

Perilaku Aliran Roda Air arus Bawah Plat Bengkok dengan Variasi Jumlah Sudu

Luther Sule

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Tel.+062-0411-584639 Tamalanrea 90245
E-Mail : luther.sule@yahoo.co.id

Abstrak

Energi air merupakan sumber daya alam yang dimiliki oleh Negara Indonesia dan listrik merupakan kebutuhan esensial manusia. Energi air merupakan salah satu dari energi yang terbarukan yang dapat dikonversi ke energi listrik dengan ramah lingkungan tidak ada polusi yang berarti. Tenaga yang dihasilkan oleh roda air dapat digunakan langsung baik untuk pompanisasi irigasi maupun untuk menjalankan penggilingan padi bahkan menggerakkan alternator dan generator listrik. Adapun tujuan dalam penelitian ini adalah untuk menemukan kinerja terbaik roda air arus bawah model plat bengkok dengan variasi jumlah sudu dengan perlakuan debit air yang konstan ($Q=C$). Penelitian dan Pengujian dilakukan pada Laboratorium Mesin-Mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar Indonesia. Dalam menemukan kinerja terbaik dilakukan dengan menganalisis perilaku aliran sebelum dan sesudah sudu-sudu dengan cara teoritis dan eksperimen, hasil yang diperoleh bahwa untuk jumlah sudu 4 efisiensi teoritis Maksimum $\eta_{Teo} = 0,45$ dan efisiensi eksperimental $\eta_{Eks} = 0,28$, untuk jumlah sudu 6 efisiensi teoritis $\eta_{Teo} = 0,54$ dan eksperimen $\eta_{Eks} = 0,54$ dan untuk jumlah sudu 8 efisiensi teoritis $\eta_{Teo} = 0,51$ dan eksperimental $\eta_{Eks} = 0,39$. Disini diperoleh bahwa untuk capaian terbaik dari kinerja roda air arus bawah model plat bengkok untuk pengujian diatas diperoleh bahwa jumlah sudu 6 yang terbaik, baik secara teoritis maupun dari eksperimen, fenomena ini menyimpang dari pengujian-pengujian sebelumnya misalnya untuk plat rata dan lengkung dimana semakin banyak jumlah sudu kinerja semakin baik atau meningkat.

Keywords: Roda air sudu Plat Bengkok, efisiensi.

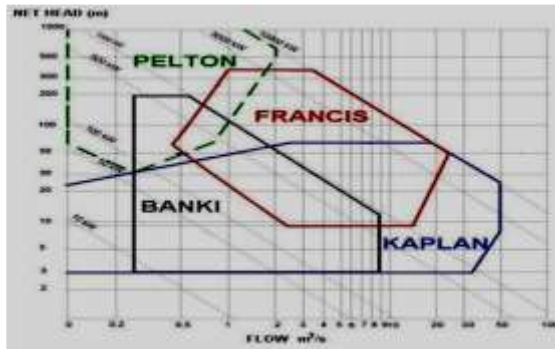
Pendahuluan

Energi air adalah energi yang telah dimanfaatkan secara luas di Indonesia yang dalam skala besar telah digunakan sebagai pembangkit listrik. Beberapa perusahaan di bidang pertanian bahkan juga memiliki pembangkit listrik sendiri yang bersumber dari energi air. Di masa mendatang untuk pembangunan pedesaan termasuk industri kecil yang jauh dari jaringan listrik nasional, energi yang dibangkitkan melalui sistem mikrohidro dimungkinkan akan tumbuh secara pesat. Dalam dekade terakhir ini peningkatan kebutuhan akan energi listrik di Indonesia menunjukkan angka yang begitu besar baik di desa maupun di kota. Untuk mengantisipasi hal tersebut, maka kehadiran tenaga listrik sangat dibutuhkan. Namun masih banyak daerah terpencil yang belum mendapatkan layanan listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN). Sedangkan kebutuhan masyarakat akan masalah penerangan semakin besar. Hal ini terjadi karena masih

terbatasnya pembangkit listrik yang ada dan sulitnya jalur transportasi ke daerah-daerah terpencil.

