

NASKAH ORISINAL

Pemanfaatan Potensi Sungai Irigasi untuk Penerangan Jalan Desa dengan Menggunakan Turbin Air *Crossflow* di Kelurahan Candirenggo Kec. Singosari, Kab Malang

Heru Mirmanto^{1,*} | Arino Anzip¹ | Dedy Zulhidayat Noor¹ | Ilham Akbar¹

¹Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Korespondensi

*Heru Mirmanto, Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. Alamat e-mail: hmirmanto@gmail.com

Alamat

Laboratorium Konversi Energi (KE), Departemen Teknik Mesin Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

Abstrak

Pada saat ini keberadaan energi fosil semakin hari semakin menipis, untuk itu konsep *Renewable Energy* diharapkan mampu memberikan kontribusi sebagai sumber energi alternatif. Jalan desa di Kelurahan Candirenggo, kabupaten Malang saat ini beluma ada penerangan, sehingga melalui pengabdian kepada Masyarakat ITS dilakukan rancang bangun PLTMH menggunakan *Turbin air Crossflow*. Turbin ini sangat sederhana dan mudah perawatannya, begitu pula *Head* dan debit yang dibutuhkan tidak terlalu besar, sehingga cocok digunakan untuk memanfaatkan saluran irigasi yang ada sebagai sumber energi listrik alternatif. Pada pengabdian ini dipilih *turbin air breastshot cross flow* dengan diameter rotor $D = 500$ mm, sudu terbuat dari separuh pipa PVC $\phi = 4''$ dengan variasi jumlah sudu 12 dan 6. Hasil rancang bangun menunjukkan bahwa turbin dengan jumlah rotor 12 blade mempunyai *performance* yang lebih baik dibanding 6 blade, yaitu Power 75,07 Watt; Torsi = 3,53 Nm; dan efisiensi = 31,42% pada putaran 261 rpm. Manfaat pengabdian ini jalan desa sudah dipasang 4 buah tiang lampu penerangan @ 15 watt.

Kata Kunci:

Turbin Air, *Crossflow*, PLTMH, Saluran Irigasi

1 | PENDAHULUAN

Pada saat ini konsumsi energi global terus meningkat dan diperkirakan akan meningkat sebesar 30% atau lebih pada tahun 2040. Alasan utama peningkatan konsumsi energi ini adalah peningkatan populasi dan semakin membaiknya pertumbuhan ekonomi. Kebutuhan energi ini akan meningkatkan kebutuhan listrik yang sebagian besar dipenuhi dengan menggunakan bahan bakar fosil dan tren ini tampaknya tidak akan berubah dalam waktu dekat^[1]. Peningkatan emisi gas hasil pembakaran bahan bakar fosil dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi gas-gas dan ini akan mengakibatkan peningkatan pemanasan global^[2, 3]. Rata-rata peningkatan global dari tahun 1880 menunjukkan kenaikan suhu gabungan permukaan darat dan laut hingga sebesar 0,85 C

pertahun^[4]. Seiring dengan meningkatnya kebutuhan listrik maka semakin menipisnya keberadaan energi fosil, untuk itu konsep *renewable energy* diharapkan mampu memberikan kontribusi sebagai sumber energi alternatif. Meski saat ini sangat sulit untuk melakukan substitusi total terhadap bahan bakar fosil, namun implementasi *renewable energy* secara nasional sangat penting untuk tetap dikembangkan, karena ketergantungan pada energi fosil akan menimbulkan ancaman efek gas rumah kaca akibat peningkatan gas CO₂^[3]. Selain itu Panas berlebih menyebabkan mencairnya es di kutub dan gletser yang dapat menyebabkan naiknya permukaan air laut. Dampak bahan bakar fosil terhadap lingkungan sangat merusak dan ini akan terus berlanjut kecuali sumber energi bersih digunakan untuk produksi listrik.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) saat ini telah banyak dikembangkan di pedesaan. Pembangkit ini menggunakan turbin air untuk membangkitkan energi listrik, selanjutnya dimanfaatkan untuk kebutuhan listrik rumah tangga, atau penerangan jalan desa. Turbin air adalah suatu alat yang digunakan untuk mengkonversi energi air menjadi energi mekanik berupa putaran poros, selanjutnya digunakan memutar generator untuk menghasilkan energi listrik^[5].

