

Unjuk Kerja Instalasi Sistem untuk Menaikkan Air dengan Tenaga Hidro Berbasis Teknologi Pipa Kayu dan Pompa sebagai Turbin

Suhanan^{1*}, Arif Budi Wicaksono² dan Octavianus³

¹⁾Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55581, Indonesia

²⁾ Magister Teknik Sistem, Program Pascasarjana Fakultas Teknik UGM
Jl. Teknik Utara No. 2, Yogyakarta 55581, Indonesia

³⁾Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55581, Indonesia
E-mail : ¹⁾suhanan@ugm.ac.id

Abstrak

Air bersih merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia termasuk makhluk hidup lainnya. Ketersediaan air bersih bisa diperoleh dari berbagai sumber seperti dari sungai, curah hujan, air permukaan, dan air bawah tanah. Untuk memperoleh air dari sumber air bawah tanah, biasanya digunakan pompa yang membutuhkan energi listrik. Untuk daerah-daerah tertentu dimana ada keterbatasan energi listrik, air dapat dinaikkan dengan memanfaatkan beda ketinggian air (tenaga hidro) dengan menggunakan teknologi pompa sebagai turbin (*Pump as Turbine*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui unjuk kerja dari sebuah instalasi sistem yang digunakan untuk menaikkan air dari sumber air bawah tanah. Teknologi yang digunakan dalam instalasi sistem ini adalah pada sistem perpipaannya, yaitu pipa pesat (*penstock*) yang menggunakan material kayu, dan penggunaan pompa yang difungsikan sebagai turbin (*Pump as Turbine, PaT*). Instalasi sistem terdiri dari dua modul. Pada modul pertama, pompa sebagai turbin dikopel dengan pompa sebagai pompa dengan menggunakan *gearbox*, sedangkan pada modul kedua, pompa sebagai turbin dikopel langsung dengan pompa sebagai pompa. Pada pengujian ini dilakukan variasi head antara 8,3 m sampai dengan 9,3 m, dan variasi bukaan katup pada pompa sebagai pompa dan pompa sebagai turbin dengan variasi 100%, 75%, 50%, dan 25%. Efisiensi sistem dihitung dengan membagi debit air yang mampu dihasilkan oleh pompa sebagai pompa dengan debit air yang digunakan untuk memutar pompa sebagai turbin. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi sistem kedua modul hampir sama. Pada bukaan katup 100% dan head 9,3 m, efisiensi modul kedua adalah 28,29%, sementara modul pertama efisiensinya 27,9 %.

Kata kunci: pipa pesat, pompa sebagai turbin, *head*, hidro, debit.

Latar belakang

Salah satu kebutuhan yang paling penting dari umat manusia sampai sekarang adalah air bersih. Kebutuhan air bersih bagi manusia meliputi air minum, sanitasi, kebutuhan rumah tangga lainnya serta kebutuhan untuk industri. Berbagai sumber air bersih bisa didapatkan dari sungai, curah hujan, air permukaan, dan juga dari air bawah tanah. Untuk mendapatkan air bersih dari sumber air bawah tanah, biasanya digunakan pompa yang memerlukan sumber energi, dalam hal ini adalah energi listrik. Tetapi untuk daerah-daerah tertentu yang mengalami keterbatasan atau ketiadaan sumber energi listrik, maka penggunaan pompa tidak dapat dilakukan.

Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, salah satu cara yang dapat digunakan adalah dengan memanfaatkan beda ketinggian air dengan sistem

pompa sebagai turbin. Pada sistem ini air dari bawah tanah yang lebih dalam dapat dipompa ke permukaan dengan memanfaatkan beda ketinggian dari air bawah tanah yang berada lebih dekat dengan permukaan. Dalam hal ini, air dibendung di kolam penampungan, lalu dialirkan melalui pipa pesat atau *penstock*, lalu digunakan untuk memutar pompa yang difungsikan sebagai turbin. Pompa sebagai turbin dikopel dengan pompa sebagai pompa yang kemudian akan menaikkan air sampai pada ketinggian tertentu di atas permukaan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui unjuk kerja, yang dinyatakan dalam besaran efisiensi, sebuah sistem yang digunakan untuk menaikkan air dengan tenaga hidro berbasis teknologi pipa kayu dan pompa sebagai turbin

Fasilitas sistem yang digunakan untuk penelitian ini telah dibangun di lingkungan

Fakultas Teknik UGM. Fasilitas ini merupakan model dari sistem yang diterapkan di Goa Seropan Gunung Kidul yaitu “*Seropan under ground water extraction system*”, dibangun atas kerjasama antara Fakultas Teknik UGM dengan Karlsruhe Institute of Technology (KIT) Jerman. Gambar 1 menunjukkan maket fasilitas sistem di Fakultas Teknik UGM.



Gambar 1. Maket Instalasi sistem [6]

Teknologi yang digunakan dalam instalasi ini adalah pada sistem perpipaannya, yaitu pipa pesat (*penstock*) yang menggunakan material kayu, dan penggunaan pompa yang difungsikan sebagai turbin (*Pump as Turbine, PaT*). Pemilihan kayu sebagai material pipa terutama digunakan untuk sistem di daerah yang sulit untuk mendapatkan pipa yang terbuat dari material logam atau lainnya.

Penggunaan pompa yang difungsikan sebagai turbin (*PaT*) sudah menjadi topik penelitian selama puluhan tahun terakhir. Pada sekitar tahun 1950 dan 1960, konsep pembangkit listrik tenaga mikro hidro menggunakan pompa sebagai turbin sudah dikembangkan. Berbagai alasan untuk menggunakan teknologi pompa sebagai turbin adalah karena lebih murah dan lebih mudah pada saat pemasangan, perawatan, dan pengoperasian [1]. Pompa relatif sederhana dan mudah dirawat, dan juga memiliki efisiensi maksimum yang kompetitif dibandingkan terhadap turbin konvensional [2]. Pompa sebagai turbin menyediakan alternatif yang ekonomis terutama untuk pembangkit listrik tenaga mikro hidro. Pompa merupakan alat yang diproduksi massal, sehingga memiliki beberapa keuntungan diantaranya relative sederhana dan mudah perawatannya, biaya investasi murah, tersedia pada berbagai *head* dan debit aliran, harganya jauh lebih murah dibandingkan dengan harga turbin konvensional [3]. Sebuah Studi kelayakan telah dilakukan untuk penggunaan Pompa sebagai Turbin (*PaT*) di Goa Bribin, Gunung Kidul Yogyakarta [8]. Keuntungan utama pompa adalah

bahwa produksi massal pompa berarti bahwa mereka relatif jauh lebih hemat biaya daripada turbin konvensional. dan mempunyai efisiensi yang kompetitif dibandingkan dengan efisiensi turbin [4]. Penggunaan lain dari sistem Pompa sebagai turbin pada sistem irigasi, *sewage disposal system*, unit desalinasi dan pertambangan [5].

Sebagai sebuah system, pompa dioperasikan dalam arah yang berlawanan (terbalik) sehingga pompa berfungsi sebagai turbin, dimana potensi energi air melalui sudu-sudu pompa dirubah menjadi energi mekanik berupa putaran poros yang selanjutnya digunakan menggerakkan pompa untuk menaikkan air sampai pada ketinggian tertentu. Penggunaan sistem pompa sebagai turbin telah menjadi populer, hal ini terutama untuk daerah-daerah yang kesediaan turbinnya terbatas sementara pompa lebih mudah didapatkan.

Pada penelitian ini, akan diamati unjuk kerja dari sistem pompa sebagai turbin melalui berbagai variasi seperti beda ketinggian dan juga debit (bukaan katup) untuk mengetahui efisiensi yang mampu dihasilkan oleh sistem.

