nasional. Penyediaan energi primer nasional masih didominasi oleh batu bara, minyak bumi dan gas bumi tercatat 90,7% pada tahun 2019. Transportasi adalah salah sektor pengguna bahan bakar minyak yang

bersumber dari energi fosil yaitu sekitar 90,9%. Penggunaan energi fosil juga telah memberikan dampak lingkungan berupa peningkatan emisi gas rumah kaca (GRK) akibat pembakaran hidrokarbon yang berasal dari sumber energi fosil [1]. Guna mengatasi permasalahan tersebut, pemerintah mendorong untuk memanfaatkan sumber energi baru terbarukan sesuai aturan Menteri ESDM [2].

Salah satu pilihan terbaik untuk mengatasi permasalahan lingkungan dan dapat berkelanjutan adalah menggunakan energi terbarukan karena energi terbarukan sering juga disebut sebagai energi bersih. Energi terbarukan merupakan solusi atas dampak lingkungan dan pemanasan global akibat aktifitas penggunaan bahan bakar fosil dan sudah diketahui bahwa biaya eksplorasi untuk mendapatkan bahan bakar fosil juga sangat tinggi dibandingkan dengan energi terbarukan yang sudah tersedia secara alami [3]. Penggunaan energi potensial air untuk pembangkit listrik memiliki nilai ekonomis. Beberapa penelitian mengenai sumber energi terbarukan yang dapat digunakan sebagai pembangkit energi listrik di antaranya adalah pembangkit listrik sistem TEG dengan memanfaatkan pengering rak telur yang diteliti oleh [4] sistem pembangkit listrik berbasis *flywheel* dengan memanfaatkan sisa energi mekanik. Dalam kajian yang ini yang akan dibahas adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA), turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Energi potensial dapat diubah menjadi energi mekanik dengan menggunakan turbin air. Poros turbin air dihubungkan dengan generator agar energi mekanik dapat dikonversi menjadi energi listrik (Muis, 2010). Untuk meningkatkan tenaga listrik yang relatif kecil diperlukan pembangkit tenaga air yang sederhana,

mudah dioperasikan serta pemeliharaan dan penyediaan suku cadangnya tersedia. Secara ekonomis biaya operasional dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Salah satu tipe pembangkit tenaga air yang sederhana ialah jenis turbin *crossflow*.

Di Abad 19, turbin air dikembangkan dan digunakan secara luas untuk untuk menghasilkan energi listrik sehingga industri maupun rumah-rumah dapat pasokan listrik. Desain turbin mempunyai susunan mekanis yang lebih baik dan semua turbin reaksi modern menggunakan desain ini [5].

Debit yang direkomendasikan agar turbin *crossflow* dapat dioperasikan adalah sebesar 20 liter/detik hingga 10 m³/detik dan *head* antara 1 m sampai 200 meter [6].

Dari Karakteristik yang telah diketahui dari turbin *crossflow* maka dibuatlah alat yang kemudian diuji di laboratorium. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja efektif turbin *crossflow* jika diterapkan pada Pembangkit Listrik Tenaga *Microhydro* (PLTMH) di pedesaan yang memiliki aliran sungai atau bendungan yang sesuai dengan karakteristiknya.

KAJIAN LITERATUR

Sejarah Turbin Air

Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk tenaga industri pada jaringan listrik. Sekarang lebih umum dipakai untuk generator listrik. Turbin kini pula dimanfaatkan secara luas dan merupakan sumber energi yang dapat diperbarukan serta didukung oleh regulasi dari pemerintah Indonesia tentang pemanfaatan energi baru terbarukan. Awal mulanya turbin dikenal hingga sekarang sebagai kincir air. Pada mulanya kincir dipergunakan untuk

pengairan ladang persawahan. Kincir air ini dipertimbangkan karena ukuran kincirnya, yang membatasi debit dan *head* yang dapat dimanfaatkan. 2 indikator ini yang membuat para ilmuwan mengubah kincir air ini sebagai pembangkit listrik yang sampai sekarang dikenal Turbin modern atau Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Perkembangan kincir air menjadi turbin modern membutuhkan jangka waktu yang cukup lama. Perkembangan yang dilakukan dalam waktu revolusi industri menggunakan metode dan prinsip ilmiah. Mereka juga mengembangkan teknologi material dan metode produksi baru pada saat itu [7].

Kata *turbine* ditemukan oleh seorang insinyur perancis yang bernama Claude Bourdin pada awal abad ke 19, yang diambil dari terjemahan bahasa latin dari kata *whirling* (Putaran) atau *Vortex* (Pusaran air). Perbedaan dasar antara turbin air dengan kincir air adalah komponen putaran air yang memberikan energi pada poros yang berputar. Komponen tambahan ini memungkinkan turbin dapat memberikan daya yang lebih besar dengan komponen yang lebih kecil. Turbin dapat memanfaatkan air dengan putaran lebih cepat dan memanfaatkan *head* yang lebih tinggi [8].