Pada Kelurahan Candirenggo, Kecamatan Singosari Kabupaten Malang terdapat sebuah saluran irigasi sawah yang setiap saat debitnya mengalir kontinyu. Tetapi sungguh disayangkan potensi saluran irigasi tersebut tidak dimanfaatkan sebagai sumber energi listrik bagi warga sekitar untuk lampu penerang jalan desa. Untuk itu melalui Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat (DRPM) ITS memiliki kewajiban ikut berpartisipasi dalam meningkatkan kesejahteraan masyarakat dengan membangun Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) sebagai sumber energi listrik untuk penerangan jalan pedesaan. Pemilihan jenis turbin air yang memanfaatkan saluran irigasi sawah yaitu jenis turbin air *Cross flow* dengan saluran *inlet* terletak di tengah (*Breastshot Crossflow Water Turbine*). Hal ini karena untuk daya air yang sama maka dimensi turbin *Crossflow* lebih kecil dan kompak, sehingga pengeluaran biaya lebih hemat^[6, 7]. Pada penelitian^[8] dijelaskan bahwa penggunaan sudu lengkung mempunyai efisiensi lebih baik dibanding sudu pelat datar.

Sehingga tujuan dari pengabdian ini yaitu merancang turbin air *crossflow* kapasitas kecil, sebagai sumber energi alternatif untuk penerangan jalan desa dengan rotor dilengkapi sudu berbentuk setengah lingkaran dengan jumlah 12 dan 6.

2 | METODOLOGI

Pengabdian ini dilakukan dalam beberapa tahap, sebagai berikut ini.

1. Pengumpulan data iklim, pengukuran debit saluran irigasi, serta ketinggian (*head*) dan lokasi saluran yang potensial untuk dimanfaatkan.
2. Pembuatan turbin air tipe *crossflow* beserta komponen elektriknya.
3. Pengujian performansi di lapangan.
4. Pemasangan unit dan kelistrikan
5. Pelatihan pengoperasian dan perawatan
6. Penyerahan hasil

Pada Gambar (1) diperlihatkan gambar *Flowchart* penelitian.

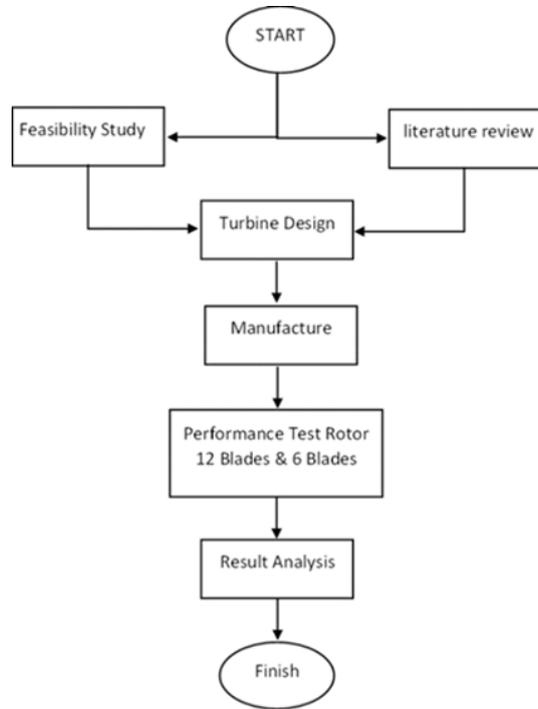
3 | DASAR TEORI

3.1 | Kapasitas

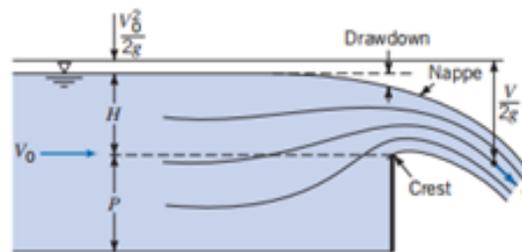
Kapasitas rata-rata aliran yang melintasi turbin air dapat ditentukan dengan persamaan kapasitas melalui *rectangular weir*.

$$Q = Cd \times \frac{2}{3} \times \sqrt{2g} \times b \times H^{1.5}$$

Dimana: Cd = 0,62



Gambar 1 Flowchart penelitian.



