



Pengaruh Laju Aliran Volume Internal Dan Sudut Kemiringan Terhadap Efisiensi Turbin Screw 1 Sudu

Amnur Akhyan^{a*}, Denny Satria^b

^aProgram Studi Teknik Mesin, Politeknik Caltex Riau

Jl. Umban Sari (Patin) No. 1, Rumbai, Umban Sari, Kec. Rumbai, Kota Pekanbaru, Riau 28265

INFO ARTIKEL

Histori artikel:

Diajukan 25 Oktober 2021

Diterima dalam bentuk revisi 15

Januari 2022

Diterima terbit 18 Januari 2022

Tersedia Online 19 Januari 2022

ABSTRAK

Salah satu energi alternatif Pembangkit Listrik Tenaga Piko Hidro (PLTPH) dan menjadi sumber tenaga listrik. Sumber energi yang kurang dimanfaatkan namun berpotensi adalah aliran internal (*Internal Flow*) pada pipa-pipa yang mengalirkan debit air dari tanki – tanki bangunan yang tinggi. Turbin *Screw* dapat memanfaatkan potensi kecepatan aliran dengan *head* (ketinggian) dan laju aliran volume (Q) tertentu yang dapat dikonversi menjadi energi listrik melalui putaran dan torsi. Pengaruh laju aliran volume dan tinggi jatuh air terhadap putaran menjadi variabel yang dapat diatur untuk melihat kinerja Turbin *Screw*. Pada penelitian ini dilakukan variasi Turbin *Screw* dengan *pitch* 1Ro dan 1,5Ro, laju aliran volume antara 10 sampai 30 ltr/min (lpm) yang dimonitoring oleh sebuah Rotameter dan sudut kemiringan Turbin *Screw* antara 20⁰-30⁰. Aliran bersumber dari sebuah pompa celup 33 lpm dan di atur menggunakan aliran *bypass* sebelum masuk ke Turbin *Screw*. Turbin *Screw* berputar akibat adanya aliran air yang menumbuk sudu-sudu dan putaran tersebut dapat diukur menggunakan *Tachometer*. Setelah pengambilan data, maka didapat efisiensi tertinggi pada Turbin *Screw* dengan jarak *pitch* 1Ro dengan sudut kemiringan 20° dengan laju aliran volume internal 30 lpm sebesar 28,89%.

Kata kunci: Internal Flow; PLTPH; Turbin *Screw*; Efisiensi.

E – MAIL

akhyan@pcr.ac.id

denny16ms@alumni.pcr.ac.id

ABSTRACT

One of the alternative energies is the Pico Hydro Power Plant (PLTPH) and is a source of electricity. An underutilized but potential source of energy is the internal flow in the pipes that carry water discharge from the tanks of tall buildings. Screw turbines can take advantage of the potential flow velocity with a certain head (height) and volume flow rate (Q) which can be converted into electrical energy through rotation and torque. The effect of volume flow rate and waterfall height on rotation is a variable that can be set to see the Turbine Screw performance. In this study, variations of the Turbine Screw with pitches of 1Ro and 1.5Ro were carried out, the volume flow rate was between 10 and 30 ltr/min (lpm) monitored by a Rotameter, and the Turbine Screw tilt angle was between 20-30°. Flow is sourced from a 33 lpm submersible pump and regulated using flow bypass before entering the Screw Turbine. The screw turbine rotates due to the flow of water hitting the blades and the rotation can be measured using a tachometer. After data collection, the highest efficiency is obtained on the screw turbine with a pitch distance of 1Ro with a tilt angle of 20° with an internal volume flow rate of 30 lpm of 28.89%.

Keywords: Internal Flow; PLTPH, Screw Turbine, Efficiency.

I. PENDAHULUAN

Penelitian tentang Turbin *Screw* telah banyak dilakukan terutama untuk aliran eksternal sehingga

dibutuhkan penelitian khusus terkait efisiensi Turbin *Screw* pada aliran internal. Turbin *Screw* mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan

dengan tipe Turbin *head* rendah yang lain, yakni tidak membutuhkan sistem kontrol spesial sebab pemakaian unit perlengkapan serta generator yang standar, gampang dalam konstruksi, gampang dalam instalasi serta perawatan, ramah lingkungan, efisiensi Turbin yang besar untuk kondisi operasi *head* rendah serta debit besar [1].