Pengertian Turbin Air

Turbin secara umum dapat diartikan sebagai mesin penggerak karena jika energi yang berupa fluida menabrak sudu-sudu turbin maka akan memutar roda turbin, roda turbin tersebut terkoneksi dengan poros yang dihubungkan ke generator. Fluida kerja tersebut bisa berupa air, uap dan gas. Dengan demikian turbin air dapat diartikan sebagai suatu mesin penggerak yang fluidanya berupa air [9].

Berbeda yang terjadi pada mesin torak (motor bakar), pada turbin tidak

terdapat bagian mesin yang bergerak translasi. Bagian turbin yang berputar dinamai rotor (*runner* pada turbin *crossflow*) atau sudu-sudu turbin bahkan biasanya disebut *runner* turbin, sedangkan bagian yang tidak berputar dinamai stator atau rumah turbin. Roda turbin terletak didalam rumah turbin dan roda turbin memutar poros daya yang memutar atau menggerakkan bebannya di generator (energi mekanik berupa menjadi energi listrik). Kalau ditinjau dari daya yang dihasilkan turbin air *crossflow* maka istilah yang sesuai dengan daya yang dibangkitkannya sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) yang artinya adalah turbin air jenis *crossflow* dapat menghasilkan daya kurang dari 100 kW dan sumber energi airnya yang relatif kecil namun bisa diperbesar jika memanfaatkan *head* air.

Prinsip Kerja Turbin Air

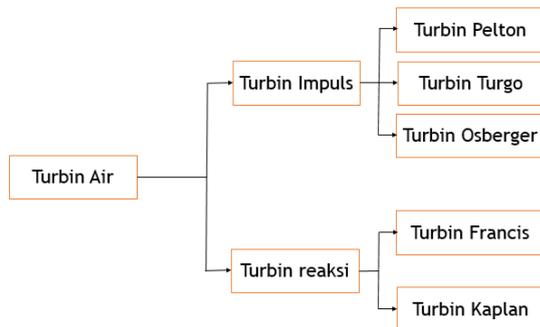
Pada roda turbin terdapat sudu yaitu suatu konstruksi lempengan dengan bentuk dan penampang tertentu, air sebagai fluida kerjanya mengalir melalui ruang diantara sudu tersebut, dengan demikian roda turbin akan dapat berputar dan pada sudu akan ada gaya yang bekerja akibat tubrukan dari fluida air yang mengenainya. Gaya tersebut akan terjadi karena ada perubahan momentum dari fluida kerja air yang mengalir diantara sudunya. Sudu hendaknya dibentuk sedemikian rupa sehingga dapat terjadi perubahan momentum pada fluida kerja air tersebut. Bentuk sudu-sudu tiap turbin itu berbeda-beda sesuai dengan bentuk konstruksi dan fungsi gaya aliran turbin tersebut. [9]

Klasifikasi Turbin

Turbin air mengubah energi potensial air menjadi energi mekanik. Energi mekanik diubah menjadi energi listrik dengan menggunakan generator listrik. Berdasarkan prinsip kerja turbin

dalam mengubah energi mekanis (momentum fluida kerjanya), turbin air dibedakan menjadi dua kelompok yaitu turbin impuls dan turbin reaksi.

Diagram klasifikasi turbin air dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 1. Diagram Klasifikasi turbin air

Turbin *Cross-flow*

Turbin tipe ini dibuat pertama kali di Eropa. Nama *Cross-flow* diambil dari kenyataan bahwa air melintasi kedua sudu gerak atau *runner* dalam menghasilkan putaran (rotasi). Sedangkan turbin ini juga biasa disebut turbin bangki yang diambil nama bangki (dari Hungaria) dan Mitchell (dari Austria) adalah nama ahli teknik yang mengembangkan prinsip-prinsip turbin tersebut yaitu turbin ini dilengkapi dengan pipa hisap, dan sebagai akibatnya daya yang dihasilkan turbin menjadi lebih baik karena proses kerja dan randemen turbin bekerja efektif sebagai sumber penghasil energi atau power. Turbin *Cross-flow* ini mempunyai arah aliran yang radial atau tegak lurus dengan sumbu turbin. Turbin ini mempunyai alat pengarah sehingga dengan demikian celah bebas dengan sudu-sudu di sekeliling roda hanya sedikit. Karena itu pada keadaan beban penuh perputarannya roda terjadi sedikit kemacetan-kemacetan yang menimbulkan sedikit tekanan lebih. Turbin *cross-flow* terdiri dari tiga bagian utama yaitu roda jalan, alat pengarah dan rumah turbin. Dalam aplikasinya turbin *cross-flow* baik sekali digunakan untuk pusat tenaga air yang kecil dengan daya kurang lebih 750

KW. Tinggi air jatuh yang bisa digunakan diatas 1 m sampai 200 m dan kapasitas antara 0,02 m³/s sampai 7 m³/s.

