

EKSPERIMENTAL OPTIMASI TIPE LUKUK SUDU PADA POMPA DIFUNGSIKAN SEBAGAI TURBIN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PICOHIDRO

Hantarum¹, Dwi Aries H.^{2*}, D Danardono DPT.², Sukmaji Indro C.², Titis Srimuda Pitana³

¹Mahasiswa Magister – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret Surakarta

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret Surakarta

*Koresponden : Dwi Aries H., Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta,
Email : dwiarieshimawanto@gmail.com

³Staf Pengajar – Jurusan Teknik Arsitektur - Universitas Sebelas Maret Surakarta

Keywords :

*Pump as turbine
Variation of blad
Electric power*

Abstract :

This study emphasizes the experimental pump functioned as turbine (PAT) by modifying the angle of entry and exit on the PAT blade. A pump for paddy NS-50 pump with a capacity of 563.22 litre/ minute and head 20 m tested in the laboratory of the Sebelas Maret University of Surakarta to obtain specific round figures. In this study the variables used are head (H) is 4 metre and the angle variation of the blade entry and exit totally 7 different specimens as well as variations in the shape of the blade is rectangular, round and oval. Pumps as turbines then connected to the generator and the result is electric power.

Result of the research showed that the best variation is at the variation of the angle outgoing and incoming angles of 30/30, the rotation happens is 850 rpm and the generated power is 90 watts. The results of the experiments showed good results theoretically. It is suggested to further modifications by using the same pump, expected better results in order to achieve the best efficiency point of PAT.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini perkembangan energi berbanding lurus dengan perkembangan jaman. Pertumbuhan penduduk, perkembangan industri, dan kemajuan teknologi menjadi alasan utama serta bukti bahwa energi sangatlah penting bagi kehidupan ini. Kebutuhan akan energi ini sayangnya tidak beriringan dengan sumber daya yang dimanfaatkan atau digunakan sebagai sumber utama penghasil energi. Pada tahun 2010, banyak negara telah menyadari pentingnya pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan sebagai pengganti energi tidak terbarukan seperti minyak bumi, batubara dan gas yang telah menimbulkan dampak yang sangat merusak terhadap bumi. Dengan semakin menipisnya cadangan sumber energi tidak terbarukan akan melepaskan emisi karbon ke atmosfer yang menjadi penyumbang besar terhadap pemanasan global.

Pada 2025, Indonesia menargetkan tingkat kelistrikan mencapai 90% untuk penduduk dengan jumlah saat itu (prediksi) lebih dari 273 juta jiwa. Keperluan rata-rata standar akan listrik adalah 450 watt tiap rumah. Dengan demikian maka dibutuhkan sekitar 9000 MW sampai tahun 2025. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) di Indonesia berpotensi mencapai 70.000 MW. Dengan demikian kekurangan 9000 MW diprediksi dapat dipenuhi melalui PLTA. Dari potensi 70.000 MW tersebut baru dimanfaatkan sekitar 6%. Pada daerah terpencil,

pemenuhan kebutuhan listrik melalui tenaga air dapat dibantu dengan Pembangkit Listrik Tenaga Listrik Mikro Hidro (PLTMH).

Kondisi alam Indonesia sangat kaya akan potensi air yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik. Karena itu, perlu optimalisasi pemanfaatan sumber daya air tersebut untuk pemenuhan energi. Sistem piko hidro sebagai salah satu sumber energi baru terbarukan yang dapat memberikan manfaat besar bagi masyarakat dalam memenuhi energi listrik tanpa harus mengeluarkan biaya tinggi untuk sistem transmisi daya atau perawatan lingkungan secara umum karena implementasi sistem terintegrasi dengan pemanfaatannya.

Prinsip dasar dari tenaga air, jika air dapat disalurkan dari ketinggian tertentu ke tingkat yang lebih rendah, maka head air yang dihasilkan dapat digunakan untuk melakukan pekerjaan. Penggunaan tersebut dapat menggerakkan komponen mekanik menjadi energi putaran yang disalurkan pada poros untuk menggerakkan sebuah generator untuk membangkitkan listrik. Pemilihan turbin yang baik untuk setiap tempat tertentu tergantung pada karakteristik tempat, head dan debit yang tersedia. Inovasi Turbin yang modern, mahal semua itu menjadi kendala bagi masyarakat pedesaan. Namun, jika kita menggunakan pompa yang diproduksi mahal dan cukup murah, bersih, hijau dan berkelanjutan merupakan solusi untuk kebutuhan listrik masyarakat

pedesaan. Skala generasi yang ditargetkan untuk pemakaian rumah tangga berkisar 400W - 5 kW.

