

Rancang Bangun Pembangkit Tenaga Mikro/ Piko-hidro Model Drum (PTMPMD)

Asep Neris Bachtiar^{1)*}

¹ Sekolah Tinggi Teknologi Industri Padang, Jl. Hamka No. 121 Padang, Indonesia.

asepnerisb@sttind.ac.id

*Penulis Koresponden

ABSTRAK

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil baik mikro-hidro maupun piko-hidro konvensional yang dioperasikan masyarakat dibangun secara permanen dengan bangunan sipil yang lebih dominan sehingga biaya investasi relatif lebih mahal. Hal ini menjadi kendala dalam pengembangan dan penyebaran pembangkit tenaga air skala kecil ini di masyarakat. Pembangkit tenaga mikro/ piko-hidro model drum (PTMPMD) adalah solusi yang akan memudahkan masyarakat membangun pembangkit karena kontruksinya yang praktis, sederhana, pemasangannya yang cepat dan mudah serta investasinya yang lebih murah. Penelitian eksperimen ini berhasil merancang dan membangun sistem PTMPMD dan mengujinya untuk mengetahui karakteristik dari setiap komponen sistem pembangkit. Rancangan awal fokus pada keseimbangan debit air antara debit air masuk drum penampung sebesar 30 liter/s dengan debit air yang masuk turbin sebesar 20 liter/s dan debit air yang keluar melalui saluran limbah sebesar 10 liter/s. Efisiensi regulator pengatur debit air pada bukaan katup penuh mencapai 94%. Penggunaan papan kayu berlapis terpal menghasilkan saluran pengantar dan saluran buang yang mampu mengalirkan air tanpa kebocoran. Kebocoranpun tidak terjadi pada bangunan air lainnya seperti drum penampung, saluran limbah sampai ke turbin. Penelitian ini belum selesai, perlu dilanjutkan dengan menganalisis kinerja turbin *Cross-flow* sebagai penggerak mula dari sistem PTMPMD.

Kata kunci: Turbin air, *Cross-flow*, Mikro-hidro, Piko-hidro.

ABSTRACT

Small-scale hydroelectric power plants, both micro-hydro and conventional pico-hydro, which are operated by the community, are built permanently with more dominant civil buildings, so investment costs are relatively more expensive. This is an obstacle in the spread and development of small-scale hydropower plants in society. The drum model micro/pico-hydro power generator (PTMPMD) is a solution that will make it easier for people to build generators because of its practical, simple construction, quick and easy installation and cheaper investment. This experimental research will design and build a PTMPMD system and will test it to determine the characteristics of each generator system component. The initial design focused on balancing the water discharge between the water discharge entering the storage drum of 30 liters/s, the water discharge entering the turbine of 20 liters/s and the water discharge coming out through the overflow channel of 10 liters/s. The efficiency of the water flow regulator at full valve opening reaches 94%. The use of tarpaulin-covered wooden boards produces delivery and exhaust channels that can drain water without leaks. Leaks do not occur in other water structures such as storage drums, overflow channels and turbines. This research is not finished yet, it needs to be continued by analyzing the performance of the *Cross-flow* turbine as the initial driver of the PTMPMD system.

Keywords: Water turbine, *Cross-flow*, Micro-hydro, Pico-hydro

diunggah: Oktober 2023, direvisi: November 2023, diterima: Desember 2023, dipublikasi: Desember 2023

Copyright (c) 2023 Asep Neris Bachtiar

This is an open access article under the CC-BY license

PENDAHULUAN

Inovasi teknologi energi terbaru dalam beberapa tahun terakhir terus berkembang (Bekiroglu dan Yazar, 2019). Banyak solusi yang ditawarkan dan dicoba untuk memenuhi

kebutuhan energi, namun belum ada jaminan ketersediaan dan kualitas energi. Hal ini menjadi tantangan khususnya bagi masyarakat pedesaan (Kadri et al., 2019). Kompor biomassa tradisional banyak digunakan untuk keperluan memasak di negara-negara berkembang karena konstruksinya yang sederhana, namun kelemahannya adalah efisiensi termal yang rendah dan konsumsi bahan baku yang tinggi (Susastriawan et al., 2021). Energi terbarukan menjadi pilihan penting dalam memenuhi kebutuhan energi global khususnya energi air (Hongyu et al., 2022). Dalam perkembangannya, pembangkit listrik tenaga air skala kecil baik skala mikro maupun piko-hidro semakin populer karena desain dan pengoperasiannya yang sederhana, dampak lingkungan yang lebih kecil, pemasangan yang lebih mudah, dan persyaratan konstruksi yang lebih ringan (Pugliese et al., 2021). Salah satu bentuk energi terbarukan yang menjadi pilihan ekonomis di negara-negara berkembang adalah pembangkit listrik skala kecil mikro hidro dan piko hidro (Gallego et al., 2022). Dalam beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan perhatian dan minat terhadap pengembangan pembangkit tenaga air skala kecil khususnya turbin dengan *head* rendah (Marre et al., 2022). Saat ini penggunaan teknologi pemanfaatan sumber air *head* rendah sudah cukup berkembang karena kepraktisannya dan tidak menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan. Turbin dengan *head* rendah adalah pilihan populer karena efisiensinya yang tinggi dan kemampuan beroperasi pada debit rendah (Lee et al., 2021).