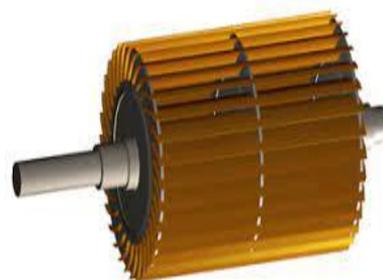
Komponen-komponen utama konstruksi turbin *cross-flow* adalah sebagai berikut:

1. Rumah turbin
2. Alat pengarah (distributor)
3. Roda jalan
4. Penutup
5. Katup udara
6. Pipa hisap
7. Bagian peralihan



Gambar 2. Konstruksi Turbin Osberger atau Turbin *Cross-flow*

Salah satu komponen utama pada turbin *cross-flow* yaitu *runner* atau sudu-sudu turbinnya.



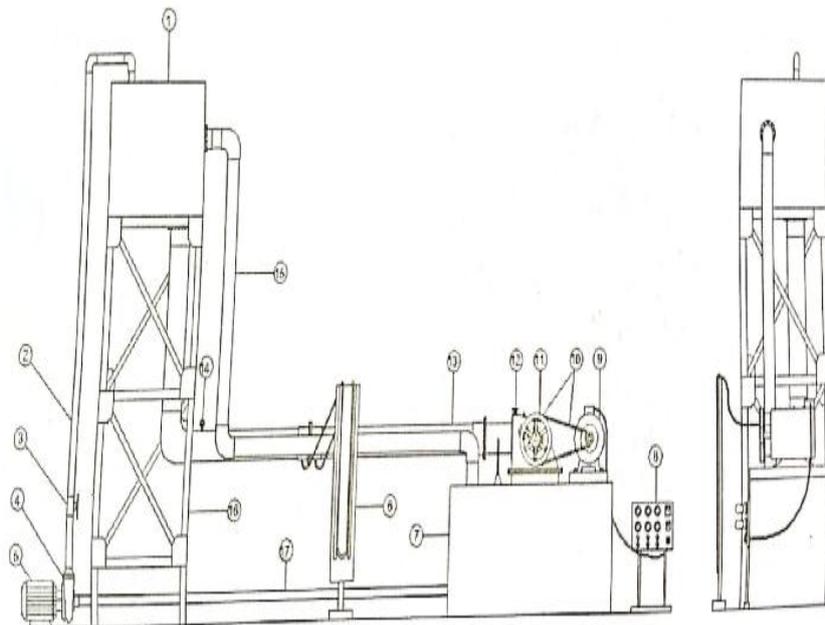
Gambar 3. *Runner* Turbin *Cross-flow*

METODE

Gambar 4 merupakan desain peralatan pengujian yang berada di salah satu Laboratorium Pengujian Mesin-Mesin Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muslim Indonesia. Pengujian ini menitikberatkan pada pengambilan

sampel dengan sudu pengarah yang bervariasi dan ketinggian air yang tetap serta pembebanan lampu 100 watt. Sebelum pengambilan sampel, adapun alat yang digunakan ialah seperangkat alat pengujian turbin, manometer, termometer, alat ukur tegangan (voltage), seperangkat lampu listrik dan *hand tachometer*. Dalam pengujian ini, katup suplai pada pompa reservoir sudah dalam keadaan terbuka. Selanjutnya *switch* listrik dinyalakan (posisi on), sehingga akan mengisi reservoir yang berada pada bagian atas untuk disirkulasikan melalui turbin. Setelah memastikan sirkulasi

reservoir berjalan dengan baik maka dilakukan pengaturan posisi sudu pengarah dan menetapkan beban lampu dengan putaran poros generator. Jika keadaan turbin menjadi normal, maka dilakukan pengamatan pengukuran manometer, *pressure gauge*, termometer, meter, tegangan, dan putaran poros generator. Hal ini serupa untuk sudu pengarah yang bervariasi. Setelah selesai, *switch* listrik yang semula posisi on lalu menjadi posisi *off*. Kemudian alat pengujian dibersihkan dan data hasil pengamatan selengkapnya dapat dibuat dalam bentuk table untuk proses analisa.