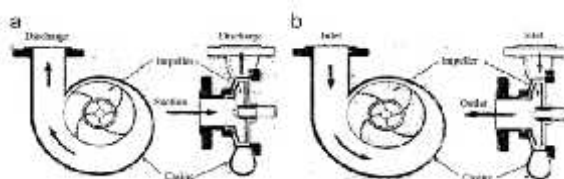
Salah satu alternatif yang ekonomis untuk membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah dengan menggunakan pompa sebagai turbin. Bidang ilmu yang khusus mengoperasikan pompa sebagai turbin ini sering disebut dengan istilah PAT, singkatan dari *Pumps As Turbine*. Beberapa tipe pompa air dapat diaplikasikan sebagai turbin air, biasanya pompa digerakkan oleh motor listrik untuk menaikkan sejumlah air sampai ketinggian tertentu. Pada aplikasi pompa sebagai turbin, prinsip kerja pompa dibalik yaitu diberi jatuhnya air dari ketinggian tertentu untuk memutar impeler pompa. Putaran impeler ini akan diteruskan untuk memutar generator sehingga dihasilkan tenaga listrik.

1.1 Pompa Sebagai Turbin

Sistem PLTA khas mengubah energi dari air yang jatuh ke energi mekanik dengan turbin. Dalam beberapa kasus, mungkin lebih tepat untuk menggantikan turbin dengan pompa air sentrifugal, dan menjalankannya secara terbalik. Salah satu alternatif yang ekonomis untuk membangun pembangkit listrik tenaga air skala kecil adalah dengan menggunakan pompa sebagai turbin. Bidang ilmu yang khusus mengoperasikan pompa sebagai turbin ini sering disebut dengan istilah PAT, singkatan dari *Pump As Turbine*. Biasanya pompa digerakkan oleh motor listrik untuk menaikkan sejumlah air sampai ketinggian tertentu. Pada aplikasi pompa sebagai turbin, prinsip kerja pompa dibalik yaitu diberi jatuhnya air dari ketinggian tertentu untuk memutar *impeller* pompa. Putaran *impeller* ini akan diteruskan untuk memutar generator sehingga dihasilkan tenaga listrik.

Beberapa kelebihan aplikasi pompa sebagai turbin air adalah:

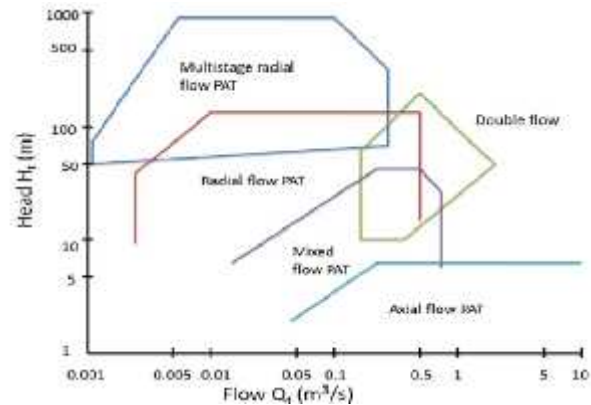
1. Sebagai produk industri yang massal, pompa mudah diperoleh dengan berbagai variasi *head - flow*, tersedia dalam berbagai tipe dan ukuran.
2. Mudah dalam instalasinya.
3. Harga relatif murah daripada turbin, dan suku cadang mudah diperoleh.
4. Aplikasi pompa dapat dikoneksi secara langsung dengan generator (*direct drive*) atau menggunakan transmisi mekanik *pulley-belt (indirect drive)* apabila putaran pompa sebagai turbin tidak sama dengan putaran generator (umumnya 1500 rpm).



Gambar 1.1 Pompa Centrifugal

(a) berfungsi sebagai pompa; (b) berfungsi sebagai turbin (Jain & Patel 2013)

Karena ada banyak tipe pompa yang dapat digunakan sebagai turbin, Chapallaz et al (1992) memberikan panduan untuk membantu dalam penentuan pompa yang sesuai sebagai turbin, seperti yang terlihat dalam gambar 1.2. Pompa multistage biasanya digunakan pada kondisi head sangat tinggi, dan flow rate yang tinggi.