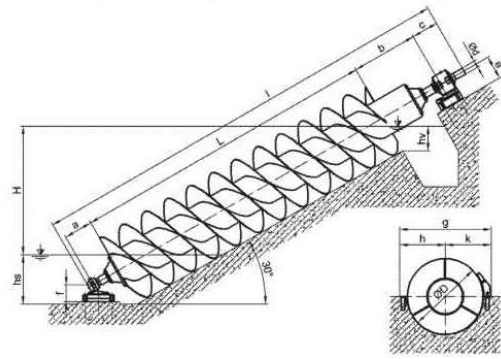
Efisiensi tertinggi Turbin *Screw* adalah 89%. Efisiensi ini terjadi saat $h_0 = R_0$, $Q = 0.5$ m/s, $n = 50$ rpm dan $\alpha = 25^\circ$. Semakin besar sudut Turbin *Screw*, semakin besar *head*, semakin besar *gap* antara *bucket* dan *Screw* maka efisiensi akan berkurang [2]. Turbin *Screw* dengan 1 sudu memiliki efisiensi tertinggi sebesar 90,83% dan daya mekanik tertinggi sebesar 19,9 kW. Efisiensi dan daya mekanik terendah dihasilkan oleh Turbin *Screw* dengan 5 sudu dengan nilai efisiensi 62,8% dan daya mekanik sebesar 13,76 kW [3]. Turbin *Screw* dengan jarak *pitch* $2R_0$ menghasilkan efisiensi tertinggi sebesar 73,08%. Efisiensi terendah dihasilkan oleh Turbin *Screw* dengan jarak *pitch* $1,2 R_0$ [4]. Peningkatan laju aliran volume air akan meningkatkan daya mekanik turbin, namun peningkatan daya mekanik tidak sejalan dengan efisiensi turbin. Efisiensi tertinggi terjadi pada sudut kemiringan Turbin 35° sebesar 81,4% dengan energi 4,26 watt [5]. Daya Turbin tertinggi dan efisiensi yang dihasilkan pada debit rata-rata pada Turbin *Screw* 2-bilah, *pitch* = $1,6R_0$, jari-jari eksternal, $R_0 = 0,1419$ m, dan jari-jari internal, $R_i = 0,0762$ m. adalah $0,00684$ m³/s. Kemiringan poros Turbin sekrup optimal adalah 35° , ditunjukkan oleh daya keluaran Turbin ulir 16,231 watt dan efisiensi 61,61% [6].

Geometri dari sebuah ulir Archimedes (*Archimedes Screw*) ditentukan oleh beberapa parameter eksternal yaitu jari-jari terluar, panjang ulir, dan kemiringan. Parameter internal seperti jari-jari dalam, jumlah *blade*, dan *pitch blade*. [7]. Efisiensi Turbin ulir dipengaruhi oleh bentuk geometri dan rugi aliran [8]. Sudut ulir yang lebih besar akan menghasilkan daya dan efisiensi yang lebih baik dibandingkan dengan sudut ulir yang lebih kecil [9].

1.1. Turbin *Screw*

Turbin *Screw* adalah salah satu Turbin yang sangat istimewa sebab dapat beroperasi pada daerah yang memiliki *head* yang sangat rendah (*head* kurang dari 10 m), tidak membutuhkan pipa pesat, mudah dalam pemasangan, mudah dalam perawatan dan tidak mengusik ekologi sungai ataupun *fish-friendly* [10]. Dalam penggunaan Turbin *Screw*, posisi sudu Turbin *Screw* tergantung dari kondisi *head* yang ada di lapangan. Turbin

Screw bekerja pada *head* rendah dengan ketinggian jatuh air antara 2–15m. Sudut untuk menentukan *head* Turbin terletak antara $30^\circ - 60^\circ$.