Gambar 4. Instalasi pengujian turbin *crossflow*

Keterangan :

- | | |
|------------------------------------|---------------------------------|
| 1. Reservoir | 10. Sabuk dan puli |
| 2. Pipa pengisian air ke reservoir | 11. Turbin |
| 3. Katup | 12. Pengatur sudu-sudu turbin |
| 4. Pompa | 13. saluran pipa penstok |
| 5. Motor pompa | 14. <i>Pressure gauge</i> |
| 6. Manometer | 15. Saluran pipa sirkulasi |
| 7. Bak penampung air | 16. Rangka reservoir |
| 8. Panel instalasi bohlam | 17. Pipa pengisapan air dan bak |
| 9. Generator | |

Dalam menganalisis kinerja dari turbin *crossflow*, maka dilakukan Teknik Analisa data yang didapatkan dengan

menggunakan formula. Adapun untuk menghitung daya generator menggunakan

persamaan (1) (Mafruddin & Irawan, 2014; Sumiati & Zamri, 2013).

$$P_g = V \cdot I \quad (1)$$

Dimana :

P_g : Daya generator
(watt)

V : Tegangan (volt)

I : Arus listrik (ampere)

Sementara daya output-input turbin (P_t) dihitung menggunakan persamaan (2) (Heriyanto, 2010).

$$P_t = \frac{V \cdot I}{\eta_g} \quad (2)$$

Dimana:

P_g : Daya generator (watt)

V : Tegangan (volt)

I : Arus listrik (ampere)

η_g : Efisiensi generator
(0,64)

Laju aliran volume (Q) dihitung menggunakan persamaan (3) (Sutrimo & Adiwibowo, 2019):

$$Q = C_d \cdot A_o \cdot \frac{\sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h (\rho_{Hg} - \rho_{H_2O})}}{\rho_{H_2O} [1 - A_o / A_1]^2} \quad (3)$$

Dimana :

Q : Kapasitas aliran air (m^3/s)

C_d : Koefisien discharge orifice
(0,6 - 0,8)

A_o : Luas penampang orifice
($d_o = 10 \rightarrow 0,01 m^2$)

A_1 : Luas penampang pipa
($d_1 = 20 \rightarrow 0,02 m^2$)

ρ_{H_2O} = 995,99 kg/m^3

ρ_{Hg} = 13600 kg/m^3

g : gravitasi bumi (9,81 m/s)

Aliran air yang mengalir di dalam pipa, luas penampang dihitung menggunakan persamaan (4) (Morong, 2016).

$$A = \frac{\pi}{4} d^2 \quad (4)$$

Head efektif (H_t) dihitung dengan persamaan (5) [6].

$$H_t = H_{st} - H_v$$

atau

$$H_t = \frac{P_s}{\gamma} - \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (5)$$

Untuk menghitung daya air (P_a) menggunakan persamaan (6) (Dietzel & Sriyono, 1988).

$$P_a = \gamma \cdot Q \cdot H_t \quad (6)$$

Efisiensi turbin (η_t) dihitung dengan menggunakan persamaan (7) (Setiawan et al., 2013):