Gambar 1.2. Grafik Pompa multistage pada kondisi head, dan flow rate.

Menurut Williams (1996) kelemahan utama dari sistem PAT adalah karakteristik kurva pada turbin mode yang biasanya tidak disertakan dengan pompa. Hal ini membuat sulit untuk memilih pompa yang sesuai untuk setiap aplikasi dan beberapa metode telah dikembangkan dalam rangka untuk memprediksi karakter turbin mode.

Nepal Micro Hydro Power (2005) memperkirakan *direct factors* 1.38 untuk head dan 1,25 untuk flow rate operasi pompa mode turbin. Namun, ketika Smitt (2005) melakukan percobaan sistem PAT, hasilnya menunjukkan *direct factors* 2 untuk head dan 1,65 untuk flow rate. Hal Ini menunjukkan bahwa sementara metode ini sederhana, faktor bervariasi tergantung pada pompa dan model. Faktor tersebut seharusnya hanya digunakan ketika data eksperimental dapat diperoleh dari produsen, dan kemudian hanya untuk pompa yang sangat mirip dengan konstruksi.

Pada umumnya pompa yang tersedia dipasaran tidak disertai dengan kurva karakteristik jika beroperasi sebagai turbin. Derakhshan dan Nourbakhsh (2010), melakukan studi eksperimental untuk menentukan kurva karakteristik pompa sentrifugal jika dioperasikan sebagai turbin. Beberapa pompa sentrifugal untuk industri yang mempunyai putaran spesifik lebih kecil dari 60 ($N_s < 60$ (m,m /s) dioperasikan sebagai turbin dan diuji efisiensinya. Pengujian dilakukan dengan menggunakan instalasi dengan sistem tertutup. Dengan menggunakan data hasil eksperimen, beberapa persamaan diajukan untuk mencari titik efisiensi terbaik (*best efficiency point*). Mereka juga mengajukan dua persamaan untuk memprediksi karakteristik pompa sentrifugal jika dioperasikan sebagai turbin.

Ketika pompa dioperasikan sebagai turbin, sifat hidrodinamikya akan berubah. Beberapa peneliti telah mengajukan beberapa metode untuk mengestimasi titik operasi terbaik dari sebuah pompa jika dioperasikan sebagai turbin. Tetapi validasi antara metode yang diajukan dan hasil yang didapat secara eksperimen masih menunjukkan beberapa penyimpangan.

Derakhshan dan Nourbakhsh (2008) melakukan studi numerik dan eksperimental terhadap sifat hidrodinamik pompa jika dioperasikan sebagai turbin. Dengan menggunakan perangkat lunak CFD FineTurbo V.7, mereka menganalisis secara numerik sifat hidrodinamik PAT. Hasil yang didapatkan secara numerik kemudian divalidasi dengan melakukan eksperimen. Pada penelitian mereka, hasil analisis numerik CFD dan hasil eksperimen untuk sebuah pompa sentrifugal dengan putaran spesifik $N = 23,5$ ($m, m^3/s$) terdapat perbedaan.

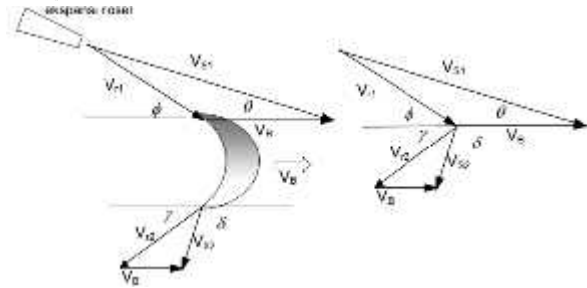
Derakhshan dkk. (2009) melakukan penelitian untuk meningkatkan efisiensi pompa sentrifugal jika dioperasikan sebagai turbin. Dengan menggunakan metode optimisasi gradien dan metode *incomplete-sensitivities* yang digabung dengan perangkat lunak penyelesaian persamaan Navier Stokes 3D, mereka fokus pada modifikasi bentuk sudu dari impeler pompa. Hasil yang didapat secara numerik menunjukkan akan terjadi peningkatan efisiensi jika dilakukan modifikasi dengan membuat profil blade lebih bulat pada sisi masuk dan didaerah *hub/shroud*. Hasil optimisasi menunjukkan peningkatan torsi, head, dan efisiensi hidrolis masing-masing sebesar 4,25%, 1,97%, dan 2,2%. Pada penelitian mereka dilakukan juga optimisasi tahap kedua dengan hasil efisiensi torsi, head, dan hidrolis masing-masing 2,27%, 1,08%, dan 1,17%.