Di daerah dengan kondisi topografi yang bergunung-gunung ditemui banyak aliran sungai yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai pembangkit listrik. Potensi ini sebagian besar tersebar di daerah pedesaan, sementara masih banyak penduduk desa yang belum menikmati energi listrik sehingga sangat tepat untuk mengembangkan pembangkit listrik dengan tenaga air dimana biaya pengoperasiannya murah gampang dibuat dengan tenaga kurang terampil dan disamping itu bebas polusi.

Indonesia merupakan Negara yang sebagian besar wilayahnya adalah wilayah pertanian dimana terdapat banyak saluran irigasi primer maupun sekunder serta ada banyak sungai-sungai dangkal yang aliran airnya ada sepanjang tahun, dari grafik pemilihan turbin air yang dikemukakan di situs internet (*Sumber: (http://ccitonline-com/tiki-view_forum_thread.php?comments_parent_id = 2976 (2011))*)



Gbr.1. Grafik pemilihan jenis turbin

Sejak tahun 2000 sampai 2012 penelitian tentang roda air arus bawah efisiensi eksperimen dan teoritis berada diantara 30 -40%, misalnya Denny.M. 2003 dengan penelitiannya berjudul: *The Effisiensi of Overshot and Undershot Waterwheels* yang mengemukakan roda air atas dan arus bawah dengan sudu plat lengkung memperoleh efisiensi 22 – 30 %, dan juga penelitian oleh Gerald Muller dan kawan-kawan “Roda air untuk aliran sungai dangkal dan pasang surut laut” untuk sudu lengkung memperoleh efisiensi eksperimental maksimum sebesar 38 – 40 %, pengujian roda air arus bawah plat bengkok belum ada pengujian secara eksperimen untuk plat bengkok dimana dalam aplikasinya lebih mudah dibuat dan diproduksi dalam jumlah yang besar dan juga dikarenakan roda air arus bawah sangat cocok untuk head < 3 meter dimana turbin, Pelton, Francis dan Kaplan tidak cocok lagi dipilih untuk digunakan karena tidak efisien dan efektif lagi.

Perilaku Aliran Di Sudu

Kondisi Aktual

Dari pertimbangan teoritis dan hasil eksperimen maka di uji jumlah sudu 4, 6 dan 8 dengan mempertahankan debit aliran (Q) = 0,00594 m³/s disaluran untuk memperoleh besar kinerja yang dihasilkan setiap jumlah sudu tertentu diatas.



Gbr.2. Foto Perilaku aliran di sudu-sudu untuk 8 sudu pada saluran.

Dari Gbr.2. perilaku aliran yang dapat diketahui dari persamaan aliran dari segi kecepatan itu diberikan oleh persamaan teoritis :

$$V_2 > V_1 = \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan:

$$V_1 = Q/A \text{ (m/s)}$$

$$V_2 = V_1 + V_2$$

$$V_2 = (Q/A) + \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta h} \dots\dots\dots(2)$$

$\Delta h = h_1 - h_2$ (beda tinggi air masuk dan keluar sudu).

Potensi energi yang diserap oleh sudu dan diteruskan ke poros roda air ditentukan pula oleh besar kecilnya perbedaan ketinggian air masuk dan keluar sudu dengan tidak melewati head kecepatan pada daerah depan sudu atau tinggi aliran sebelum sudu.

Tinggi Air Kritis Di Saluran.

Dalam pemampatan aliran di saluran-saluran atau sungai yang dangkal untuk penggunaan roda air arus bawah maka perlu ditentukan h_{kritis} yaitu perbedaan ketinggian sebelum sudu dan sesudah sudu dimana pada kondisi h_{kritis} akan diperoleh produksi maksimal dari energi dan juga pada kondisi h_{kritis} inilah diperoleh efisiensi yang maksimal

Head kritis (h_{kritis}) diperoleh dari persamaan Daya air yang ada di saluran sbb:

$$N_{air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot \Delta h.$$

Dari Gbr.2. diperoleh perilaku aliran adalah;

$$\Delta h = h_2 + \frac{V_2^2}{2g} - (h_1 + \frac{V_1^2}{2g}) : \Delta h \geq 0 \dots\dots(3)$$

$$h_1 = \frac{V_2}{V_1} h_2$$

Untuk memperoleh h_{kritis} perlu diketahui debit aliran disaluran dan lebar dari saluran (b)