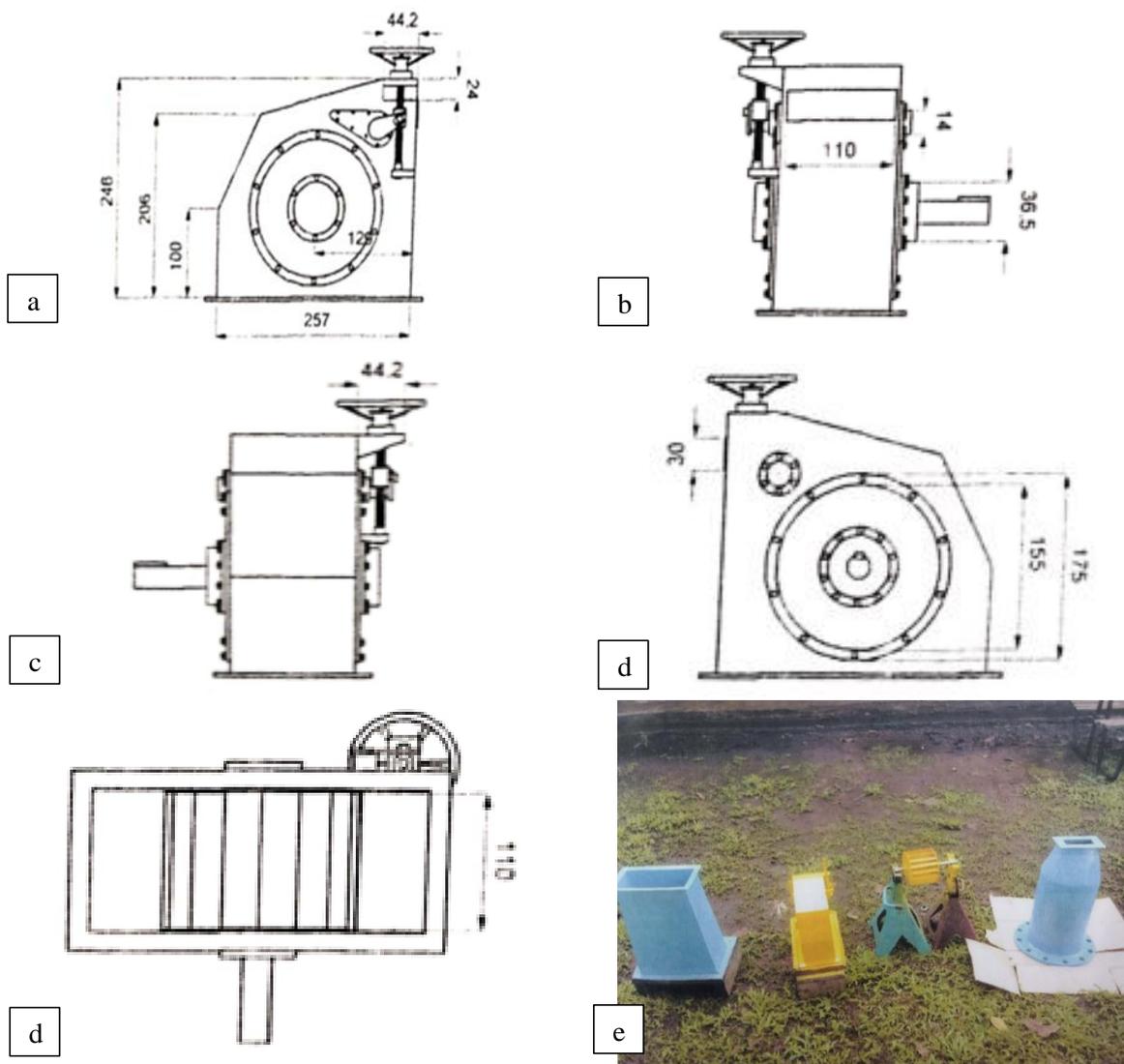
$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \quad (7)$$

Dimensi turbin *crossflow* dapat dilihat pada Gambar 5.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Turbin

Pada pengujian ini dilakukan 5 kali perubahan sudut sudu pengarah yang berpengaruh terhadap besarnya putaran turbin. Perubahan sudut sudu pengarah terhadap jumlah debit atau debit air yang mengalir menumbuk sudu-sudu turbin dan menghasilkan tenaga atau energi untuk memutar poros turbin. Jika sudut sudu pengarah diperbesar, maka debit dan kecepatan aliran akan semakin besar, sehingga energi kinetik air semakin kuat untuk memutar sudu-sudu turbin yang berdampak pada putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan *pully* poros generator. Jika putaran poros generator berubah, maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga berubah. Perubahan sudut sudu pengarah yang bervariasi dapat mengakibatkan kecepatan aliran air yang menumbuk sudu-sudu turbin bervariasi pula. Pada pengujian yang dilakukan, bahwa perubahan sudut sudu pengarah maksimal yaitu 40° yang menghasilkan kecepatan aliran dan putaran turbin yang maksimal, sehingga nilai daya keluaran turbin yang dihasilkan juga paling besar.



Gambar 5. a. tampak depan turbin *crossflow*, b. tampak samping kanan, c. tampak samping kiri d. tampak belakang, e. dimensi peralatan turbin *crossflow*