Arriaga (2010) melaporkan pemasangan pompa sebagai turbin disebuah pedesaan di negara Demokratik Laos. Di desa tersebut dipasang sebuah PAT dengan daya output 2 kW. Pemasangan, operasi, dan perawatan dilakukan oleh penduduk setempat. Perhitungan biaya dan pemilihan komponen-komponen utama sistem secara keseluruhan juga dilaporkan. Ramos dan Borga (1999) melakukan analisis teori pengoperasian pompa sebagai turbin. Pada laporan mereka hanya menyelesaikan persamaan-persamaan matematik untuk mendapatkan potensi penggunaan pompa sebagai turbin.

D.A. Himawanto dkk (2015) dalam penelitiannya untuk mencari efisiensi tertinggi di antara berbagai jenis turbin Pelton melalui modifikasi volume bucket, sudut masuk bucket, dan ujung pengarah nozzle yang dilakukan di Laboratorium Konversi Energi dari Universitas Sebelas Maret. Studi antara parameter yang berbeda menunjukkan bahwa nilai efisiensi maksimum adalah 21,65%, yang diperoleh

pada 90° dudukan jarum dan 45° ujung jarum, dan +15% ukuran bucket dan 92° sudut masuk. Ini diperoleh mungkin karena ringan dari +15% bucket dibandingkan dengan bucket standar dan tekanan yang dihasilkan oleh air jet di tengah bucket, di mana beban air menduduki area yang luas pada permukaan bucket dan dihasilkan kecepatan meningkat.

1.2 Segitiga kecepatan Sudu Turbin



Gambar 1.3. Segitiga kecepatan pada sudu turbin impuls

Segitiga kecepatan merupakan dasar kinematika dari aliran fluida yang menumbuk sudu turbin. Dengan pemahaman segitiga kecepatan akan sangat membantu dalam pemahaman proses konversi pada sudu-sudu turbin.

Adapun notasi dari segitiga kecepatan adalah sebagai berikut :

- V_{S1} = Kecepatan absolut fluida meninggalkan nosel
- V_B = Kecepatan sudu
- V_{r1} = kecepatanrelatif fluida
- V_{r2} = Kecepatan relatif fluida meninggalkan sudu
- V_{S2} = Kecepatan absolut fluida meninggalkan sudu
- = sudut nosel
- = sudut masuk sudu
- = sudut keluar sudu
- = sudut keluar fluida

Dari segitiga kecepatan diatas, panjang pendeknya garis adalah mewakili dari besar kecepatan masing-masing. Sebagai contoh, fluida masuk sudu dengan kecepatan V_{S1} kemudian keluar sudah berkurang menjadi V_{S2} dengan garis yang lebih pendek, artinya sebagian energi kinetik fluida masuk sudu diubah menjadi energi kinetik sudu dengan kecepatan V_B , kemudian fluida yang sudah memberikan energinya meninggalkan sudu dengan kecepatan V_{S2} .

Pada turbin, proses perubahan energi mulai terjadi di inlet, yaitu ekspansi fluida pada inlet. Pada proses ekspansi di inlet, energi fluida mengalami penurunan, demikian juga tekanannya. Bersamaan dengan penurunan energi dan tekanan, kecepatan fluida naik, dengan kata lain energi kinetik fluida naik karena proses ekspansi. Kemudian, fluida dengan energi kinetik tinggi menumbuk sudu turbin dan memberikan sebagian energinya ke sudu,

sehingga sudupun bergerak. Perubahan energi dengan tumbukan fluida di sudu adalah azas impuls.

Untuk perubahan energi dengan azas reaksi, sudu turbin reaksi berfungsi seperti nosel. Hal ini berarti, pada sudu turbin reaksi terjadi proses ekspansi, yaitu penurunan tekanan fluida dengan disertai kenaikan kecepatan. Karena prinsip reaksi adalah gerakan melawan aksi, jadi dapat dipahami dengan kenaikan kecepatan fluida pada sudu turbin reaksi, sudu turbin pun akan bergerak sebesar nilai kecepatan tersebut dengan arah yang berlawanan.