Salah satu kendala pembangunan pembangkit tenaga air skala kecil khususnya mikro-hidro dan piko-hidro adalah sistem pembangkit yang umumnya dibangun secara permanen sehingga biaya pembangunan menjadi mahal (Bachtiar et al., 2023). Hal lainnya yang menjadi kendala adalah *prime mover* atau penggerak mula turbin air tidak dijual bebas di pasaran, masyarakat harus memesan terlebih dahulu sehingga harga per unit turbin menjadi mahal (Stefan et al., 2020). Biaya survei dan perencanaan akan ditanggung oleh masyarakat, akibatnya investasi mikro-hidro dan piko-hidro memberatkan masyarakat (Renzi., 2021). Pembangkit listrik tenaga mikro-hidro yang lebih populer dengan singkatan PLTMH telah banyak dibangun di banyak pedesaan di Provinsi Sumatera Barat, tetapi jika dibandingkan dengan potensi air yang ada jumlahnya masih sedikit. Semua PLTMH tersebut dibangun dengan konstruksi permanen sehingga lahan yang dibutuhkan cukup luas dan difungsikan hanya untuk menggerakkan generator listrik. Bangunan sipil sistem pembangkit ini lebih dominan baik bahan yang digunakan maupun volume kerjanya saat pembangunan, sehingga biaya investasi dan pemeliharaan relatif lebih mahal. Dengan karakteristik seperti itu menjadi kendala untuk pengembangan dan penyebaran PLTMH di masyarakat (Bachtiar et al., 2021). Ini sebuah tantangan bagi peneliti dan pemerhati energi terbarukan khususnya energi air skala kecil yang cukup banyak terdapat di pedesaan Sumatera Barat, maka potensi energi yang ada di depan mata harus dapat dimanfaatkan segera. Memperhatikan kenyataan dan tantangan tersebut timbul pertanyaan, bagaimana menciptakan sistem pembangkit tenaga air skala kecil yang mudah dibangun oleh perorangan atau oleh kelompok masyarakat desa, mudah mengoperasikannya, yang praktis, dan membutuhkan biaya investasinya yang murah. Melalui sebuah penelitian, peneliti berhasil membangun sistem pembangkit tenaga mikro/ piko-hidro model drum disingkat PTMPMD yang memiliki bangunan mekanik lebih dominan. Keunggulan dari sistem PTMPMD adalah sistem PTMPMD dibangun dengan sistem *knock-down* dimana mulai dari saluran buang sampai saluran pengantar dapat diurai menjadi beberapa komponen, dengan demikian pelaksanaan pembangunan dan perakitan PTMPMD di lapangan relatif lebih cepat. Investasi PTMPMD relatif lebih murah sehingga menjadi solusi dalam mempercepat pengembangan dan penyebaran pembangkit mikro-hidro dan piko-hidro ke depan.