Dari persamaan kuantitas $Q = A \cdot V$ maka akan diperoleh head kritis sbb:

$$h_{kritis} = \sqrt[3]{\frac{Q^2}{g \cdot b^2}} \dots\dots\dots(4)$$

dengan;

Q = Kapasitas aliran di saluran (m³/s)

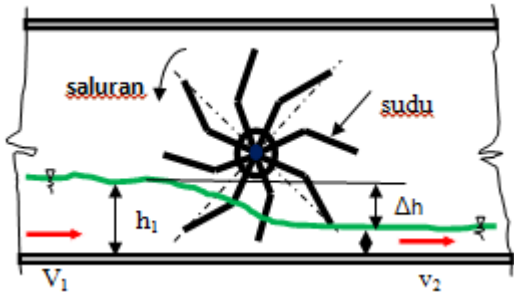
b = Lebar saluran.(m)

h_{kritis} = Tinggi air kritis sebelum sudu (m).

Dari hasil kalkulasi diperoleh $h_{kritis} = 0,083198 \text{ m} = 8,3198 \text{ cm}$.

Tinggi air kritis ini diperoleh bila rintangan aliran adalah plat rata dari perhitungan teoritis dengan $Q = 0,00594 \text{ m}^3/\text{s}$ dengan lebar saluran $b = 0,25 \text{ m}$.

Kajian Perilaku Aliran Di Sudu Secara Teoritis.



Gbr.3. Perilaku aliran di sudu dalam saluran

Keterangan Gambar;

h_1 = Tinggi permukaan air di depan /sebelum sudu dari dasar saluran (m).

h_2 = Tinggi permukaan air di depan/sesudah sudu dari dasar saluran (m).

Δh = Perbedaan tinggi permukaan air depan dan belakang suduh ($h_1 - h_2$). (m).

b = Lebar saluran = 25 cm = 0,25 m.

V_1 = Kecepatan air depan sudu (m/s).

V_2 = Kecepatan air belakang sudu (m/s)

Uraian ; Hukum kekekalan massa sistim (1 ke 2)

$$m_1 = m_2 \dots\dots\dots(5)$$

karena $\rho_1 = \rho_2$ maka

Debit aliran di saluran:

$$Q_1 = Q_2 \dots\dots\dots(6)$$

$$\text{Atau : } A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \dots\dots\dots(7)$$

Dengan : A_1 = luas penampang aliran disaluran sebelum sudu.

$$A_1 = h_1 \cdot b \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots (8)$$

$$A_2 = h_2 \cdot b \text{ (m}^2\text{)} \dots\dots\dots (9)$$

Subtitusi (4,5) ke (3) diperoleh:

$$h_1 \cdot b \cdot V_1 = h_2 \cdot b \cdot V_2 \text{ akan diperoleh;}$$

$$h_1 \cdot V_1 = h_2 \cdot V_2$$

$$\text{Jadi: } V_2 = \frac{h_1 \cdot V_1}{h_2} \text{ (m/s)} \dots\dots (10)$$

$$V_1 = \frac{h_2 \cdot V_2}{h_1} \text{ (m/s)} \dots\dots\dots(11)$$

Dari statika fluida diperoleh:

$$\text{Head } h = \frac{v^2}{2g} \dots\dots\dots(12)$$

Dari perilaku aliran terlihat bahwa $V_2 > V_1$ karena $A_1 > A_2$ akibat adanya Δh (perbedaan tinggi air sebelum dan sesudah sudu).