Nautiyal dan Kumar (2010) melakukan review penelitian tentang PAT yang dipublikasi. Lebih kurang 43 laporan penelitian tentang PAT, baik yang dipublikasikan melalui jurnal maupun melalui konferensi ilmiah dijadikan referensi untuk direview. Topik-topik penelitian PAT tersebut dibagi atas beberapa kategori, yaitu: penelitian PAT secara analitik, penelitian PAT secara eksperimen, penelitian PAT dengan menggunakan perangkat lunak CFD, modifikasi impeler pada PAT, dan beberapa aplikasi PAT. Kesimpulan yang mereka dapatkan antara lain: PAT sangat cocok diaplikasikan antara lain untuk pembangkit tenaga pada daerah terpencil, sebagai penggerak osmosis terbalik (RO), dan sebagai penggerak distribusi air. Belum ada metode yang berlaku umum dalam melakukan prediksi efisiensi terbaik PAT. Penelitian dalam memodifikasi bentuk impeler belum banyak dilakukan. Penggunaan CFD dalam mengeksplorasi PAT juga masih sedikit dan diharapkan memberikan kontribusi yang lebih besar dimasa yang akan datang.

Dari semua literatur yang telah direview pada tulisan ini ada hal-hal yang turut menjadi latar belakang penelitian ini. Meskipun telah banyak dilakukan pada bidang PAT ini, tetapi masih diperlukan penelitian yang lebih banyak lagi demi terjadinya peningkatan penggunaan PAT yang lebih efisien. Kemudian untuk negara Indonesia belum dijumpai peneliti yang melaporkan penelitian tentang PAT ini. Kedua hal inilah yang menjadi tambahan latar belakang penelitian ini.

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini langkah awal yang dilakukan adalah pengujian performa impeller dari bahan *cast iron* sebuah pompa NS 50 produk China dengan spesifikasi sebagai berikut: kapasitasnya 563,22 liter/menit atau 9,387 liter/detik yang difungsikan sebagai turbin. Pompa ini diuji pada Laboratorium Mesin Fluida, Laboratorium Teknik Mesin Universitas Sebelas Maret Surakarta. Ketinggian air yang digunakan adalah 4 m. Hasil dari pengujian didapatkan Putaran sebesar 811 rpm dan daya yang dihasilkan sebesar 78 watt. Pada tahap selanjutnya dilakukan dengan mengganti impeller dari bahan Komposit dengan variasi kemiringan sudut masuk dan sudut keluar ($30^{\circ}/30^{\circ}$; $30^{\circ}/45^{\circ}$; $30^{\circ}/60^{\circ}$; $30^{\circ}/75^{\circ}$; $45^{\circ}/30^{\circ}$; $60^{\circ}/30^{\circ}$; $75^{\circ}/30^{\circ}$).

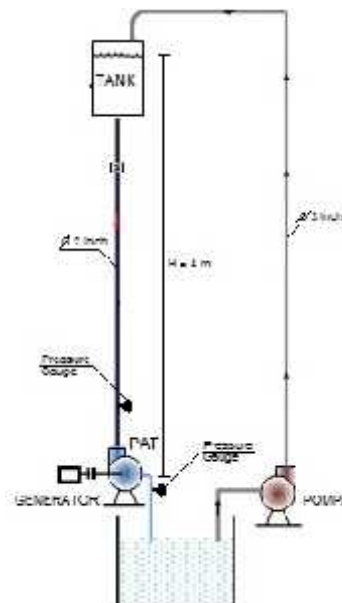


Gambar 2.1 Spesimen Uji

Rincian peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Reservoir kapasitas 1000 liter
2. Pompa NS 50
3. Pompa Sentrifugal
4. Generator Listrik.
5. Tachometer.
6. Pressure Gauge
7. Stopwatch
8. Volt Meter
9. Ampere Meter
10. Slang / Pipa PVC
11. Beban Listrik (Lampu Pijar), saklar, fitting dan kabel.

Air yang diturunkan akan ditampung dalam tanki penampungan dan akan dinaikkan kembali ke reservoir dibagian atas dengan menggunakan pompa lain sebagai pengumpan. Spesifikasi pompa pengumpan adalah jenis pompa sentrifugal dengan diameter pipa 3 inci dan kapasitas 10 liter/ detik.