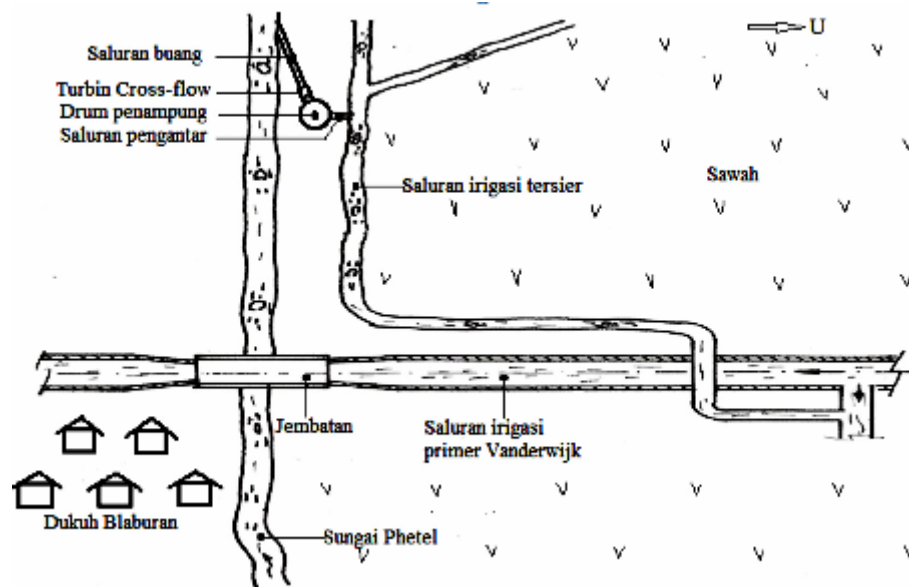
METODE

Jenis penelitian

Tujuan penelitian eksperimen ini adalah untuk menghasilkan konsep pembangkit model drum, informasi komponen pembangkit, tahapan pengujian dan kinerja sistem PTMPMD. Luaran penelitian diantaranya adalah bukti fisik bangunan PTMPMD yang akan menjadi model sistem pembangkit yang praktis yang akan memudahkan dan meringankan pembiayaan dalam pembangunannya jika dibangun oleh masyarakat. Variabel teknis yang terkait dengan penelitian eksperimen ini diantaranya adalah tinggi jatuh atau *head* aktual, *head* loses, *head* turbin, debit air masuk turbin, kecepatan air, tingkat kebocoran, dan efisiensi regulator-katup.

Lokasi Penelitian

Ada dua alternatif pengujian yaitu pengujian di laboratorium dan pengujian di lapangan. Prosedur pengujian di laboratorium tak akan menghasilkan prosedur pengujian yang ideal yang identik dengan kondisi pengopersian pembangkit yang sebenarnya di lapangan. Disamping itu pengujian laboratorium membutuhkan instalasi pendukung yang mahal dan tidak sederhana seperti dibutuhkan pompa kapasitas besar untuk menaikkan air bersirkulasi yang mana pompa seperti itu membutuhkan motor dengan daya listrik yang besar. Alternatif lain adalah pengujian di lapangan yang dapat dilakukan secara sederhana, mudah, dan murah. Dalam hal ini penulis telah berusaha melakukan survey ke beberapa lokasi di beberapa desa di Kabupaten Bantul, Sleman, Magelang dan perbatasan Kota Jogjakarta yang dikategorikan memiliki potensi *head* dan debit air yang tepat untuk menjadi lokasi ideal pengujian sistem PTMPMD. Ada dua variabel yang menjadi perhatian dalam pemilihan lokasi yaitu debit air (Q) dan *head* (H) yang ideal. Dari pengalaman survey ternyata menyatukan kedua variabel tersebut cukup sulit, ada lokasi yang memiliki potensi debit yang besar tetapi *head*nya rendah, sebaliknya ada lokasi yang memiliki *head* yang cukup tinggi tetapi debitnya kecil, dan ada pula ditemukan lokasi yang memiliki potensi debit dan *head* yang ideal tetapi posisinya jauh terisolir. Dari kegiatan survey selama dua hari di Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang, Alhamdulillah peneliti berhasil menemukan satu lokasi yang sangat strategis, akses ke lokasi cukup mudah dijangkau, debit air yang dibutuhkan bisa diatur, dan *head*nya cukup tinggi sekitar 4 m padahal *head* yang dibutuhkan sekitar 2,5 m. Sumber air yang akan dimanfaatkan berasal dari saluran irigasi tersier yang bersumber dari Saluran Irigasi Primer Vanderwijk. Sekitar 150 m dari hulu saluran irigasi tersier tersebut terdapat lubang pembilas, air bilasan tersebut jatuh setinggi 4 m ke dasar tebing yang sangat terjal. Debit saluran tersier rata-rata 40 liter/s, penambahan debit dapat mudah dilakukan dengan cara membuka pintu pengatur pada saluran primer Vanderwijk. Debit air saluran tersier dimanfaatkan untuk pengairan sawah sedangkan air bilasan yang jatuh akan mengalir masuk ke Sungai Phetel yang ada di bawahnya. Daerah sekitar lokasi pengujian PTMPMD berupa daerah perladangan penduduk, sebahagian tanah darat tersebut berupa semak-semak, pesawahan dan perkampungan seperti ditunjukkan Gambar 1.



Gambar 1. Lay-out di sekitar lokasi PTMPMD, Dukuh Blaburan, Desa Bligo, Kecamatan Ngluwar, Kabupaten Magelang

Alat Ukur yang Digunakan

Alat yang digunakan dalam proses pengujian sistem PTMPMD diantaranya,

1. *Meteran gulung*

Meteran gulung digunakan untuk mengukur *head* aktual dan tinggi air dalam saluran pengantar dan pada saluran buang.

2. *Currentmeter*

Currentmeter digunakan untuk mengukur kecepatan aliran air dalam saluran pengantar dan pada saluran buang.

3. *Stopwatch*

Stopwatch digunakan untuk mengukur waktu pengisian bejana ukur dengan air untuk mengetahui debit alir yang keluar dari saluran limbah dan dari saluran buang.

4. *Pressure gauge*.

Pressure gauge berfungsi untuk mengukur tekanan fluida air statis di dasar drum.