Jadi besar potensi head yang terjadi disudu hanya akibat Δh yang terjadi.

$$\Delta h = \frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \dots\dots\dots(13)$$

Dari persamaan kontinuitas diperoleh persamaan (3)

$$Q = A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2 \text{ maka } \dots\dots\dots(14)$$

$$Q = (h_1 \cdot b) \cdot V_1. \text{ ----} \rightarrow V_1 = Q / (h_1 \cdot b).$$

Secara teoritis daya air yang bekerja pada sudu-sudu roda air adalah:

$$N_{\text{Air}} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot h. \text{ (watt)} \dots\dots\dots(15)$$

Dalam hal ini diperoleh dari persamaan (13) dan (14) disubtitusi ke persamaan (15)

diperoleh:

$$N_{\text{Teo}} = \rho \cdot g \cdot (h_1 \cdot b) \cdot V_1 \cdot \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right) \dots\dots(16)$$

Daya yang diserap poros akibat torsi sbb:

- Gaya Untuk memutar poros kincir

$$F_k = m \cdot g. \dots\dots\dots(17)$$

- Torsi yang dihasilkan pada poros kincir.

$$TK = F_k \cdot r_s \dots\dots\dots (18)$$

Dimana : r_s = jari-jari sudu (1/2 Diameter).

- Daya Poros roda air.

$$N_{\text{poros}} = \omega \cdot Tk \dots\dots\dots(19)$$

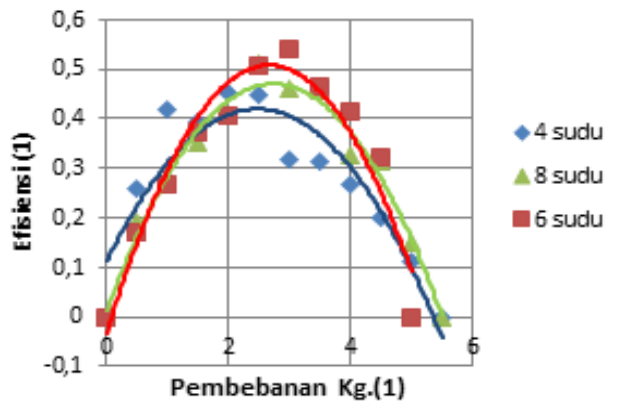
$$\text{Dengan: } \omega = \frac{2 \pi n}{60}$$

- Efisiensi roda air secara theoritis adalah

$$\eta_{\text{Teo}} = \frac{N_{\text{poros}}}{N_{\text{Air}}} \cdot 100\%$$

$$\eta_{\text{Teo}} = \frac{\omega \cdot Tk}{\rho \cdot g \cdot (h_1 \cdot b) \cdot V_1 \cdot \left(\frac{V_2^2}{2g} - \frac{V_1^2}{2g} \right)} \dots\dots\dots(20)$$

Dari hasil perhitungan secara teoritis diperoleh hubungan seperti Gbr.4. dibawah.



Gbr.4. Garfik. Hubungan efisiensi dengan pembebanan secara teoritis.

Dari hasil analisa secara teoritis terlihat bahwa efisiensi untuk roda air dengan jumlah plat 6 efisiensinya lebih tinggi sedikit dari 8 sudu ini diakibatkan oleh penyerapan energi di sudu lebih besar yakni 6 sudu Daya terbesar yang terserap $N_{\text{Air}} = 2,7 \text{ watt}$ pada pembebanan 3,5 kg dan untuk 8 sudu daya terbesar yang diserap $N_{\text{Air}} = 2,31 \text{ watt}$ pada pembebanan 2,75 sesuai Gbr.4.diatas. Efisiensi Maksimum 4 sudu $\eta_{\text{Teo}} = 0,45$ dan 6 sudu efisiensi maksimumnya $\eta_{\text{Teo}} = 0,54$ serta 8 sudu efisinsi maksimumnya $\eta_{\text{Teo}} = 0,51$

Kajian Perilaku Aliran Di Sudu Secara Ekperimen



Gbr.5. Sistem pengereman pada sudu

- Efisiensi roda air secara eksperimen. Dari persamaan 20 diperoleh daya di poros roda air.

$$\eta_{Eks} = \frac{N_{poros}}{N_{Air}} \cdot 100\% \dots\dots(21)$$

$$N_{Air} = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H.$$

Dengan ;

$$H = V^2/2g.$$

$$Q = A \cdot V$$

H = Head akibat kecepatan (m).

$$V = Q / A.$$

A = Luas penampang aliran, dalam hal ini tinggi air dari dasar saluran ke permukaan air yang mengalir. (tinggi X lebar saluran).