Daya yang dihasilkan sebuah turbin dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$P = \eta \cdot \rho \cdot g \cdot h \cdot Q \quad (1)$$

Dimana:

P = daya (J/s atau Watt)

η = efisiensi turbin

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

g = percepatan gravitasi (9.81 m/s^2)

h = *head* (m)

Q = debit aliran (m^3/s)

Efisiensi system didapat dari membandingkan debit air yang mampu dipompa oleh pompa sebagai pompa dengan debit air yang digunakan untuk memutar pompa sebagai turbin.

$$\text{Efisiensi} = \frac{Q_p}{Q_T} \quad (2)$$

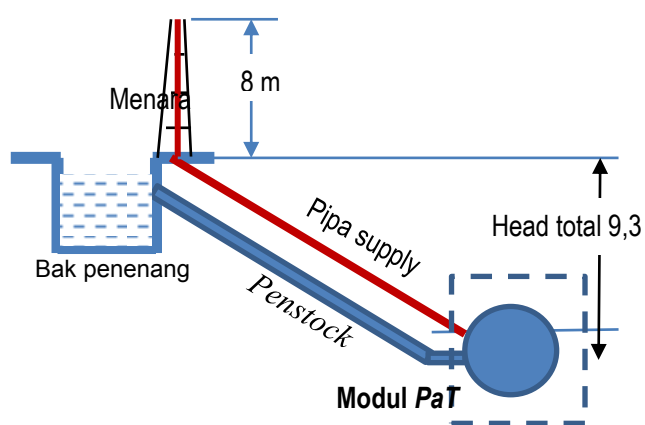
Dimana:

Q_p = debit pompa sebagai pompa yang terbaca pada panel, l/s.

Q_T = debit pompa sebagai turbin yang terbaca pada panel, l/s

Metodologi Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah instalasi system seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Secara skematik instalasi system dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 : Skema instalasi system

Bagian utama dari instalasi sistem terdiri dari bak penenang (reservoir), menara yang tingginya 8 m dari permukaan, pipa *supply* yang digunakan untuk mengalirkan air dari pompa menuju menara dan kembali ke bak penenang, pipa pesat (*penstock*) dan modul *PaT* (*Pump as Turbine*).

Pipa pesat (*penstock*)

Pipa pesat atau *Penstock* berperan sebagai pipa distribusi air pada pembangkit listrik tenaga hidro, mengalirkan air dari bak penenang (*reservoir*) menuju ke turbin. Pada sistem ini, *penstock* mengalirkan air dari penampungan menuju pompa sebagai turbin. Pipa kayu (Gambar 3) yang digunakan hanya untuk bagian pipa yang besar dan panjang, dimulai dari bagian intake. *Penstock* kayu memiliki diameter dalam 510 mm dan panjang 30 meter. Pipa ini terbuat dari kayu jati. Setelah melewati *penstock* kayu, air akan melewati pipa-pipa baja.



Gambar 3. : Pipa pesat (*Penstock*) terbuat dari kayu jati dengan diameter dalam 510 mm dan panjang 30 m.

Air yang masuk ke *penstock* akan mengalami perubahan energi, tekanan, dan kecepatan. Biro Reklamasi Departemen Dalam Negeri Amerika Serikat [7], mengatakan bahwa *penstock* adalah saluran tekanan antara bagian putaran turbin dengan bagian upstream dari turbin. *Penstock* adalah pipa yang menyampaikan air dibawah tekanan dari reservoir ke power house. *Penstock* merupakan bagian penting dari skema pembangkit listrik tenaga air, tetapi biaya peralatan dan instalasi cukup mahal dan dapat menghabiskan separuh dana dari seluruh pekerjaan sipil yang ada.