Bahan yang Digunakan.

Bahan yang dibutuhkan untuk pembangunan PTMPMD diantaranya,

1. Drum bekas oli.

Drum bekas oli digunakan untuk membangun drum penampung dengan cara merakitnya dari tiga buah drum yang disusun, penyambungan antara ketiga drum menggunakan sambungan las seperti ditunjukkan Gambar 2. Pada bagian atas drum terdapat dua lubang yaitu lubang air masuk dari saluran pengantar dan lubang saluran limbah, sementara pada dasar drum dibangun lubang turbin dan lubang saluran penguras. Pemilihan drum bekas oli ini dengan pertimbangan harganya relatif murah, mudah diperoleh di pasaran, dan konstruksinya relatif ringan.



Gambar 2. Perakitan drum penampung

2. Papan kayu.

Papan kayu digunakan untuk membuat saluran pengantar dan saluran buang yang dibentuk menggunakan sambungan paku. Bagian dalam saluran dilapisi dengan lembaran terpal agar terhindar dari kebocoran seperti ditunjukkan Gambar 3.



Gambar 3. Saluran pengantar dan saluran buang saat terpasang

3. Pipa paralon 5 inchi.

Pipa paralon bediamer 5 inchi difungsikan untuk membuat saluran limbah yang perakitannya melibatkan elbow 90⁰ dan penambungannya menggunakan lem PVC.

4. Turbin *Cross-flow*.

Turbin *Cross-flow* (1) adalah komponen utama dari sistem PTMPMD yang menjadi penggerak mula dari sistem PTMPMD yang dilengkapi dengan sistem transmisi belt-puli (2) untuk memindahkan daya dan putaran dari turbin ke generator (3) seperti ditunjukkan Gambar 4.



Gambar 4. Turbin *Cross-flow* yang dilengkapi dengan transmisi belt-puli, dan generator

5. Panel kontrol listrik

Pengukuran kualitas listrik dapat terbaca pada panel kontrol yang menginformasikan voltase, arus, dan frekwensi listrik, tampak beberapa bola lampu menyala dengan terang seperti ditunjukkan Gambar 5.



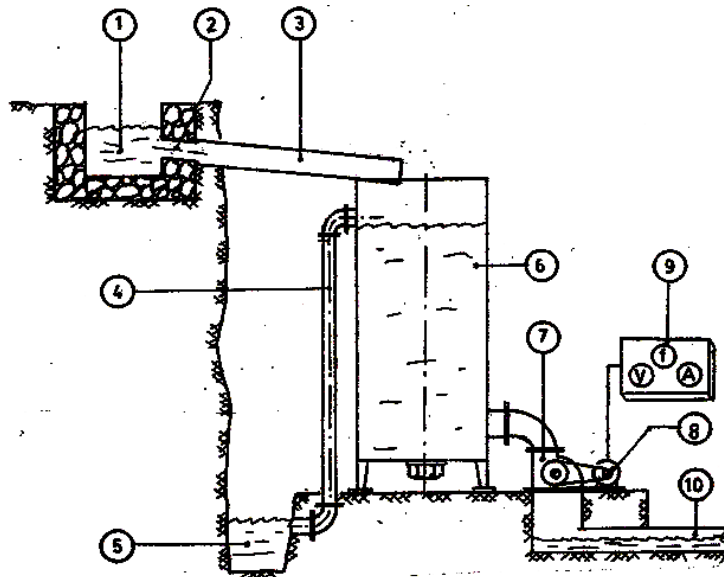
Gambar 5. Panel kontrol listrik pada sistem PTMPMD

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perencanaan Sistem PTMPMD.

Sesuai dengan namanya, maka PTMPMD ini direncanakan dapat mudah diangkut dari lokasi pembuatan ke lokasi pengujian, disamping itu praktis pada proses pemasangan/ perakitan di lapangan. Jika di lokasi itu tidak memungkinkan lagi PTMPMD dapat beroperasi optimal misalnya debit air yang kurang akibat terjadi bencana alam, maka PTMPMD dapat dibuka/ dibongkar kembali dengan tanpa merusaknya untuk dipindahkan ke lokasi baru. Dengan demikian sistem PTMPMD dirancang kompak, semua komponen mulai dari bangunan air,

penggerak mula dan sistem transmisinya berada dalam satu paket bangunan yang saling berdekatan, Bangunan sistem PTMPMD seperti ditunjukkan Gambar 6 terdiri dari saluran irigasi tersier (1), lubang pembilas (2), saluran pengantar (1), saluran limbah (4), kolam penampung air limbah (5), drum penampung (6), penggerak mula turbin *Cross-flow* (7), generator (8), panel listrik (9) dan saluran buang (10).



Gambar 6. Sistem PTMPMD

Pengujian.