Gambar 1. Turbin *Screw* [7].

1.2. Torsi (*T*)

Torsi dari gaya berat air adalah hasil dari perkalian gaya tangensial pada sudu Turbin akibat gaya berat air di *bucket* dengan jarak titik berat volume *bucket* tersebut terhadap sumbu putar.

$$T = F_{tan} \cdot R \dots\dots\dots(1)$$

1.3. Gaya Hidrostatik (*F_{hid}*)

Perbedaan gaya hidrostatik pada sudu Turbin *Screw* disebabkan karena ada perbedaan antara *head* air di atas sudu Turbin dengan *head* air di bawah sudu turbin. Perbedaan besar gaya hidrostatik di atas sudu Turbin dengan gaya hidrostatik di bawah sudu Turbin adalah suatu gaya yang menjadi torsi sehingga menyebabkan rotor berputar [8].

Perhitungan gaya berat air dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$F_m = \rho \cdot V \cdot g \dots\dots\dots(2)$$

Dan gaya berat arah aksial (sejajar sumbu rotor) dapat dihitung menggunakan persamaan (3):

$$W = F_m \sin \theta \dots\dots\dots(3)$$

Sehingga gaya pada poros dihitung dari gaya yang terjadi pada sudut ulir dengan sudut γ

$$F_{tan} = F_m \sin \theta \sin \gamma \dots\dots\dots(4)$$

Perhitungan tekanan hidrostatik pada Turbin ulir dapat menggunakan persamaan (5).

$$P_{hid} = \frac{hu^2 - hd^2}{2} \rho g \dots\dots\dots(5)$$

Dimana: $hu = \Delta d + do$, $\Delta d = \frac{h}{m}$ dan $hd = do$, sehingga gaya tangensial Hidrostatik dapat dicari dengan persamaan (6)

$$F_{hid tan} = P_{hid} \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \dots\dots\dots(6)$$

1.4. Efisiensi Pada Turbin *Screw* (η)

Efisiensi pada Turbin dapat dicari dengan persamaan

$$\eta = \frac{P_{Mekanik}}{P_{Hidrolis}} \times 100\% \dots\dots\dots(7)$$

Dengan perhitungan daya mekanik dapat dicari dengan persamaan (8)

$$P_{mekanik} = T \times \omega \dots\dots\dots (8)$$

Nilai ω didapat dengan menggunakan persamaan (9)

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \dots\dots\dots (9)$$

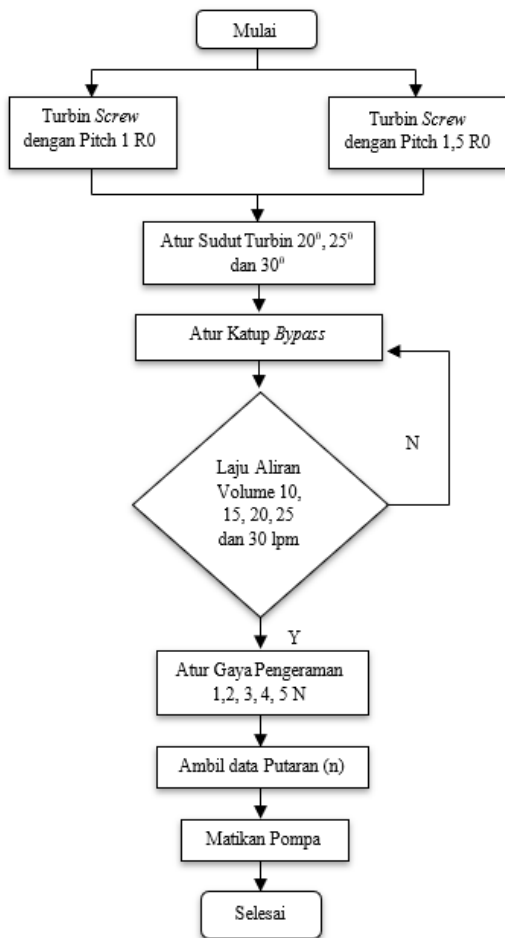
Daya hidrolis didapat dengan menggunakan persamaan (10)

$$P_{hidrolis} = \rho g H Q \dots\dots\dots (10)$$

II. MATERIAL DAN METODE

2.1 Flowchart Penelitian

Pada studi eksperimental ini dibutuhkan *flowchart* yang dapat menjelaskan tahapan proses penelitian seperti gambar 2:

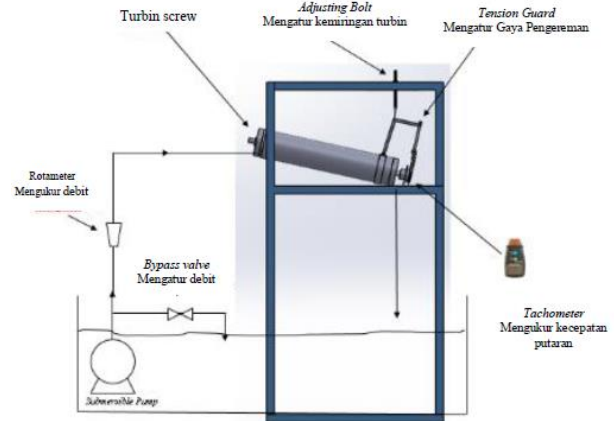


Gambar 2. Flowchart

2.2 Metode

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mesin Produksi dan Laboratorium Fluida Politeknik Caltex Riau. Sumber energi potensial air yang dimiliki dari tangki digantikan dengan menggunakan pompa air dengan kapasitas 33 ltr/min. Laju aliran volume (Q) yang akan memasuki Turbin Screw diatur menggunakan aliran *bypass* dan di monitoring pada sebuah rotameter dengan spesifikasi hingga 30 ltr/min. Akibat adanya gaya hidrostatis yang menumbuk sirip-sirip Turbin maka diharapkan Turbin

menghasilkan torsi (T) dan putaran (n). Putaran dapat diukur menggunakan tachometer sedangkan torsi dapat dihitung menggunakan persamaan. Penelitian ini akan dilaksanakan dengan menggunakan beberapa peralatan dan alat ukur yang di tampilkan pada *eksperimental apparatus* seperti pada gambar 3. Dengan mengikuti Langkah kerja sistem pada *flowchart* dan *eksperimental apparatus* maka akan dilakukan penelitian yang berfokus pada uji eksperimental untuk mendapatkan parameter-parameter yang akan digunakan sebagai dasar untuk mendapatkan efisiensi sebuah Turbin Dengan memvariasikan beberapa variable bebas seperti laju aliran volume (Q), sudut Turbin (θ) dan gaya pengeraman (F) agar mendapatkan parameter seperti head (H), torsi (T), daya (P) dan efisiensi (η).



Gambar 3. Eksperimental Apparatus

2.2.1 Peralatan Ekseperimen Apparatus:

1. Tangki air berfungsi untuk penampungan fluida yang akan digunakan pada penelitian ini.
2. Pipa uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah pipa yang terbuat dari bahan akrilik bening.
3. Pompa yang berfungsi untuk mensirkulasikan fluida dengan kapasitas 33 lpm.
4. Rotameter merupakan alat ukur debit air yang dipasang vertical setelah katup *bypass*.
5. Turbin Screw pada penelitian ini dirancang menggunakan *single blade* dan dipasang tepat ditengah sumbu pipa setelah Rotameter.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Hasil Analitis

3.1.1 Gaya Hidrostatik (F_{hid})

Untuk menghitung gaya hidrostatis diperlukan nilai volume *bucket*. Pada umumnya pada aliran eksternal Turbin Screw terendam 30% dari volume *bucket* sehingga nilai efisiensi dapat mencapai 65 sd 70%. Namun pada penelitian ini menggunakan aliran internal dan besarnya celah antara sudu turbin dan *bucket* menyebabkan bagian yang terendam dari turbin sekitar 10 sd 15% saja.