Jadi diperoleh persamaan baru daya air disaluran.

$$N_{air} = \rho \cdot g \cdot A \cdot V \cdot V^2/2g = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3. \text{ (watt).} \dots (22)$$

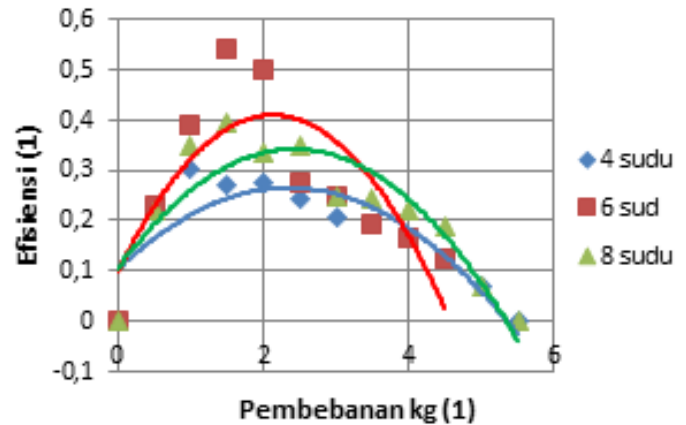
- Efisiensi yang diperoleh dari eksperimen.

$$\eta_{Eks} = \frac{\omega \cdot T_k}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3} \cdot 100\% \dots\dots(23)$$

Dari hasil kajian secara eksperimen maka diperoleh hubungan efisiensi antara sudu 4, 6 dan 8 sebagai berikut:



Gbr.6. Foto permukaan air pada saat h_{kritis} 6 sudu

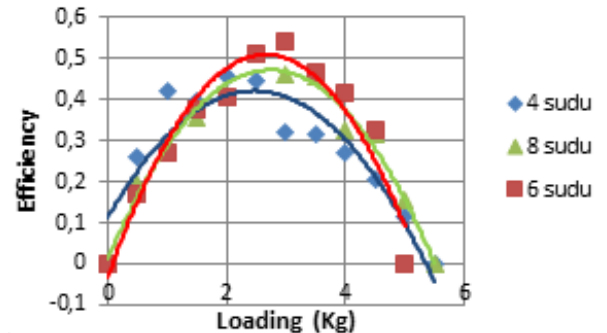


Gbr.7. Efisiensi eksperimental 4, 6 Dan 8 sudu

Dari tebaran data hasil kajian secara eksperimen terlihat pula bahwa untuk 6 sudu efisiensi yang diperoleh maksimum lebih besar dari 8 sudu dan 4 sudu yaitu: $\eta_{Eks.} = 0,54$ untuk 6 sudu sedangkan 8 sudu $\eta_{Eks.} = 0,39$ dan 4 sudu $\eta_{Eks.} = 0,28$

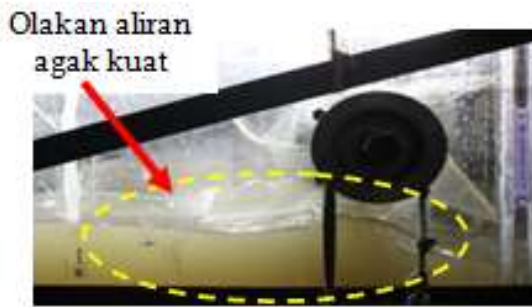
Pembahasan

Untuk hasil pengujian plat bengkok diperoleh perbandingan efisiensi antara jumlah sudu 4, 6, dan 8 sudu plat bengkok sbb:



Gambar.8. Grafik. Hubungan antara Pembebanan dan Efisiensi (eksperimen)

Dari gambar 8 terlihat bahwa efisiensi maksimum untuk semua turbin sudu bengkok terjadi pada beban sekitar 3 kg. Besarnya efisiensi maksimum pada sudu 4, 6, dan 8 masing-masing sebesar 28% , 54%, dan 39%. Efisiensi tertinggi dicapai pada jumlah sudu 6 buah. Pada jumlah sudu lebih banyak atau lebih sedikit dari 6 buah efisiensi turbin lebih rendah. Hal ini ditentukan oleh kesetimbangan antara jumlah energi yang diserahkan oleh air ke sudu dan kehilangan energi akibat olakan aliran.