Setelah komponen-komponen PTMPMD selesai dibuat yaitu turbin *Cross-flow* sebagai penggerak mula sistem PTMPMD, drum penampung, saluran pengantar, saluran buang, dan komponen-komponen PTMPMD lainnya, maka tahap selanjutnya adalah proses perakitan dan pengujian di lapangan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui karakteristik sistem PTMPMD, analisis pengaruh variasi bukaan katup turbin terhadap variasi debit, dan pengamatan kualitas sambungan komponen pembangkit bertahan dari resiko kebocoran.

Prosedur Pengujian

Prosedur pengujian PTMPMD dilaksanakan dengan urutan sebagai berikut,

1. Komponen PTMPMD dan peralatan pendukungnya serta peralatan yang dibutuhkan terlebih dahulu disiapkan di sekitar lokasi pengujian seperti saluran pengantar, drum penampung, saluran limbah, penggerak mula turbin *Cross-flow*, generator, saluran buang, alat-alat ukur (tacho meter, torsi meter, AVO meter), kunci-kunci, paku, palu, tali, kawat, tangga, kayu kaso-kaso, parang, cangkul, linggis, dan lain-lain.
2. Lakukan perakitan sistem PTMPMD hingga sistem PTMPMD yang lengkap dapat terbentuk, pastikan kembali PTMPMD telah terakit dengan benar, lengkap, dan kuat.
3. Putar regulator berlawanan arah jarum jam untuk memposisikan katup turbin ke posisi menutup penuh.
4. Masukkan air ke dalam drum penampung dengan cara membuka lubang pembilas pada saluran irigasi tersier sehingga air mengalir melalui saluran pengantar.
5. Perhatikan drum penampung telah penuh berisi air ditandai dengan adanya air yang keluar melalui saluran limbah.
6. Perhatikan dan cek seluruh sistem pembangkit terutama pada seal pada sistem penggerak mula, sambungan perpak, dan sambungan drum dari resiko kebocoran yang mungkin terjadi dan catat posisi kebocoran jika ada.

7. Putar regulator hingga katup terbuka secara bertahap mulai bukaan 25%, 50%, 75%, dan 100% (terbuka penuh), dan catat debit air yang keluar dari turbin untuk masing-masing bukaan katup tersebut melalui debit air yang mengalir pada saluran buang.
8. Lakukan pengukuran kecepatan air dan tinggi air yang mengalir pada saluran buang untuk setiap bukaan katup guna mengetahui debit air masuk turbin, juga lakukan pengukuran debit air yang keluar dari saluran limbah.
9. Tabulasi data adalah proses selanjutnya dari kegiatan pengujian untuk memberikan kesimpulan terhadap kualitas dan karakter sistem PTMPMD dan rekomendasi perbaikan dan pengembangan PTMPMD ke depan.

Hasil Pengujian dan Pembahasan.

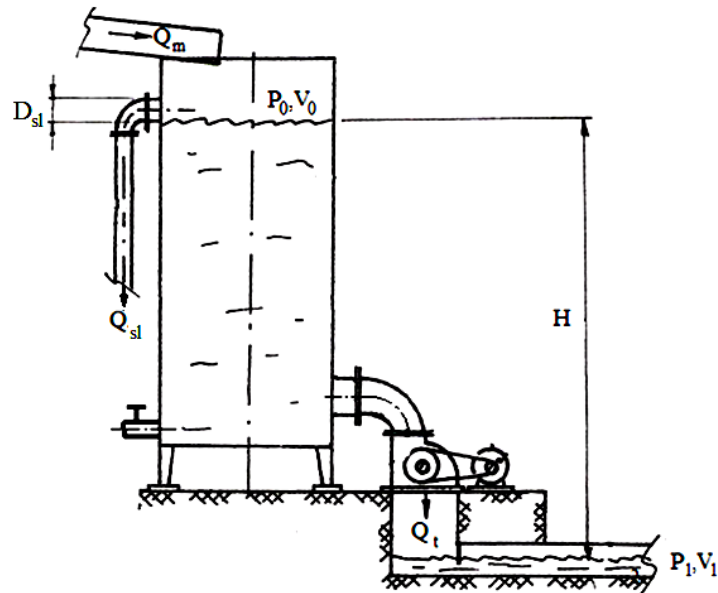
Setelah komponen bangunan sistem PTMPMD direncanakan dan dibuat, tahap selanjutnya adalah proses pengujian di lapangan dengan tujuan untuk mengetahui prestasi PTMPMD. Pengujian PTMPMD mencakup analisis aplikasi persamaan Bernaulli, kesetimbangan debit alir, kualitas sambungan bertahan dari kebocoran (%), dan uji prestasi regulator dan katup. Instalasi sistem PTMPMD yang siap diuji adalah seperti ditunjukkan Gambar 7 berikut yang terdiri dari saluran pengantar (1), drum penampung (2), saluran limbah (3), lubang penguras (4), turbin *Cross-flow* (5), transmisi belt-puli (6), generator (7), panel kontrol listrik (8), dan saluran buang (9).