$$V_{air} = 15\% \left(\frac{\pi}{4} \times d^2 \times t \right) =$$

$$15\% \left(\frac{\pi}{4} \times 0,1^2 \times 0,5 \right) = 5,58 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

Dengan Persamaan 2 didapat:

$$F_m = \rho \cdot V \cdot g$$

$$F_m = 995,7 \times 5,58 \times 10^{-3} \times 9,81$$

$$F_m = 57,43 \text{ N}$$

1. Gaya berat arah aksial (sejajar sumbu rotor) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.

$$W = F_m \sin \theta$$

$$W = 57,43 \times \sin 30$$

$$W = 28,72 \text{ N}$$

2. Gaya pada poros dihitung dari gaya yang terjadi pada sudut ulir dengan sudut γ . Untuk menghitung gaya pada poros digunakan persamaan 4, dengan rumus:

$$F_{tan} = F_m \sin \theta \sin \gamma$$

$$F_{tan} = 57,43 \times \sin 30 \times \sin 26$$

$$F_{tan} = 12,6 \text{ N}$$

3. Gaya hidrostatis pada Turbin dapat menggunakan persamaan 5.

$$F_{hid} = \frac{hu^2 - ha^2}{2} \rho g$$

$$\text{Dengan } \Delta d = \frac{h}{m}$$

$$\Delta d = \frac{5,7 \text{ m}}{6}$$

$$\Delta d = 0,95 \text{ m}$$

$$\text{Dan } hd = do$$

$$do = h$$

$$do = 5,7 \text{ m}$$

$$hu = 0,95 + 5,7$$

$$hu = 6,65 \text{ m}$$

$$\text{maka, } F_{hid} = \frac{hu^2 - ha^2}{2} \rho g$$

$$F_{hid} = \frac{6,65^2 - 5,7^2}{2} 995,7 \times 9,81$$

$$F_{hid} = 57.300,456 \text{ N/m}^2$$

4. Gaya tangensial Hidrostatis dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$F_{hid tan} = H_{hid} \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$$

$$\text{Dengan } H_{hid} = \rho gh$$

$$H_{hid} = 995,7 \times 9,81 \times 5,7$$

$$H_{hid} = 55.676,556 \text{ Pa}$$

$$\text{Maka, } F_{hid tan} = H_{hid} \cos\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right)$$

$$F_{hid tan} = 55.676,556 \cos\left(\frac{30 + 26}{2}\right)$$

$$F_{hid tan} = 49.159,5 \text{ N}$$

3.1.2 Daya mekanik ($P_{mekanik}$)

Untuk menghitung daya mekanik, dibutuhkan nilai torsi dan nilai kecepatan sudut. Torsi dan kecepatan sudut dapat dengan rumus berikut:

1. Torsi (T)

R adalah jarak pusat poros dengan sumbu nozel air

$$R = 0,04 \text{ m}$$

Untuk menghitung nilai Torsi digunakan persamaan 1.

$$T = F_{tan} \cdot R$$

$$T = 12,6 \times 0,04 \text{ m}$$

$$T = 0,504 \text{ Nm}$$

2. Kecepatan sudut (ω)

Untuk menghitung nilai Kecepatan sudut dapat digunakan persamaan 9.

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}$$

$$\omega = \frac{2\pi 180}{60}$$

$$\omega = 18,84 \text{ Rad/s}$$

Untuk menghitung nilai daya mekanik digunakan persamaan 8.

$$P_{mekanik} = T \times \omega$$

$$P_{mekanik} = 0,504 \times 18,84$$

$$P_{mekanik} = 9,5 \text{ W}$$

3.1.3 Daya hidrolis (P_{hid})

Untuk menghitung daya hidrolis digunakan persamaan 11

Dimana diketahui:

$$\text{Head pompa } H = 5,7 \text{ m}$$

$$\text{Massa jenis air pada suhu } 30^{\circ}\text{C, } \rho = 995,7 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Debit pompa } Q = 30 \text{ lpm} = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Percepatan gravitasi } g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

Dengan Persamaan 10.