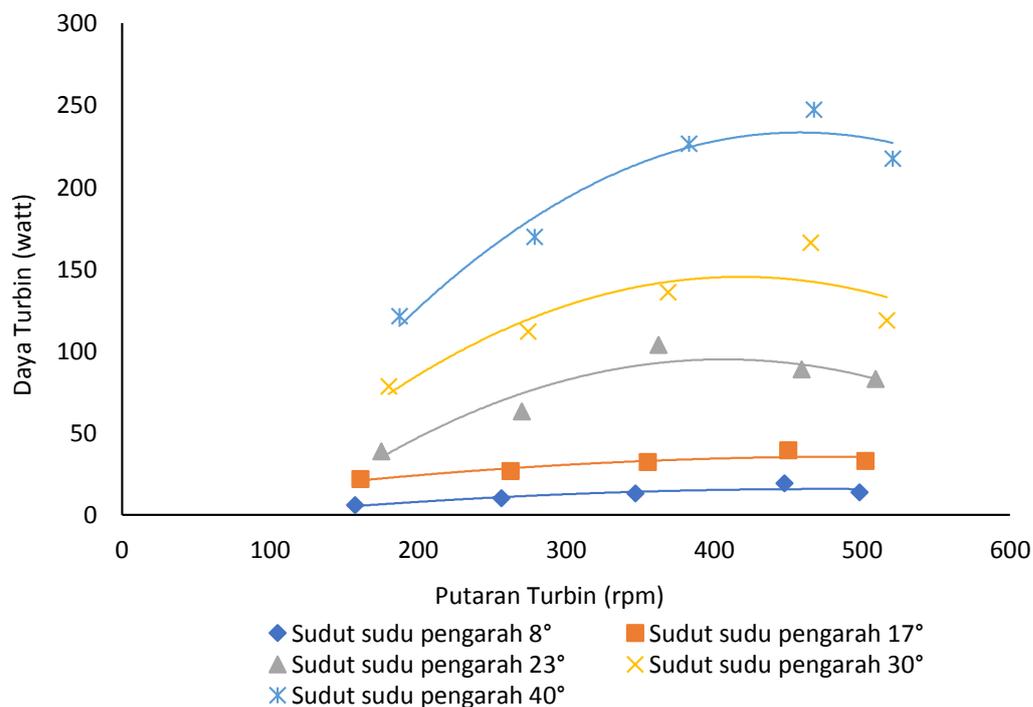
Daya turbin dihitung berdasarkan tegangan volt yang dihasilkan dan arus listrik yang mengalir pada generator. Untuk putaran turbin dapat diketahui melalui pengukuran dengan menggunakan *tachometer* yang diarahkan pada poros generator dimana terpaang sensor. Pengujian dilakukan dengan lima kali perubahan putaran turbin yaitu dengan cara melakukan perubahan sudut sudu pengarah dari 8° , maka putaran turbin yang dihasilkan sebesar 157,4 rpm dengan beban lampu 100 watt. Jika posisi sudut sudu pengarah dirubah, maka terjadi

perubahan putaran turbin dan berpengaruh terhadap daya output turbin. Hasil pengujian dan perhitungan hubungan antara daya turbin dengan putaran turbin selengkapnya dapat dilihat pada Gambar 4. Pada grafik tersebut memperlihatkan bahwa semakin tinggi putaran turbin yang dihasilkan oleh adanya energi kinetik air maka daya turbin (hasil kali tegangan dan arus listrik) yang dihasilkan oleh generator akan semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena putaran turbin berbanding lurus terhadap daya turbin.

Pada putaran turbin 175,2 rpm sampai 350 rpm dengan sudut sudu pengarah 23° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan daya turbin sebesar antara 38,6719 watt sampai 88,8875 watt. Pada putaran turbin 180 rpm sampai 372 rpm dengan sudut sudu pengarah antara 30° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan daya turbin sebesar antara 70,125 watt sampai 166,031 watt. Pada Putaran turbin 187,5 rpm sampai 520,7 rpm dengan sudut sudu pengarah antara 40° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan daya turbin

sebesar antara 121 watt sampai 247,285 watt.

Pada perubahan sudut sudu pengarah yang ke lima dengan masing-masing perubahan sudu pengarah antara 23° sampai 40° mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini disebabkan adanya gesekan poros semakin meningkat yang dapat menghambat laju poros turbin. Sedangkan perubahan sudu pengarah yang ke empat merupakan titik perubahan sudut sudu pengarah yang maksimal.



Gambar 6. Daya turbin (Pt) dengan Putaran turbin (ns)

Efisiensi Turbin

Pada pengujian ini dilakukan 5 kali perubahan sudut sudu pengarah yang berpengaruh terhadap besarnya efisiensi turbin. Perubahan sudut sudu pengarah berpengaruh terhadap jumlah atau debit air yang mengalir menumbuk sudu-sudu turbin dan menghasilkan tenaga/energi untuk memutar poros turbin. Jika sudut pengarah diperbesar, maka debit dan

kecepatan aliran akan semakin besar, sehingga energi kinetik air semakin kuat untuk memutar sudu-sudu turbin yang berdampak pada putaran poros turbin. Poros turbin dihubungkan dengan *fully* poros generator. Jika putaran poros generator berubah, maka tegangan dan arus listrik yang dihasilkan juga berubah. Perubahan sudut sudu pengarah yang bervariasi dapat mengakibatkan