Gambar 7. Instalasi PTMPMD yang siap diuji

Penerapan persamaan Bernaulli pada sistem PTMPMD.

Analisis keseimbangan energi pada sistem PTMPMD dengan penerapan persamaan Bernaulli dapat dijelaskan melalui Gambar 8 berikut ini,



Gambar 8. Keseimbangan energi pada sistem PTMPMD

Diketahui,

P_0 = tekanan air pada permukaan air di dalam drum yang sama dengan tekanan udara bebas.

$P_0 = 1$ atmosfir.

V_0 = kecepatan permukaan air dalam drum turun, dimana $V_0 = 0$ karena elevasi permukaan air di dalam drum tidak berubah.

Z_0 = level atau elevasi permukaan air di dalam drum.

P_1 = tekanan air pada permukaan air dalam saluran buang yang sama dengan tekanan udara bebas.

$P_1 = 1$ atmosfir.

V_1 = kecepatan air mengalir pada saluran buang yang nilainya sama dengan kecepatan air masuk turbin, dengan asumsi bahwa luas penampang air dalam turbin dan luas penampang air di dalam saluran buang adalah sama.

Z_1 = elevasi permukaan air pada saluran buang.

H = *Head* aktual, yaitu perbedaan elevasi permukaan air di dalam drum penampung dengan elevasi permukaan air di dalam saluran buang.

$H = Z_0 - Z_1 = 2,7$ m.

H_{los} = *Head* losses yang terjadi mulai dari permukaan air di dalam drum penampung sampai dengan permukaan air di dalam saluran buang.

$H_{los} = 0,2$ m, diasumsikan relatif kecil karena diameter drum cukup besar dan hanya ada satu elbow yang landai yang dilalui air.

Persamaan keseimbangan energi Bernaulli adalah,

$$P_0/\gamma + V_0^2/2.g + Z_0 = P_1/\gamma + V_1^2/2.g + Z_1 + H_{los}$$

$$Z_0 = V_1^2/2.g + Z_1 + H_{los}$$

$$V_1^2/2.g = (Z_0 - Z_1) - H_{los}$$

$$V_1^2/2.g = H - H_{los}$$

$$V_1^2/2.g = H_t$$

$$V_1 = (2 . g . H_t)^{1/2}$$

maka,

$$V_1^2/2 . g = 2,7 \text{ m} - 0,2 \text{ m}$$

$$V_1^2/2 . g = 2,5 \text{ m}$$

$$V_1 = (2 . 9,8 \text{ m/s}^2 . 2,5 \text{ m})^{1/2}$$

$$V_1 = 7 \text{ m/s}$$

Spesifikasi Saluran Limpah

Gambar 9 berikut ini menjelaskan arah aliran debit air yang keluar dari turbin dan masuk ke saluran buang serta arah aliran air yang keluar melalui saluran limbah. Memperhatikan posisi aliran air tersebut, maka keseimbangan debit pada sistem PTMPMD adalah,

Debit air masuk drum = debit air masuk turbin + debit air keluar saluran limbah, atau dengan rumus ditulis, $Q_m = Q_t + Q_{sl}$

Direncanakan,

$$Q_t = 20 \text{ liter/s}$$

$$Q_m = 1,5 \cdot Q_t$$

$$Q_m = 1,5 \cdot 20 \text{ liter/s} = 30 \text{ liter/s}$$

Maka debit limbah pada kondisi normal adalah,

$$Q_{sl} = 30 \text{ liter/s} - 20 \text{ liter/s} = 10 \text{ liter/s}$$

Saluran limbah direncanakan menggunakan pipa PVC, perencanaan ukuran diameter saluran limbah akan mengasumsikan bahwa sistem PTMPMD beroperasi pada saat terjadi penutupan katup secara tiba-tiba sehingga seluruh debit air dari saluran pengantar akan masuk mengalir ke dalam saluran limbah hingga saat itu, $Q_{sl} = 30 \text{ liter/s}$. Kecepatan air mengalir masuk ke saluran limbah diasumsikan $V_{sl} = 2,5 \text{ m/s}$, maka diameter pipa PVC yang digunakan adalah,

$$Q_{sl} = A_{sl} \cdot V_{sl}$$

$$Q_{sl} = 0,785 \cdot D_{sl}^2 \cdot V_{sl}$$

$$D_{sl}^2 = \{ Q_{sl} / (0,785 \cdot V_{sl}) \}^{1/2}$$

$$D_{sl} = \{ Q_{sl} / (0,785 \cdot V_{sl}) \}^{1/2}$$

$$D_{sl} = \{ 0,03 \text{ m}^3/\text{s} / (0,785 \cdot 2,5 \text{ m/s}) \}^{1/2}$$