$$P_{hid} = \rho g H Q$$

$$= 995,7 \times 9,81 \times 5,7 \times 5 \cdot 10^{-4}$$

$$= 27,84 \text{ W}$$

3.1.4 Efisiensi (η)

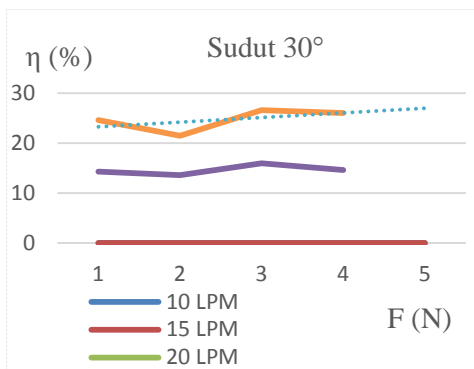
Untuk menghitung nilai efisiensi digunakan persamaan 7.

$$\eta = \frac{P_{Mekanik}}{P_{Hidrolis}} \times 100\%$$

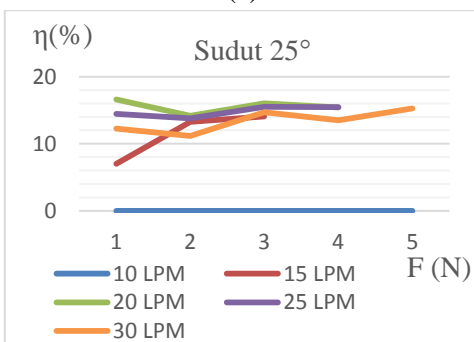
$$\eta = \frac{9,5}{27,84} \times 100\% = 34\%$$

3.2 Data Hasil Eksperimen

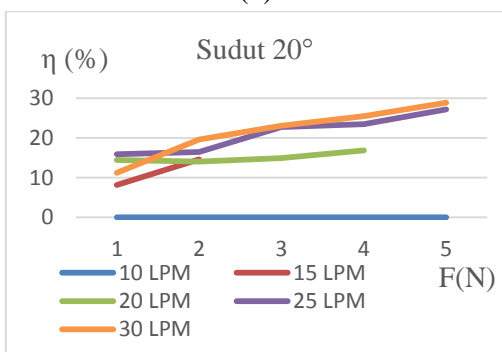
3.2.1 Grafik Efisiensi Turbin Screw 1 Ro.



(a)



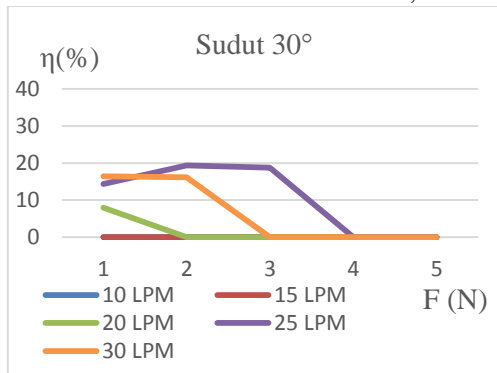
(b)



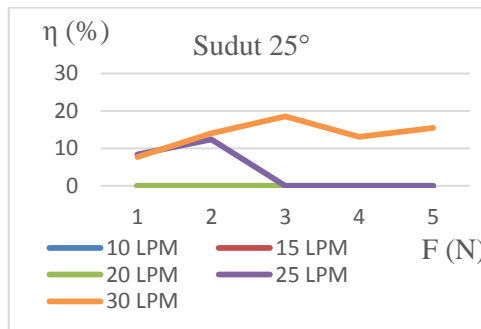
(c)

Gambar 4. Hubungan Gaya pengereman (F) dengan efisiensi (η) pada sudut (a)30⁰ (b)25⁰ dan (c) 30⁰ Turbin 1 Ro.