Gambar 2 Flow over rectangular weir^[9].

3.2 | Daya Air

Daya aliran air yang mengalir melalui saluran irigasi (N_w) secara teoritis dapat ditentukan sebagai berikut:

$$N_w = \rho \times g \times Q \times H$$

3.3 | Daya Turbin

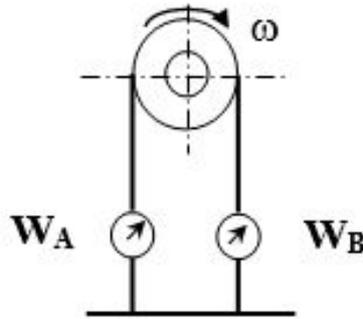
Energi aliran fluida yang dikonversikan ke turbin berupa daya poros turbin (N_{sh}), yang dapat dihitung melalui persamaan berikut:

$$N_{sh} = T \times \omega$$

3.4 | Torque (T)

Torsi pada turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$T = (W_A - W_B) \times R_p$$



Gambar 3 Torque measurement.

3.5 | Kecepatan Angular (Ω)

Kecepatan angular Turbin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

3.6 | Tip Speed Ratio (λ)

Untuk mengetahui Karakteristik kinerja turbin menggunakan *Tip Speed Ratio* (TSR), yaitu rasio kecepatan keliling *rotor* terhadap kecepatan aliran air. Perhitungan TSR dinyatakan pada persamaan berikut;

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

3.7 | Coefficient of Performance (CP)

Coefficien of Performance yaitu perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh *rotor* dengan daya fluida. Persamaan CP sebagai berikut:

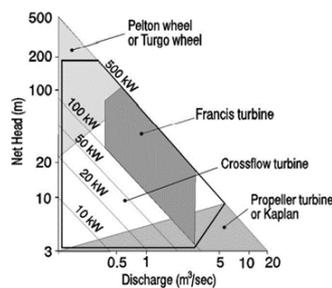
$$CP = \frac{N_{sh}}{N_w}$$

3.8 | Efisiensi Turbin (η_t)

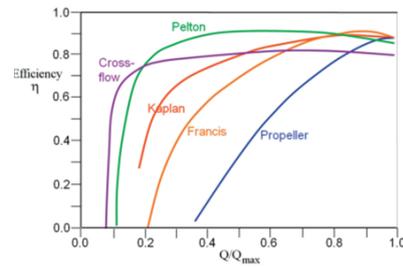
Efisiensi turbin dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\eta_t = \frac{N_e}{N_w} \times 100\%$$

Pada Gambar (4) diperlihatkan pemilihan jenis turbin air berdasarkan Head dan Kapasitas dan Gambar (5) adalah efisiensi turbin berdasarkan jenisnya.



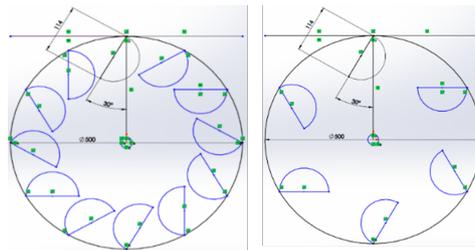
Gambar 4 Head-flow ranges of small hydro turbines^[10].



Gambar 5 Water Turbine Efficiency^[11].