$$D_{sl} = (0,03 \text{ m}^2 / 1,9625)^{1/2}$$

$$D_{sl} = 0,123 \text{ m}$$

$$D_{sl} = 5 \text{ inchi}$$



Gambar 9. Posisi saluran limbah dan saluran buang

Pengamatan kebocoran

Kebocoran adalah salah satu tantangan yang cukup beresiko dari sistem pembangkit tenaga air khususnya untuk sambungan-sambungan komponen sistem PTMPMD yang berada di sekitar dasar drum penampung. Hal ini sangat beralasan, mengingat tekanan fluida air di dasar drum cukup besar bahkan untuk *head* 2,5 m maka tekanan statis air di dasar drum dapat mencapai

0,25 atmosfir atau 25.000 N/m². Dengan demikian, jika sambungan kampuh las antar drum tidak padat dan merata, serta sambungan flange-perpak pada turbin tidak cukup rapat, maka sangat dimungkinkan akan mudah terjadi kebocoran. Ada empat sambungan seal yaitu dua pada poros runner dan dua pada poros katup, tiga sambungan perpak, dan ada dua lingkaran sambungan las pada drum yang cukup panjang. Hasil pengamatan selama 5 jam sistem PTMPMD beroperasi, diketahui tidak terjadi kebocoran pada bagian-bagian sambungan tersebut sehingga lingkungan di sekitar drum penampung dan penggerak mula turbin tetap kering dan bersih. Dengan demikian, maka penilaian prestasi PTMPMD terhindar dari resiko kebocoran dapat mencapai 100,0% dan data lengkap hasil pengujiannya seperti ditunjukkan Tabel 1 berikut,

Tabel 1. Prestasi PTMPMD dari resiko bocor

No	Posisi Sambungan	Prestasi dari Resiko Bocor (%)
1	Sambungan las antara drum penampung	100,0
2	Sambungan perpak antara elbow dengan drum penampung	100,0
3	Sambungan perpak antara nozel dengan elbow	100,0
4	Sambungan perpak antara rumah turbin dengan tutup turbin	100,0
5	Sambungan seal antara <i>bearing</i> dengan poros runner	100,0
6	Sambungan seal antara ring dengan poros katup	100,0

Uji Efisiensi Regulator dan Katup

Regulator terpasang pada bodi rumah turbin yang berfungsi untuk memudahkan pada proses perubahan posisi katup dari posisi membuka ke posisi menutup atau sebaliknya. Cara kerja regulator adalah merubah gerak rotasi roda pemutar menjadi gerak translasi pada tuas katup. Total putaran roda regulator untuk merubah posisi katup dari terbuka penuh ke posisi terbuka penuh adalah sebanyak 36 putaran, dan perlakuan pengujian dilakukan pada empat posisi katup seperti kegiatannya ditunjukkan Gambar 10. Melalui pengaturan tersebut, maka untuk masing-masing posisi katup membutuhkan perubahan putaran sebanyak 9 putaran.



Gambar 10. Pengaturan regulator turbin

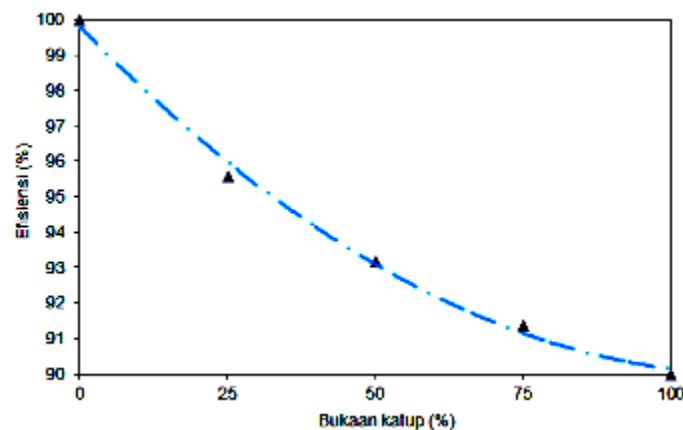
Debit air masuk turbin dapat diketahui dengan mengukur debit air yang keluar dari saluran buang, analisis ini dapat dilakukan karena air yang mengalir pada saluran buang berasal dari

air yang keluar dari turbin. Debit air yang keluar dari saluran buang langsung ditampung ke dalam bejana ukur selama waktu 5 detik. Untuk masing masing bukan katup dilakukan lima kali pengukuran dan perbandingan debit air rata-rata dengan debit rencana menghasilkan efisiensi regulator pengatur katup seperti hasilnya ditunjukkan Tabel 2 berikut,