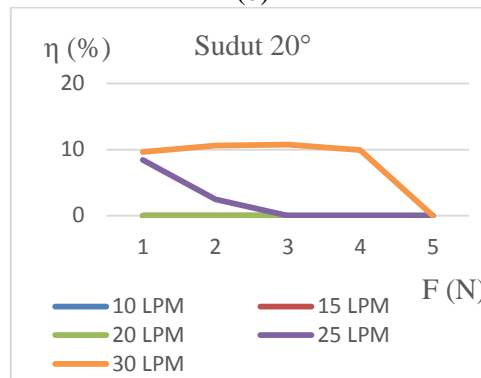
3.2.2 Grafik Efisiensi Turbin Screw 1,5 Ro.



(a)



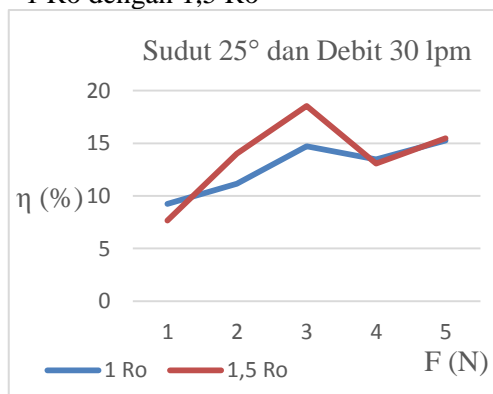
(b)



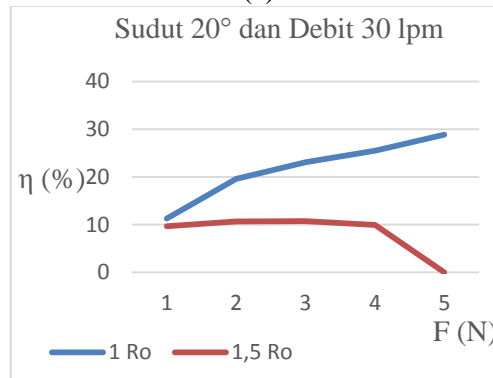
(c)

Gambar 5. Hubungan Gaya pengereman (F) dengan efisiensi (η) pada sudut (a)30⁰ (b)25⁰ dan (c) 30⁰ Turbin 1,5 Ro.

3.2.3 Grafik Perbandingan Efisiensi Turbin Screw 1 Ro dengan 1,5 Ro



(a)



(b)

Gambar 6. Efisiensi (η) Turbin pada debit 30 lpm, pada sudut (a) 25⁰, (b)20⁰

3.3 Pembahasan

Dari Gambar 4 dan 5 dapat dianalisa bahwa pada Turbin yang memiliki efisiensi 0% disebabkan karena air yang mendorong Turbin langsung mengalir ke lubang pembuangan air sehingga air tidak memutar turbin. Air yang mengalir langsung ke lubang pembuangan air. Selain itu nilai efisiensi 0% disebabkan laju aliran volume air yang terlalu kecil sehingga tidak mampu memutar Turbin yang telah diberikan gaya pengereman. Sudut Turbin dan celah antara diameter terluar turbin dan dinding pipa terlalu besar sehingga laju aliran volume air hanya melewati celah yang ada namun tidak dapat memutar turbin.

Dapat dilihat pada grafik efisiensi Turbin *Screw* pada debit 30 lpm dengan efisiensi kecil sekali disebabkan oleh air yang merendam Turbin *Screw* kurang dari 1/5 bagian volume pada pipa. Dari grafik perbandingan efisiensi gambar 6 Turbin *Screw* dengan *pitch* 1 Ro dan 1,5 Ro pada sudut 20° dan debit 30 lpm, dapat dilihat efisiensi tertinggi didapatkan oleh Turbin *Screw* 1 Ro dengan efisiensi 28,89%. Hal ini terjadi akibat banyaknya *blade* Turbin yang dapat menahan laju aliran volume air sehingga volume air lebih banyak tertahan dan tentunya Turbin dapat di putar. Efisiensi pada Turbin 1,5 Ro cenderung lebih stabil dibanding dengan Turbin 1 Ro. Efisiensi Turbin *Screw* 1 Ro dan 1,5 Ro pada sudut 25° dan debit 30 lpm, dapat dilihat efisiensi tertinggi didapatkan oleh Turbin *Screw* 1 Ro dengan efisiensi 18,56%.