4 | DESAIN SISTEM DAN TEKNOLOGI

Berdasarkan hasil survey lokasi dan studi pustaka maka dipilih turbin air jenis turbin *Crossflow*. Pemilihan turbin air jenis *Crossflow* dikarenakan mudah dalam proses pembuatan serta murah dalam biaya operasional. Selain itu dengan merujuk Gambar (4) klasifikasi turbin yang mempunyai Head dan kapasitas rendah, maka dipilih turbin *Crossflow*. Dari hasil rancangan dilanjutkan dengan pembuatan gambar teknik turbin air dan pemilihan peralatan penunjang. *Rotor* turbin terbuat dari kombinasi pelat baja diameter 50 cm dengan sudu terbuat dari setengah pipa PVC 4 inch dan variasi jumlah sudu 12 dan 6. Sudut kemiringan fluida datang ($\beta = 30^\circ$). Design rangka terbuat dari besi hollow dengan adjustable *screw* menggunakan baut stut. Hal ini karena cukup kuat sebagai penopang tumpuan dan tahan lama serta dapat berfungsi mengatur ketinggian turbin. Pada pengukuran *performance* pengambilan data digunakan pulley dengan Radius = 0,1 m. Pada Gambar (6) dan (7) diperlihatkan *design rotor* dan rangka turbin *Crossflow*.

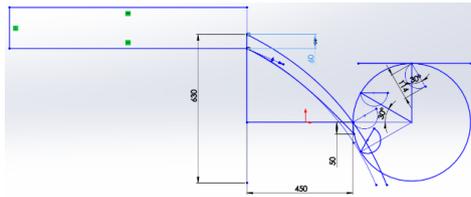


Gambar 6 Geometry of rotor turbine.



Gambar 7 Assembly design crossflow turbine.

4.1 | Aliran Melalui *Rectangular Weir*



Gambar 8 Skema *Free body diagram*.

4.2 | *Energy Balance*

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gH_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gH_2$$

4.3 | *Kecepatan Aliran*

$$V_2 = \sqrt{(2gH_1) + (V_1^2)}$$

$$V_2 = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 0,49 + (1,1)^2}$$

$$V_2 = 3,28 \frac{m}{sec}$$

4.4 | *Flow Capacity*

$$Q = Cd \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot gb} \cdot H^{1,5}$$

$$Q = 0,62 \cdot \frac{2}{3} \cdot \sqrt{2 \cdot 9,811} \cdot 2,0 \cdot 08^{1,5}$$

$$Q = 0,0497 \frac{m^3}{sec}$$

4.5 | *Water Power*

$$Nw = \rho \cdot g \cdot Q \cdot H$$

$$Nw = 998,9 \cdot 9,81 \cdot 0,0497 \cdot 0,49$$

$$Nw = 238 \text{ Watt}$$

5 | HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 1 dan Tabel 3 diperlihatkan data pengukuran putaran dan pembebanan pada turbin *crossflow* dengan variasi jumlah *blades* 12 dan 6. Sedangkan Tabel 2 dan Tabel 4 yaitu data perhitungan *performance turbine crossflow*. Dari tabel tersebut dapat dibuatkan gambar grafik *performance* variasi jumlah balades. Pada Gambar 8 dan Gambar 9 diperlihatkan grafik *performance* turbin dengan rotor berjumlah 12 *blades* dan 6 *blades*.

Pada Gambar (9) diperlihatkan grafik *performance* turbin *crossflow* dengan rotor 12 *blades*. Pengukuran *performance* ini dilakukan dengan memberikan pembebanan mulai maksimum hingga nol pada kapasitas aliran tetap. Apabila pembebanan dikurangi maka putaran turbin semakin meningkat. Pada setiap pembebanan diukur putaran rotor, hingga beban dilepas putaran lari rotor dapat mencapai 389,8 rpm. Pada pengujian ini menghasilkan efisiensi turbin maksimum $\eta = 31,42\%$ dan Power $P = 75,07$ Watt pada putaran 261 rpm. Sedangkan *Torque* maksimum terjadi pada putaran rendah.

Pada Gambar (10) diperlihatkan *performance turbine crossflow* dengan rotor 6 *blades*. Dengan melakukan pengujian yang sama pada kapasitas tetap, dihasilkan efisiensi maksimum turbin $\eta = 22,61\%$ dan Power $P = 54,01$ Watt pada putaran 239 rpm. Pada kondisi tanpa pembebanan putaran lari rotor dapat mencapai 412,4 rpm. Sedangkan *Torque* maksimum terjadi pada putaran rendah.