Gambar.9. Foto Kondisi air di sudu 4 plat bengkok untuk efisiensi maksimum 28 %

Dari gambar 9 terlihat bahwa aliran bergolak yang mengindikasikan terjadinya pusaran (vortex) aliran di hulu sudu pada putaran 22 rpm dan beban 1.5 Kg. Kehadiran vortex menghilangkan sebagian energi kinetik yang seharusnya diserahkan ke sudu. Di sisi lain hanya satu sudu yang menerima momentum dari air. Keseimbangan dari kedua mekanisme ini mengakibatkan efisiensi turbin maksimum hanya mencapai 28%.

Adapun untuk jumlah 6 sudu plat bengkok perilaku alirannya dapat dilihat pada gambar 7 dibawah ini.



Gambar.10. Foto Kondisi air di sudu 6 plat bengkok untuk efisiensi maks. 54 %

Dari gambar 10 terlihat bahwa pada kondisi efisiensi maksimum (ketika 26 rpm, beban 1.5 kg) aliran tenang (laminar) dan olakan aliran di depan sudu sangat kecil. Ini menandakan kehilangan energi akibat olakan aliran sangat kecil. Di sisi lain sudu turbin yang menerima momentum (terbenam air) ada 2 buah yang mengindikasikan penyerahan energi air ke turbin lebih besar. Kejadian ini mengakibatkan efisiensi turbin menjadi sangat tinggi, lebih tinggi dari jumlah sudu 4 dan 8.

Untuk kondisi perilaku aliran 8 sudu plat bengkok dapat dilihat pada gambar 14 di bawah ini



Gambar.11. Foto Kondisi air di sudu 8 plat bengkok untuk efisiensi maks. 39 %

Dari gambar 11 terlihat bahwa terjadi turbulensi pada aliran baik sebelum menyentuh sudu maupun setelah melalui sudu. Ini menunjukkan telah terjadi kehilangan energi air yang cukup besar walaupun sudu yang menerima momentum dari air lebih dari satu. Akibatnya efisiensi menurun jika dibandingkan dengan sudu 6 buah.

Kesimpulan

Perilaku aliran merupakan parameter utama dalam mengetahui kinerja dari roda air arus bawah, perilaku itu menyangkut kondisi (debit aliran, kecepatan aliran) aliran baik sebelum dan sesudah roda air yang dipengaruhi oleh pembebanan pada poros roda air dengan torsi, fenomena naik turunnya efisiensi ditentukan oleh berapa besar h_{kritis} dimana bila h_1 (tinggi air sebelum masuk sudu) mulai naik ditandai dengan adanya Δh ($h_1 - h_2$) maka efisiensi bergerak naik dalam hal ini dengan rekresi data polynomial dan pada saat h_{kritis} tercapai akan diperoleh efisiensi terbaik atau maksimum dengan $h_1 > h_{kritis}$ dibarengi pula penurunan efisiensi bila beban bertambah terus dan akhirnya dicapai h_1 maksimum dimana poros berhenti fenomena ini dapat dilihat pada Gbr.4, 7, dan 8 diatas. Terlihat bahwa untuk 6 sudu pencapaian efisiensinya itu lebih besar dari 4 sudu dan 8 sudu yaitu secara teoritis 4 sudu $\eta_{Teo} = 0,45$ dan eksperimen $\eta_{Eks} = 0,25$, 6 sudu secara teoritis $\eta_{Teo} = 0,54$ dan secara eksperimen $\eta_{Eks} = 0,54$ dan 8 sudu secara teoritis $\eta_{Teo} = 0,51$ dan eksperimen $\eta_{Eks} = 0,39$. Jadi 6 sudu kinerjanya lebih baik dibandingkan dengan 4 sudu dan 8 sudu.