Tabel 2. Efisiensi regulator-katup dengan acuan perbandingan debit

No	Posisi Katup	Jumlah Putaran Regulator (putaran)	Debit Rencana (liter/s)	Debit Riil rata-rata (liter/s)	Efisiensi Regulator-Katup (%)
1	Terbuka 25%	9	5	4,50	95,6
2	Terbuka 50%	18	10	9,14	93,2
3	Terbuka 75%	27	15	13,98	91,4
4	Terbuka 100%	36	20	19,12	90,0

Trend efisiensi regulator-katup lebih dijelaskan dengan kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 11 berikut,



Gambar 11. Trend efisiensi regulator-katup

SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan informasi prosedur dan contoh bangunan sistem pembangkit skala mikro maupun piko-hidro yang sederhana dan praktis yang dapat dibangun sendiri oleh masyarakat dengan biaya yang relatif terjangkau. Bangunan pembangkit yang sederhana namun sangat strategis ini sangat bermanfaat untuk kemandirian pemenuhan energi dari sumber energi yang terbarukan. Dari kegiatan pengujian di lapangan, peneliti mendapat banyak pengalaman teknis baik selama pembuatan komponen, pengangkutan sampai ke pemasangan di lapangan. Pengalaman lainnya adalah identifikasi lokasi pengujian yang tepat, usaha penyempurnaan dan perbaikan yang harus diselesaikan di lapangan dengan segala keterbatasannya, semua itu adalah bekal yang sangat berharga untuk pembangunan PTMPMD yang lebih baik di masa yang akan datang.

DAFTAR PUSTAKA

Bachtiar A.N., Pohan A.F., R. Ervil, and Nofriadiman, “ Effect of Rotation and Constant Head Variation on Performance of three sizes of Pum-as-turbine (PAT), International Journal of Renewable Energy Research (IJRER), vol. 13, no. 1, pp. 171-183, 2023.

- Bachtiar A.N., Pohan A.F., Ervil R., Santosa, Berd I., and Dinata U.G.S, “Performance of water wheel knock down system (W2KDS) for rice milling drive”, *International Journal on Advanced Science, Engineering and Information Technology (IJASEIT)*, vol. 11, no. 3, pp. 907-916, 2021.
- Bekiroglu E. and M. D. Yazar, “Analysis of grid connected wind power system”, *2019 IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA)*, Brasov, Romania, pp. 868-873, Nov., 2019.
- Gallego E., Ainhoa Rubio-Clemente [a,b](#), Juan Pineda [a](#), Laura Velásquez [a,†](#), Edwin Chica, 2021, Experimental analysis on the performance of a pico-hydro Turgo turbine, *Journal of King Saud University Engineering Sciences*,
- Hongyu G., J. Wei, W. Yuchuan, T. Hui, L.Ting, and C. Diyi, “Numerical simulation and experimental investigation on the influence of the clocking effect on the hydraulic performance of the centrifugal pump as turbine”, *Renewable Energy*, vol. 168, no. 3, pp.21–30, May. 2021.
- Kandri A., G. Meirelles, and B. Brentan, “Employing demand prediction in pump as turbine plant design regarding energy recovery enhancement”, *Renewable Energy*, vol.187, pp. 223-236, Mar. 2022.
- Lee M. D., P. S. Lee, 2021, Modelling the Energy Extraction from Low-Velocity Stream Water by Small Scale Archimedes Screw Turbine, *Journal of King Saud University Engineering Sciences*,
- Marre M., P. Mandin, J.L. Lanoisellé, E. Zilliox, F. Rammal, M. Kim, and R. Inguanta, “Pumps as turbines regulation study through a decision-support algorithm”, *Renewable Energy*, vol. 194, pp. 561-570, Jul. 2022.
- Renzi M., P. Rudolf, D. Štefan, A.Nigro, and M. Rossi, “Installation of an axial Pump-as-Turbine (PaT) in a wastewater sewer of an oil refinery: A case study”, *Applied Energy*, vol. 250, pp. 665-676, Sep. 2020.
- Pugliese F., N. Fontana, G. Marini, and M. Giugni, “Experimental assessment of the impact of number of stages on vertical axis multi-stage centrifugal PATs”, *Renewable Energy*, vol. 178, pp. 891-903, Nov. 2021.
- Stefan D., M. Rossi, M. Hudec, P. Rudolf, A. Nigro, and M. Renzi, “Study of the internal flow field in a pump-as-turbine (PaT): Numerical investigation, overall performance prediction model and velocity vector analysis”, *Renewable Energy*, vol. 156, pp. 158-172, Aug. 2020.
- Susastriawan A. A. P., Y. Purwanto, B.W. Sidharta, G. Wahyu, T. Trisna, R.A. Setiawan, “Producer gas stove: Design, fabrication, and evaluation of thermal Performance”, *Journal of King Saud University Engineering Sciences*, Sept, 2021.