Tabel 1 Data Percobaan Rotor 12 Sudu

NO	Head (m)	Capacity m ³ /sec	Water Power (Watt)	Speed (rpm)	Weight (Kgf)
1	0,49	0,0497	238,90	389,8	0
2				379,5	0,4
3				358	0,8
4				334,3	1,3
5				316,6	1,7
6				301,2	2
7				286,9	2,4
8				261,1	2,8
9				237,3	3
10				195,8	3,4
11				169,6	3,6

Tabel 2 Data Perhitungan Rotor 12 Sudu

Force (N)	Angular Velocity (Rad/s)	Torque (N.m)	Turbine Power (Watt)	Efisiensi (%)
0,00	40,80	0,00	0,00	0,00
3,92	39,72	0,39	15,59	6,52
7,85	37,47	0,78	29,41	12,31
12,75	34,99	1,28	44,62	18,68
16,68	33,14	1,67	55,26	23,13
19,62	31,53	1,96	61,85	25,89
23,54	30,03	2,35	70,70	29,59
27,47	27,33	2,75	75,07	31,42
29,43	24,84	2,94	73,10	30,60
33,35	20,49	3,34	68,35	28,61
35,32	17,75	3,53	62,69	26,24

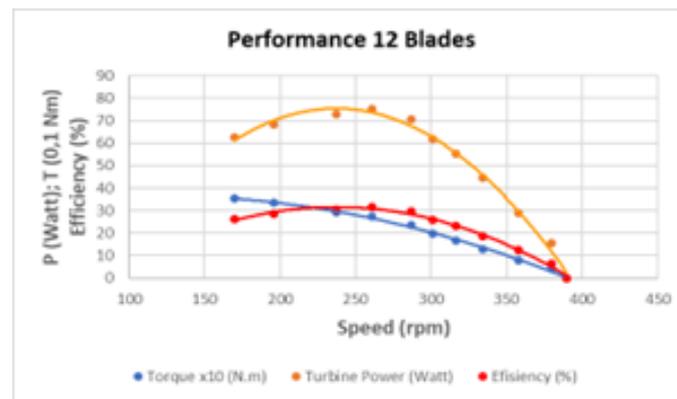
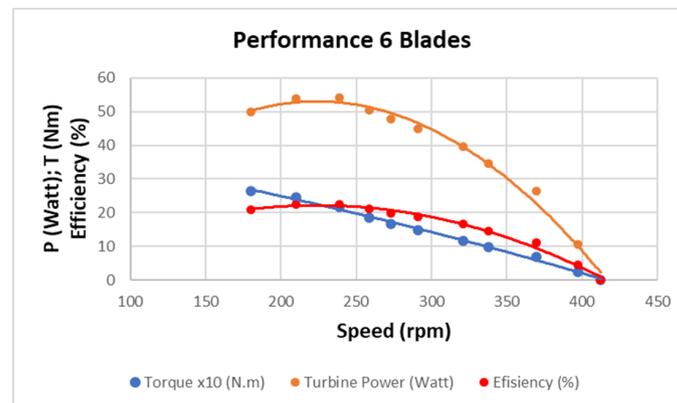
Tabel 3 Data Percobaan Rotor 6 Sudu

NO	Head (m)	Capacity m ³ /sec	Water Power (Watt)	Speed (rpm)	Weight (Kgf)
1	0,49	0,0497	238,90	412,4	0
2				397	0,26
3				369,6	0,7
4				337,7	1
5				321,2	1,2
6				291,2	1,5
7				273,3	1,7
8				258,9	1,9
9				239,1	2,2
10				210,2	2,5
11				179,8	2,7

Apabila dibandingkan *performance* antara rotor 12 *blades* dengan rotor 6 *blades* keduanya memiliki grafik *performance* yang identik. Efisiensi dan Power memperlihatkan nilai yang rendah pada putaran lari. Selanjutnya dengan penambahan pembebanan akan mengalami kenaikan hingga maksimum, lalu mengalami menurun dengan pola parabolik. Pada turbin dengan rotor 12 *blades* mempunyai nilai power maupun efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan rotor 6 *blades*. Kenaikan Power dan efisiensi