Kecepatan air melewati *penstock*

Berdasarkan hukum Bernoulli, kecepatan air pada *penstock* dapat dihitung dengan persamaan

$$V = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad (3)$$

Dimana:

V = Kecepatan (m/s)

g = Percepatan gravitasi (m/s²)

h = Head (m)

Head Loss di dalam *penstock*

Dalam mekanika fluida, head adalah sebuah konsep yang berhubungan dengan energi di dalam suatu fluida *incompressible* dengan ketinggian kolom statik ekuivalen dari fluida tersebut. Kerugian hidrolis di dalam *penstock* akan mengurangi head efektif secara proporsional terhadap panjang *penstock* dan kuadrat dari kecepatan aliran.

Secara umum, kerugian hidrolis dapat dikarenakan gesekan sepanjang *penstock*, fitting, gravitasi, nozzle dan difuser. Persamaan yang digunakan untuk menghitung head loss akibat gesekan adalah persamaan Darcy-Weisbach:

$$h_L = f \frac{L V^2}{D 2g} \quad (4)$$

Dimana:

h_L = Head Loss (m)

f = koefisien gesek

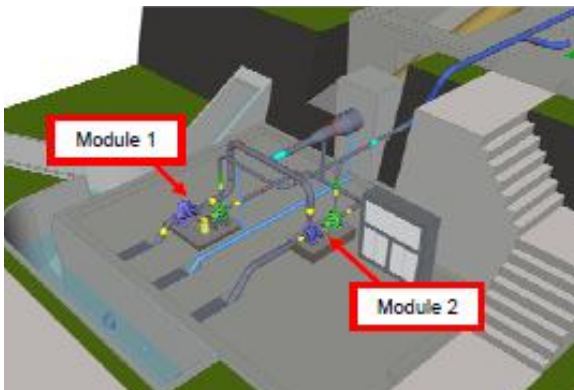
L = Panjang *penstock* (m)

V = Kecepatan (m/s)

D = Diameter pipa (m)

Modul *PaT* (*Pump as Turbine*)

Modul *PaT* yang terpasang pada sistem ini terdiri dari dua modul. Maket dari modul tersebut ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Modul Pump as Turbine [6]

Pada modul 1 (Gambar 5), pompa sebagai turbin dikopel dengan pompa sebagai pompa dengan menggunakan *gearbox*. Pada modul 2 (Gambar 6), pompa sebagai turbin dikopel langsung dengan pompa sebagai pompa tanpa menggunakan *gearbox*. Sistem perpipaan yang menghubungkan antara modul 1 dan modul 2 ditunjukkan pada Gambar 7.

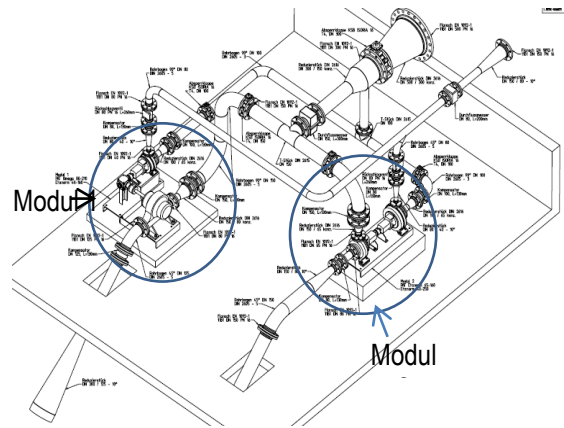
Proses percobaan dilakukan untuk satu modul pada satu waktu tertentu secara bergantian. Kemudian kedua modul dioperasikan secara bersamaan.



Gambar 5 : Maket dan foto Modul 1[6]



Gambar 6 : Maket dan foto Modul 2[6]



Gambar 7. Sistem perpipaan pada Modul 1 dan Modul 2 [6]

Prosedur pengambilan data pada setiap modul adalah sebagai berikut :

Air harus disediakan cukup untuk menjalankan sistem agar head tidak berubah selama proses percobaan berlangsung. Katup gerbang (intake) divariasikan mulai dari terbuka penuh, $\frac{1}{4}$ tertutup, $\frac{1}{2}$ tertutup, sampai dengan $\frac{3}{4}$ tertutup. Putaran yang mampu dihasilkan oleh pompa sebagai turbin dibaca menggunakan tachometer. Debit air yang dialirkan oleh pompa sebagai pompa dicatat.