Nilai efisiensi Turbin pada seluruh pengujian dibawah efisiensi Turbin hasil perhitungan analitis disebabkan proses manufaktur Turbin yang tidak sesuai dengan yang diharapkan. Banyaknya kehilangan energi (*loses*) yang menyebabkan laju aliran volume yang diharapkan mampu untuk menggerakkan Turbin tetapi tidak terjadi.

4 KESIMPULAN

1. Proses manufaktur sangat berpengaruh terhadap kinerja dan efisiensi Turbin *Screw*. Efisiensi turbin tidak optimal disebabkan oleh *losses*, salah satu penyebab *losses* terbesar pada turbin yaitu jarak *clearance* antara turbin dengan *bucket*.
2. Aliran internal tidak tepat diterapkan pada Turbin *Screw* karena hanya menaikkan putaran tetapi menurunkan torsi. Sehingga nilai efisiensi turbin yang didapat sangat rendah jika dibandingkan menggunakan aliran eksternal.
3. Efisiensi Turbin *Screw* 1 sudu dengan jarak *pitch* 1 Ro tertinggi (28,89%) didapat pada laju aliran volume internal 30 lpm, dan sudut kemiringan 20°. Efisiensi Turbin *Screw* 1 sudu

dengan jarak *pitch* 1,5 Ro tertinggi (21,76%) didapat pada aliran volume internal 30 lpm, dan sudut kemiringan 20°.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada orang tua dan keluarga penulis, kepada teman-teman peneliti yang telah memberikan saran yang bermanfaat serta adek-adek mahasiswa dan semua pihak yang terlibat dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Adly and L. Hendro, "Perancangan dan Realisasi Model Prototipe Turbin Air Type *Screw* (Archimedean Turbine) Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Dengan Head Rendah di Indonesia," *Jurnal Teknik*, vol. 2, no. 31, pp. 1-7, 2009.
- [2] T. Saroinsong, et al, "The Effect of Head Inflow and Turbine Axis Angle Towards The Three Row Bladed *Screw* Turbine Efficiency," *International Journal of Applied Engineering Research*, vol. 10, no. 7, pp. 16977-16984, 2015.
- [3] K. Shahverdi, et al, "Numerical Optimization Study of Archimedes *Screw* Turbine (AST): A case study," *Journal of Renewable Energy*, no. 145, 2020.
- [4] Y. Hizhar, B. et al, "Rancang Bangun dan Studi Eksperimental Pengaruh Perbedaan Jarak *Pitch* dan Kemiringan Poros terhadap Kinerja Mekanik Model Turbin Ulir 2 Blade Pada Aliran Head Rendah," *Jurnal Sistem Mekanika dan Termal*, vol. 01, no. 01, pp. 27-34, 2017.
- [5] A. O. Sulaiman, et al, "Numerical and Experimental Modelling of Small Hydropower Turbine," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 80, Vols. 112-127, no. 1, 2021.
- [6] B. Yulistiyanto, et al, "Effect of flow discharge and shaft slope of archimedes (*Screw*) Turbin on the micro-hydro power plant," *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, vol. 12, no. 1, pp. 1-5, 2012.
- [7] C. Rorres, "The Turn of the *Screw*: Optimal Design of an Archimedes *Screw*," *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 126, no. 1, pp. 72-80, 2000.
- [8] G.Mueller and J.Senior, "Symplified theory of Archimedes *Screw*," *Journal of Hydraulic*, vol. 47, no. 5, pp. 666-669, 2010.
- [9] A. Havendri and I. Arnif, "Kaji Eksperimental Penentuan Sudut Ulir Optimum pada Turbin

Ulir pada Pusat Listrik Tenaga Mikro-hidro (PLTMH) dengan Head Rendah,” in *Seminar Nasional Teknik Mesin (SNTTM) Ke-9*, Palembang, 2010.

- [10] O. D. Kilam, “Review of Small Hydropower Technology,” *Journal of Renewable and Sustainable Energy Review*, vol. 26, pp. 515-520, 2013.