Tabel 4 Data Perhitungan Rotor 12 Sudu

Force (N)	Angular Velocity (Rad/s)	Torque (N.m)	Turbine Power (Watt)	Efisiensi (%)
0,00	43,16	0,00	0,00	0,00
2,55	41,55	0,26	10,60	4,44
6,87	38,68	0,69	26,56	11,12
9,81	35,35	0,98	34,67	14,51
11,77	33,62	1,18	39,58	16,57
14,72	30,48	1,47	44,85	18,77
16,68	28,61	1,67	47,71	19,97
18,64	27,10	1,86	50,51	21,14
21,58	25,03	2,16	54,01	22,61
24,53	22,00	2,45	53,96	22,59
26,49	18,82	2,65	49,85	20,86

**Gambar 9** Turbine performance 12.**Gambar. 10** Turbine Performance 6**Gambar 10** Turbine performance 6 blades.

apabila menggunakan rotor 12 *blades* dapat mencapai 39%. Namun pada beban nol terlihat rotor dengan 6 *blades* mencapai putaran yang lebih tinggi 412,4 rpm.

Dari hasil pengujian diatas selanjutnya turbin dipilih *turbin crossflow* dengan rotor 12 blades. Agar dapat menghasilkan arus listrik, turbin *crossflow* dilengkapi dengan generator. Untuk mendapatkan putaran sesuai dengan spesifikasi generator maka digunakan transmisi *belt* dan *pulley* tipe A dengan perbandingan 1:4. Generator yang dipilih adalah arus DC. Pada putaran beban puncak arus listrik yang dihasilkan dapat mencapai 75 Watt. Instalasi kelistrikan dilengkapi dengan *panel box* sebagai komponen dimana terdapat *controller*, stop kontak serta 4 (empat) buah tiang listrik beserta lampu LED DC masing masing @ 15 Watt sebagai penerangan jalan.

Pada Gambar (11) dan (12) diperlihatkan instalasi turbin *crossflow* beserta perlengkapan elektrikal sebagai penerangan jalan desa.



Gambar 11 *Crossflow turbine instalation.*



Gambar 12 *Panel box and electrical components.*

6 | KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pembahasan dan uji *performance* pada kapasitas konstan dengan *Head loss* diabaikan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Diameter rotor $D = 500$ mm dengan *blades* berbentuk setengah lingkaran berdiameter $d = 4$ inch.
- Pada *performance* rotor dengan 12 *blades*, menghasilkan efisiensi turbin maksimum $\eta = 31,42\%$ dan Power $P = 75,07$ Watt pada putaran 261 rpm. *Torque* tertinggi $T = 3,53$ Nm
- Pada *performance* rotor dengan 6 *blades*, menghasilkan efisiensi turbin maksimum $\eta = 22,61\%$ dan Power $P = 54,01$ Watt pada putaran 239 rpm. *Torque* tertinggi $T = 2,65$ Nm
- Dari hasil pengujian tersebut turbin *crossflow* dengan rotor 12 *blades* digunakan sebagai penerangan jalan pedesaan dengan menghidupkan lampu LED @15 Watt sebanyak 4 buah.

7 | LAMPIRAN

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui apakah peralatan turbin air dapat berjalan dengan baik. Selain itu diharapkan dapat memberikan masukan kekurangan dan kelebihan peralatan turbin air untuk pengembangan kedepannya. Setelah evaluasi selanjutnya dilakukan serah terima kepada kelompok tani Kelurahan Candirenggo yang disaksikan oleh Ibu Lurah. Pada Gambar (13) dan (14) diperlihatkan foto evaluasi lapangan dan serah terima turbin air oleh tim pengabdian ITS disaksikan oleh Ibu Lurah dan mahasiswa KKN ITS yang ikut dalam pengabdian ini.



Gambar 13 Evaluasi operasi *turbine* disaksikan Ibu Lurah.