Gambar 2.2 Skema Instalasi Pengujian PAT

Dalam bentuk foto, peralatan pengujian ditampilkan pada gambar 2.2. Pada pengujian ini,

digunakan satu reservoir berada pada tower dengan ketinggian 5 meter. Pada bagian bawah disediakan sebuah tangki dengan ukuran yang lebih luas dari reservoir di atas untuk menjamin tersedianya cukup air yang akan digunakan untuk memutar PAT. Dengan instalasi yang telah dikembangkan ini dapat dilihat sesuai dengan kondisi sebenarnya yang ada di lapangan nantinya.



Gambar 2.3 Instalasi Pengujian

Pada Gambar 2.4 ditunjukkan sebuah pompa yang sedang diuji sebagai turbin. Seperti yang ditunjukkan gambar PAT tersebut dihubungkan langsung dengan generator.



Gambar 2.4 PAT yang dihubungkan dengan Generator

Parameter yang diukur selama pengujian adalah putaran poros, voltase dan arus listrik yang dihasilkan, putaran poros yang terjadi dan debit aliran air jatuh setinggi 4 m. Prosedur pengujian adalah sebagai berikut: katup pada pipa buangan dibuka pada bukaan yang diinginkan (18° , 36° , 54° , 72° , 90°). Pompa pengumpan dihidupkan dan

ketinggian air di reservoir atas dijaga konstan. Generator dibebani dengan menghidupkan lampu. Setelah terjadi kondisi stabil dilakukan pengukuran voltase, arus, putaran. Untuk mengetahui debit aliran air, pada awal pengujian pompa pengumpan dihentikan dan penurunan ketinggian air pada reservoir atas dicatat. Pengujian ini diulang sebanyak tiga kali untuk setiap kasus yang diinginkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada Tabel 3.1 ditampilkan hasil pengujian, total pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah 7x3 kali percobaan masing-masing yang ditampilkan pada Tabel ini adalah nilai rata-rata dari 3 kali pengambilan sampel pada tiap spesimen uji. Adanya penambahan debit pada tabel ini adalah dengan memperhitungkan bukaan air pada pipa masukan ke turbin untuk mendapatkan variasi debit yang lebih banyak.

Tabel 3.1. Data Hasil Pengujian

SPESIMEN	DEBIT (l/s)		PUTARAN (rpm)	VOLT	AMPERE	DAYA (watt)
	Bukaan	Debit				
K1 (30/30)	90	4,7	870	30	8	90
	72	3,1	695	24	2	48
	54	2,1	521	18	2	36
	36	1,7	350	13	1	17
	18	0,8	174	5	1	5
K2 (30/45)	90	4,7	850	28	8	87
	72	3,7	685	23	2	46
	54	2,1	515	17	2	34
	36	1,8	345	11	1	11
	18	0,8	175	5	1	5
K3 (30/60)	90	4,7	850	28	8	84
	72	3,8	680	23	2	44
	54	2,1	510	17	2	34
	36	1,7	340	11	1	11
	18	0,8	170	5	1	5
K4 (30/75)	90	4,7	810	27	8	81
	72	3,8	655	23	2	44
	54	2,1	490	16	2	32
	36	1,7	330	11	1	11
	18	0,8	170	5	1	5
K5 (45/30)	90	4,7	810	27	8	81
	72	3,8	650	23	2	44
	54	2,1	487	16	2	32
	36	1,7	325	11	1	11
	18	0,8	165	5	1	5
K6 (60/30)	90	4,7	810	27	8	81
	72	3,8	648	23	2	44
	54	2,1	480	17	2	34
	36	1,7	325	11	1	11
	18	0,8	165	5	1	5
K7 (75/30)	90	4,7	790	26	8	78
	72	3,8	635	21	2	42
	54	2,1	474	16	2	32
	36	1,7	316	11	1	11
	18	0,8	160	5	1	5

Pada table 3.1 dapat dilihat dengan jelas bahwa bertambahnya debit akan menambah daya output dari PAT. Demikian juga bertambahnya putaran akan menambah daya output PAT. Hal ini sesuai dengan yang diharapkan bahwa penambahan energi potensial air akan menambah daya keluaran PAT. Secara umum daya output hasil pengujian ini masih cukup rendah. Umumnya masih dibawah

33,3%, yang tertinggi adalah pada debit 4,2 l/s pada bukaan katup 100% yaitu 90° dengan daya yang dihasilkan sebesar 90 watt. Sementara yang terendah sekitar 6,3%, yang terendah pada debit 0,8 l/s pada bukaan 18° dengan daya yang dihasilkan sebesar 6 watt.