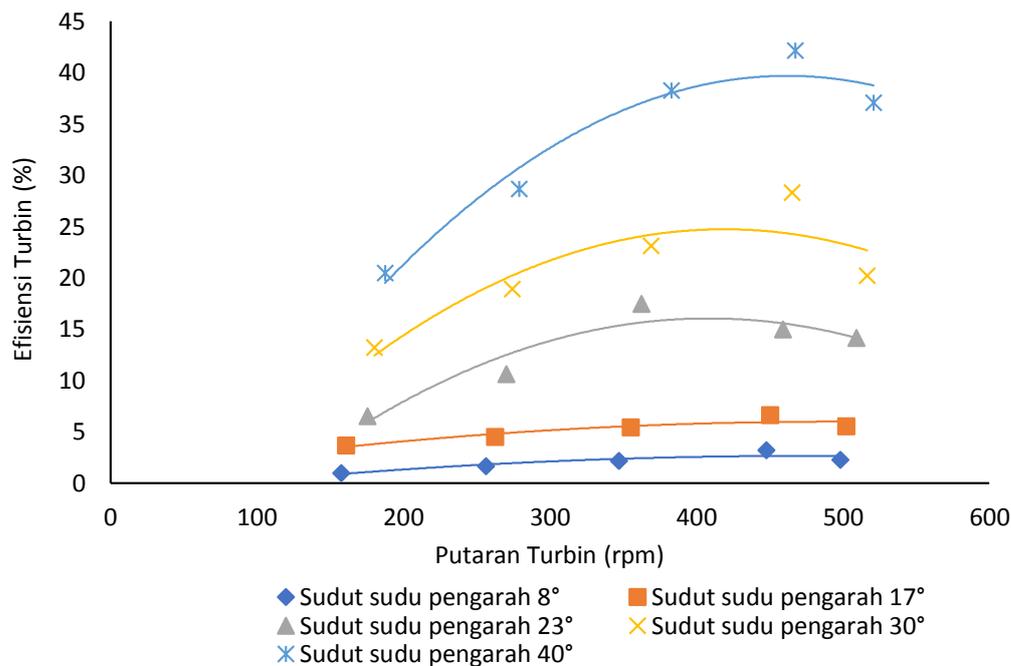
kecepatan aliran air yang menumbuk sudu-sudu turbin bervariasi pula. Pada pengujian yang dilakukan, bahwa perubahan sudu pengarah yang maksimal yaitu sudut 40° yang menghasilkan kecepatan aliran dan putaran turbin yang maksimal pula, sehingga nilai efisiensi turbin yang dihasilkan juga paling besar.

Efisiensi turbin dihitung berdasarkan perbandingan antara daya output turbin dengan daya air yang dihasilkan. Untuk putaran turbin dapat diketahui melalui pengukuran dengan menggunakan *tachometer* yang diarahkan pada poros generator dimana terpasang sensor. Pengujian dilakukan dengan lima kali perubahan putaran turbin yaitu dengan cara melakukan perubahan sudut sudu pengarah dari 8° sampai 40° . Untuk Posisi sudut sudu pengarah 40° , maka putaran turbin yang dihasilkan sebesar 520,7 rpm dengan beban lampu 100 watt. Jika posisi sudut sudu pengarah diubah, maka terjadilah perubahan putaran turbin yang mengakibatkan efisiensi turbin ikut berpengaruh. Hasil pengujian dan perhitungan antara efisiensi turbin dengan putaran turbin selengkapny dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 5 memperlihatkan bahwa semakin tinggi putaran turbin yang dihasilkan oleh adanya energi kinetik air maka efisiensi turbin (hasil bagi daya turbin dengan daya air)

yang dihasilkan oleh generator dan daya air didapat (hasil perhitungan perkalian debit aliran dengan *head* efektif) akan semakin meningkat. Kondisi ini terjadi karena putaran turbin berbanding lurus terhadap efisiensi turbin.

Pada putaran turbin 175,2 rpm sampai 509 rpm dengan sudut sudu pengarah 23° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan efisiensi turbin sebesar antara 6,527 % sampai 15,007 %. Pada Putara turbin 180 rpm sampai 516,5 rpm dengan sudut sudu pengarah 30° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan efisiensi turbin sebesar antara 13,213 % sampai 28,304 %. Pada putaran turbin 187,5 rpm sampai 520,7 rpm dengan sudut sudu pengarah 40° dengan pembebanan lampu 100 watt menghasilkan efisiensi turbin sebesar antara 20,464 % sampai 42,156 %.

Pada perubahan sudut sudu pengarah yang ke lima dengan masing-masing perubahan sudut pengarah antara 23° sampai 40° mengalami penurunan yang signifikan. Hal ini disebabkan karena adanya gesekan poros semakin meningkat yang dapat menghambat laju poros turbin. Sedangkan sudut sudu pengarah yang ke empat merupakan sudut pengarah yang maksimal.