Gambar 14 Penyerahan *turbine* air ke kelompok Tani disaksikan Ibu Lurah Candirenggo.

8 | UCAPAN TERIMA KASIH

Pengabdian masyarakat ini didukung oleh Direktorat Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (DRPM) ITS melalui Hibah Pengabdian kepada Masyarakat Berbasis Produk Dana Lokal ITS Tahun 2020 No. 1019/PKS/ITS/2020. Serta didukung oleh berbagai pihak terutama Kelurahan Candirenggo, Kecamatan Singosari, Kabupaten Malang, serta masyarakat khususnya kelompok tani yang membantu keberlangsungan program pengabdian masyarakat kami. Tak lupa kami ucapkan juga kepada mahasiswa KKN ITS yang telah membantu dan mengaplikasikan ilmunya untuk pengembangan desa.

9 | NOMENKLATUR

Q	= Capacity	(m ³ /sec)	ω	= Angular velocity	(rad/sec)
V	= Flow Velocity	(m/sec)	ρ	= Density	(kg/m ³)
A	= Specific weight	(N/m ³)	γ	= specific weight	(N/m ³)
H	= Head	(m)	g	= Acceleration gravitational	(m/sec ²)
W _A	= Weight A	(N)	N _W	= WaterPower	(Watt)
W _B	= Weight B	(N)	N _{SH}	= Shaft Power	(Watt)
T	= Torque	(Nm)	N _e	= Electrical Power	(Watt)
R	= Rotor radius	(m)	η_T	= Efficiency	
R _p	= Pulley Radius	(m)	λ	= Tip Speed Ratio (TSR)	
n	= Speed	(rpm)	CP	= Coefficient of Power	

Referensi

- Weerakoon AS, Kim BH, Cho YJ, Prasad DD, Ahmed MR, Lee YH. Design optimization of a novel vertical augmentation channel housing a cross-flow turbine and performance evaluation as a wave energy converter. *Renewable Energy* 2021;180:1300–1314.
- LA H. The Crossflow Turbine. *Water Power Engineering mMagazine* 1960;.
- Harjanto NT. Dampak lingkungan pusat listrik tenaga fosil dan prospek pltn sebagai sumber energi listrik nasional. *PIN Pengelolaan Instalasi Nuklir* 2016;1(01).
- Change IC, et al. The physical science basis. Contribution of working group I to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change 2013;1535:2013.
- Penche C. *Guidebook on How to Develop a Small Hydro Site*. Belgia: ESHA (European Small Hydropower Association) 1998;.
- Mihdar M, Erianto R, et al. Pengaruh Variasi Bentuk Sudu Terhadap Kinerja Turbin Air Kinetik (Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik Daerah Pedesaan). *Turbo: Jurnal Program Studi Teknik Mesin* 2017;5(1).
- Hanafy A, Hegab I, et al. Effects of egg weight and light sources during incubation period on embryonic development and post-hatch growth of Japanese quail (*Coturnix japonica*). *European Poultry Science* 2019;83.
- Verma V, Gaba VK, Bhowmick S. An experimental investigation of the performance of cross-flow hydro turbines. *Energy Procedia* 2017;141:630–634.
- Pritchard PJ, Fox RW, McDonald AT. *Introduction to fluid mechanics*. John Wiley & Sons; 2010.
- Paish O. Small hydro power: technology and current status. *Renewable and sustainable energy reviews* 2002;6(6):537–556.

11. Sinagra M, Sammartano V, Aricò C, Collura A, Tucciarelli T. Cross-Flow turbine design for variable operating conditions. *Procedia Engineering* 2014;70:1539–1548.

Cara mengutip artikel ini: Mirmanto, H., Anzip, A., Noor, D.Z., & Akbar, I., (2022), Pemanfaatan Potensi Sungai Irigasi untuk Penerangan Jalan Desa dengan Menggunakan Turbin Air *Crossflow* di Kelurahan Candirenggo Kec. Singosari, Kab Malang, *Sewagati*, 6(5):614–625. <https://doi.org/10.12962/j26139960.v6i5.302>.