Hasil Penelitian

Hasil penelitian pada keseluruhan sistem pompa sebagai turbin meliputi kecepatan putaran pompa baik pompa sebagai turbin maupun pompa sebagai pompa, debit air yang digunakan untuk memutar pompa sebagai turbin, dan debit air yang mampu dipompa oleh pompa sebagai pompserta efisiensi sistem

Data hasil pengukuran kinerja sistem disampaikan dalam tabel 1,2 dan 3. Data-data tersebut merupakan contoh tipikal yang diambil untuk ketinggian head 9,3 m. Tabel 1 menunjukkan sistem dalam kondisi Modul 1 ON, Modul 2 OFF.

Tabel 1. Sistem dengan modul 1 ON dan modul 2 OFF

	Nilai rerata	Pembukaan katup, %			
		100	75	50	25
Flow Rate	$Q_{PAT, Module1}$ [l/s]	21.2	21.4	20.8	16.5
	$Q_{PAT, Module2}$ [l/s]	9	1	20.8	5
	$Q_{Supply Pipe}$ [l/s]	-	-	-	-
	$Q_{total} = (Q_{PAT} + Q_{supply Pipe})$ [l/s]	5.94	5.94	5.46	1.84
RP	$n_{PAT, Module1}$	27.2	27.3	26.2	18.3
		3	5	5	8
		122	122	120	107

M	[rpm]	6	6	7	0
	$n_{\text{Pump, Module1}}$ [rpm]	184	184	181	160
	$n_{\text{PAT, Module2}}$ [rpm]	-	-	-	-
	$n_{\text{Pump, Module2}}$ [rpm]				
PH	Pressure Head [m]	9.31	9.31	9.31	9.31
Efis i-ensi	$Q_{\text{Supply Pipe}} / Q_{\text{PAT}}$ [%]	27.9	27.7	26.2	11.1
		0	5	5	2

Tabel 2 menunjukkan sistem dalam kondisi Modul 1 OFF, Modul 2 ON. Sementara Tabel 3 menunjukkan system dimana kedua Modul dalam keadaan ON.

Dari tabel 1 dan tabel 2 terlihat bahwa efisiensi system pada kondisi modul 1 ON hampir sama besarnya dengan pada kondisi modul 2 ON. Ada sedikit perbedaan seperti juga yang diperlihatkan pada Gambar 11, dimana efisiensi sistem kondisi modul 1 ON sedikit lebih rendah dibandingkan dengan kondisi modul 2 ON, karena pada modul 1 ada system transmisi antara pompa sebagai turbin (PaT) dan pompa sebagai pompa. Sementara pada modul 2 Pompa sebagai turbin (PaT) dan pompa sebagai pompa dikopel langsung dengan poros yang sama.

Efisiensi sistem dari tiga kondisi sebagai fungsi dari ketinggian head untuk berbagai variasi bukaan katup (25%, 50%, 75% dan 100%) ditunjukkan pada Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10. Gambar 11 menunjukkan perbandingan efisiensi sistem dengan modul 1 ON dan sistem dengan modul 2 ON, sebagai fungsi pembukaan katup untuk head 9,3 m

Tabel 2. Sistem dengan modul 1 OFF dan modul 2 ON

	Nilai rerata	Pembukaan katup, %			
		100	75	50	25
Flow Rate	$Q_{\text{PAT, Module1}}$ [l/s]	-	-	-	-
	$Q_{\text{PAT, Module2}}$ [l/s]	18.9	19.0	18.6	15.1
	$Q_{\text{Supply Pipe}}$ [l/s]	5.36	5.32	4.98	2.33
	$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{PAT}} + Q_{\text{Supply Pipe}})$ [l/s]	24.3	24.3	23.6	17.4
		1	3	3	5
RPM	$n_{\text{PAT, Module1}}$ [rpm]	-	-	-	-
	$n_{\text{Pump, Module1}}$ [rpm]	-	-	-	-