Gambar 3.1 Pengaruh Debit Terhadap Putaran

Dari grafik pengaruh antara debit dengan nilai putaran pada pengukuran ketinggian 4 meter yaitu pada gambar 3.1 Terjadi peningkatan nilai putaran pada semua variasi kelengkungan sudu untuk putaran poros 174 rpm sampai dengan putaran poros 870 rpm. Peningkatan putaran untuk spesimen K1 ($30^{\circ}/30^{\circ}$) pada putaran poros 870 rpm mengalami putaran tertinggi hal ini disebabkan perubahan pada penampang yang dihitung dengan menggunakan segitiga kecepatan pada sudu-sudunya. Namun secara umum dari hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan putaran untuk semua variasi kelengkungan sudu terhadap putaran poros.



Gambar 3.2 Pengaruh Debit Terhadap Daya Output

Dari grafik pengaruh antara debit dengan nilai daya output pada pengukuran ketinggian 4 meter yaitu pada gambar 3.2 Terjadi peningkatan nilai putaran pada semua variasi kelengkungan sudu untuk daya 6 watt sampai dengan daya 90 watt. Peningkatan daya untuk spesimen K1 ($30^{\circ}/30^{\circ}$) pada daya 90 watt mengalami daya tertinggi hal ini disebabkan voltase dan arus yang mengalir setelah ada pembebanan daya kemudian dihitung dengan menggunakan rumus daya yang terjadi pada generator. Namun secara umum dari hasil pengukuran menunjukkan adanya peningkatan daya output untuk semua variasi kelengkungan sudu

terhadap daya output.



Gambar 3.3. Hubungan Debit dan Putaran Terhadap Daya Output

3.1 Pembahasan

Untuk mengestimasi peningkatan putaran poros dan daya output jika dilakukan penambahan debit, maka pada Gambar 3.3 ditampilkan hubungan antara debit dan putaran terhadap daya PAT. Secara teori hubungan debit dan putaran terhadap daya akan naik secara linier dari debit yang rendah sampai yang tertinggi, kemudian saat mendekati titik maksimum akan terjadi penurunan kemiringan atau tidak linier lagi hal ini disebabkan bentuk dari variasi pada sudu turbin. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini masih linier. Hal ini turut membuktikan bahwa, PAT ini masih beroperasi jauh dibawah kondisi optimumnya.

Dari data di atas dapat diartikan bahwa PAT masih beroperasi jauh dibawah putaran dan daya ideal sebuah pompa sebagai turbin. Hal ini diyakini karena debit aliran air yang masuk pompa terbatas karena pipa yang digunakan pada pengujian ini cukup kecil yaitu 2 inci. Diyakini pompa ini masih mampu mengubah energi air dengan menggunakan pipa dengan diameter pipa yang lebih besar. Kurva karakteristik PAT ini ditampilkan pada grafik di gambar 3.3 Pada grafik yang ditampilkan, sebagai parameter disumbu-x adalah debit aliran dalam liter/detik dan sumbu vertikal adalah putaran dan daya output.

4. KESIMPULAN

Dari analisa data dan pembahasan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Nilai putaran poros sebesar 870 rpm mengindikasikan bahwa kecepatan yang diperoleh dari sudut sudu dengan variasi sudut masuk 30° dan sudut masuk 30° mencapai putaran tertinggi dari variasi yang lain disebabkan karena kemampuan mengubah tekanan air dari inlet seimbang dengan kemampuan melepas tekanan ke outlet.
2. Nilai Daya output disebabkan pengaruh putaran poros terhadap putaran pada generator yang dihitung berdasarkan voltase dan arus yang keluar dari generator.

3. Besarnya putaran poros dan daya output dipengaruhi oleh ketinggian air jatuh dan volume yang masuk ke turbin serta kemampuan sudut sudu untuk mengubah kecepatan aliran.