Gambar 7. efisiensi turbin (η_t) dengan putaran turbin (n_s)

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian turbin *crossflow* dengan perlakuan pembebanan lampu 100 watt dan perubahan sudut pengarah yang bervariasi serta hasil pengolahan data menghasilkan daya turbin dan efisiensi turbin yang maksimal masing-masing ialah 247,285 watt dan 42,156 %. Model turbin *crossflow* dapat diterapkan dan dibangun di daerah-daerah yang memiliki potensi aliran sungai dengan tinggi air jatuh (air terjun) yang sesuai. Kesesuaian ini diambil dari teori yang telah dijelaskan oleh Mafruddin & Irawan mengenai debit aliran dan ketinggiannya. Olehnya itu Turbin *Crossflow* ini di uji dilab dengan ketinggian dan headnya sesuai dengan karakteristik dari Turbin *crossflow*. Sebab jenis turbin ini sangat sederhana dan mudah dibuat, sehingga debit aliran air yang rendah dengan *head* atau ketinggian jatuh air yang memadai dapat juga dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada almarhum guru kami **Prof Abdul Makhsud** dan seluruh rekan-rekan yang turut membantu baik secara langsung maupun tidak langsung selama kami melakukan penelitian.

REFERENSI

- [1] BPT. (2021). *Outlook Energi Indonesia 2021*. (ISBN 978-602-1328-20-0).
- [2] KEMEN-ESDM. (2020). *Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesian Nomor 4 Tahun 2020. No. 171*
- [3] Fe'l, M. N. S., Arwizet, K., & Irzal. (2016). Rancang Bangun Simulasi Turbin Air Cross Flow. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 1(2).
- [4] Harjanto, N. T. (2016). Dampak lingkungan pusat listrik tenaga fosil dan prospek pltn sebagai sumber energi listrik nasional. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir*, 1(01), 39-50.
- [5] Heriyanto, H. (2010). *Rancang bangun alat kontrol dan proteksi*

- terintegrasi berbasis Zelio logic smart relays untuk PLTMH* [Tesis, Universitas Gadjah Mada].
- [6] Jaya, M. A., Hamri, Habib, F., & Efendi, R. (2022). Perencanaan Pembangkit Listrik Berbasis Flywheel Ganda. *Jurnal Mekanova*, 8(1), 36-41.
- [7] Jayanegara, S., Djafar, Z., Djafar, Z., Azis, N., & Piarah, W. H. (2020). The Characterization of Thermoelectric Generator in Utilizing the Heat Waste of the Biomass Egg Drying Machine. *EPI International Journal of Engineering*, 3(1), 30-33.
- [8] Mafruddin, M., & Irawan, D. (2014). Pembuatan Turbin Mikrohidro Tipe Cross-Flow Sebagai Pembangkit Listrik Di Desa Bumi Nabung Timur. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 3(2), 7-12.
- [9] Biswas, S., & Das, A. (2016). A review of design and development of vertical axis cross-flow hydro turbinbe. *Renewable and Sustainable Energy Reviewers*, 59, 1075-1089.
- [10] Poernomo Sari, S., & Fasha, R. 2012. Pengaruh Ukuran Diameter Nosel 7 dan 9 mm terhadap putaran sudu dan daya listrik turbin pelton. *Jurnal Teknik Mesin*.
- [11] Dietzel, F., & Sriyono, Dakso. 1993. *Turbin Pompa dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.
- [12] Morong, J. Y. (2016). *Rancang Bangun Kincir Air Irigasi Sebagai Pembangkit Listrik di Desa Talawaan* [Tugas Akhir, Politeknik Negeri Manado].
- [13] Muis, A. (2010). Turbin Air Pada PLTA Larona. *Jurnal Ilmiah Matematika dan Terapan*, 7(1), 61-69.
- [14] Setiawan, Y., Wahyudi, I., & Nandes, E. (2013). Unjuk kerja turbin air tipe cross flow dengan variasi debit air dan sudut serang nosel. *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin*, 2(1), 21-25.
- [15] Sinagra, M., Sammartano, V., Aricò, C., Collura, A., & Tucciarelli, T. (2014). Cross-flow Turbine Design for Variable Operating Conditions. *Procedia Engineering*, 70, 1539-1548.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.02.170>
- [16] Sumiati, R., & Zamri, A. (2013). Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(2), 1-8.
- [17] Studi eksperimental pengaruh variasi jumlah sudu berpenampang l terhadap daya dan efisiensi turbin crossflow poros horizontal. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(1), 95-102.
- [18] Yuniarti, E. (2012). Rancangan Parameter Turbin Crossflow Generator Sikron Pada PLTMH Talang Lintang. *Berkala Teknik*, 2(4), 286-298.