Ucapan Terima Kasih

1. Kepada Panitia SNTTM XII UNILA.
2. Kepada Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Unhas.
3. Semua pihak yang membantu berperan sehingga penelitian ini dapat diseminarkan pada SNTTM XII UNILA.

Nomenklatur

A : Luas penampang aliran air (m^2)
b : Lebar saluran (m)
b' : Lebar sudu (m)
Fk : Gaya yang memutar poros (N)
g : Gravitasi bumi ($9,81 m/s^2$)
h₁ : Tinggi air di saluran depan sudu-sudu (m)
h₂ : Tinggi air disaluran belakang sudu-sudu (m)
h_{Kritis} : Tinggi air kritis depan sudu (m)
Δh : Beda tinggi air di saluran depan dan belakang sudu (m)
ρ : Densitas air (kg/m^3)
m : Massa pemberat pada torsi (kg)
N_{Air} : Daya air di saluran (watt)
N_{Teo} : Daya air teoritis di saluran sebelum sudu-sudu (watt)
N_{Eks}=N_{Air} : Daya air eksperimen (watt)
N_{Poros} : Daya poros roda air (watt)
n : Putaran poros roda air (rpm)
Q=Q₁=Q₂ : Debit aliran air baik depan dan belakang sudu (m^3/s)
r : Jari-jari fulli yang digunakan untuk pengereman/pembebanan (m)
Tk : Torsi yang dihasilkan poros roda air (N.m)
η_{Teo} : Efisiensi roda air secara teoritis (1)
η_{Eks} : Efisiensi roda air secara eksperimen (1)
ω : Kecepatan sudut roda air (rad/s)
π : Phi (3,14)

Referensi.

1. Anurat Tevata and Chainarong Inprasit. *The Effect of Paddle Number and Immersed Radius Ratio on Water Wheel Performance*. Elsevier. Energy Procedia 9 (2011) 359-365.
2. Denny. M. *The efficiency of overshot and undershot waterwheels* Sandgate Road, Victoria, BC, V9C 3Z2, Canada E-mail: markandjane@shaw.ca Received 5 September 2003 Published 2 December 2003
3. Gerald Muller, Cristian Wolter, 2004, *The Breastshot Waterwheel: Design and Model Tests*, Researcher, Leibniz-Institute of Freshwater Ecology and Inland Fisheries, Berlin Germany.
4. Hansen D. Robert, 2002 *Water Wheel*, E-Mail : www.waterhistori.org
5. Hubbard Steve, 2006, *Hydropower In California* .of the sacramento Country Historical Societi Vo.4.No.1.2.(Journal).
6. Ibrahim Akhyar, G., Haron Che, C.H. dan Ashari Husna, C., 2002. *Traditional Water Wheels as a Renewable Rural Energy*. Department of Mechanical and Material Engineering, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi Darul Ehsan Selangor, 436000, Malaysia.
7. James SENIOR, Patrick WIEMAN, Gerald MULLER. 2005. *The Rotary Hydraulic Pressure Machine For Very Low Head Hydropower Sites*, University of Southampton, U.K.
8. Jennifer Esty 2005. *Water Wheels* Peabody Museum of Natural History, Yale University. All rights reserved.
9. Roger D. Hansen 2012. *Water Wheels*. www.Waterhistory.Org
10. Ryosuke Sonohata, Junichiro Fukutomi, Toru Shigemitsu. 2012. *Study on Contra-Rotating Small-Sized Axial Flow Hydro Turbine*. Journal of Fluid Dynamics, 2012, 2, 318-323.
11. Tony Pujol, Jordi Sola, Lino Montoro, Marc Pelegri. 2010 *Hydraulic performance of an ancient Spanish watermill* Elsevier, renewable Energy 35 (2010) 387-396.
12. Yusaku Kyojuka. 2008. *An Eksperimental Study on the Darrieus-Savonius Turbine for the Tidal Current Power Generation* (Journal of Fluid Science and Technology). Faculty of Engineering Science, Kyushu University 6-1 Kasuga Koen .Fukuoka 816-8580 Japan.