Ucapan Terima Kasih :

Artikel ini merupakan bagian dari Skema Penelitian Unggulan yang didanai dengan dana DIPA (Direktorat Penelitian Pengabdian Kepada Masyarakat) No. DIPA : 023.04.1.673453.2010. Tanggal 14 November 2014, DIPA Revisi 01 Tanggal 29 Februari 2015.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, K. V., Giddens, E. P., & Fuller, A. M., (2009a), *Axial-flow turbines for low head microhydro systems*. *Renewable Energi*, 34(1).
- Arriaga M, 2010, *Pump as turbine – A pico-hydro alternative in Lao People’s Democratic Republic*, *Renewable Energy* 35 (2010)
- BH. Teuteberg, 2010, *Design Pump as Turbine Mikrohydro Sistem For an Abalone Farm*. Universitas Stellenbosch.
- Blueprint, 2005, *Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Kementerian ESDM Indonesia. 2005
- Contained Energy Indonesian, 2010, *Energi Terbarukan*, PNPM Mandiri.
- Derakhshan S, Mohammadi, B., dan Nourbakhsh A., 2008, *Incomplete sensitivities for 3D radial turbomachinery blade optimization*, *Computational Fluids* 37 (2008).
- Derakhshan, S dan Nourbakhsh A., 2008, *Experimental study on characteristic curve of centrifugal pumps working as turbines in different specific speeds*, *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2008).
- Derakhshan, S. dan Nourbakhsh, A., 2008, *Theoretical, numerical and experimental investigation of centrifugal pumps in reverse operation*, *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 (2008)
- Derakhshan, S., Mohammadi, B., dan Nourbakhsh, A., 2009, *Efficiency improvement of Centrifugal Reverse Pumps*, *ASME Journal of Fluids Engineering* 131 (2009).
- Derek Hartland, 1968, ' US Patent No . 3238534 ', "Pompa hidrolik Dan Turbines Pump Reversible", dipatenkan Maret 1, 1966: Derek Hartland, ' US Patent No . 3403888 ', Pump Reversible Turbines.
- Direktorat Jenderal Energi Baru, Terbarukan dan Konservasi Energi, 2013, *Development and Challenge of Hydro*. Jakarta : Kuliah Umum Aneka EBT.
- Kementerian ESDM., 2015, *Kearifan Lokal Menuju Kemandirian Energi*. Jakarta: Buku Pedoman Penghargaan Energi 2015.
- Kementerian Riset dan Teknologi RI., 2006, *Energi Baru dan Terbarukan untuk Mendukung Ketersediaan Energi Tahun 2025*. Jakarta : Buku Putih Sumber Energi Baru dan Terbarukan.
- M. M. Alnakhilani, Mukhtar, D. A. Himawanto, A. Alkurtehi & D. Danardono, 2015, *Effect of the Bucket and Nozzle Dimension on the Performance of a Pelton Water Turbine*. *Journal of Modern Applied Science*; Vol. 9, No. 1; 2015
- Ramos, H dan Borga A., 1999, *Pumps as turbine: an unconventional solution to energy production*, *Urban Water* 1 (1999).
- Rijal, K, Bansal, NK , Grover, PD., 1995, *Ekonomi Shaft Daya Aplikasi di Pedesaan Nepal*, *Journal of Energi Res*, Vol . 19 , Bagian.
- Shahram Derakhshan, Ahmad Nourbakhsh, 2013, *Studi eksperimental kurva karakteristik sentrifugal pompa bekerja sebagai turbin dalam berbagai kecepatan tertentu*, (Diterima 11 Februari 2007 ; diterima dalam bentuk direvisi 30 September 2007 ; diterima 2 Oktober 2007) *Dipandu Pompa - as- Turbin : Desain dan pengembangan untuk Pico - Tingkat Energi Generasi International Journal of Applied Research di Teknik Mesin (IJARME) ISSN : 2231 -5950 , Volume - 3 , Edisi – 1.*
- Singh, P. dan Nestmann, F., 2010, *An optimization routine on a prediction and selection model for the turbine operation of centrifugal pumps*, *Experimental Thermal and Fluid Science* 34 (2010).
- Singh, P. dan Nestmann, F., 2010, *An optimization routine on a prediction and selection model for the turbine operation of centrifugal pumps*, *Experimental Thermal and Fluid Science* 34 (2010).
- Williams A. A., 1996, "Kinerja turbin pompa sentrifugal : perbandingan prediksi metode Subject : Prosiding Lembaga Mechanical Engineers 1847-ARCHIVE : Prosiding Lembaga Mechanical Insinyur , Bagian A : *Journal of Power dan Energi* 1990-1996 (jilid 204-210) Issue : Volume 208 , Nomor A1 / 1994.