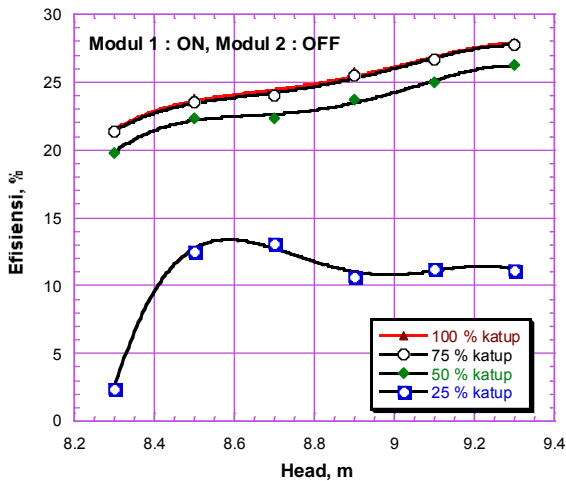
	$n_{\text{PAT, Module2}}$ [rpm]	115	115	114	106
	$n_{\text{Pump, Module2}}$ [rpm]	3	3	3	8
PH	Pressure Head [m]	9.3	9.3	9.31	9.33
Efis i-ensi	$Q_{\text{Supply Pipe}} / Q_{\text{PAT}}$ [%]	28.2	27.9	26.7	15.4
		9	9	2	1

Tabel 3. Sistem dengan modul 1 ON dan modul 2 ON

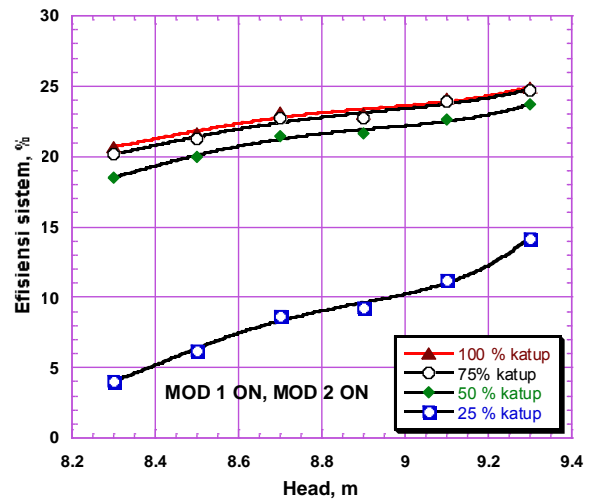
	Nilai rerata	Pembukaan katup, %			
		100	75	50	25
Flow Rate	$Q_{\text{PAT, Module1}}$ [l/s]	39.0	39	38.1	32.5
	$Q_{\text{PAT, Module2}}$ [l/s]	8		1	9
	$Q_{\text{Supply Pipe}}$ [l/s]	9.74	9.64	9.02	4.63
	$Q_{\text{total}} = (Q_{\text{PAT}} + Q_{\text{Supply Pipe}})$ [l/s]	48.8	48.6	47.1	37.2
		2	4	3	3
RPM	$n_{\text{PAT, Module1}}$ [rpm]	121	121	119	106
	$n_{\text{Pump, Module1}}$ [rpm]	5	4	4	9
	$n_{\text{PAT, Module2}}$ [rpm]	182	182	179	160
	$n_{\text{Pump, Module2}}$ [rpm]	2	1	2	4
		115	115	114	110
		9	6	4	8
PH	Pressure Head [m]	9.27	9.29	9.3	9.3
Efis i-ensi	$Q_{\text{Supply Pipe}} / Q_{\text{PAT}}$ [%]	24.9	24.7	23.6	14.2
		2	2	7	1

Dari data hasil pengamatan terlihat bahwa efisiensi tertinggi dari sistem diperoleh ketika sistem beroperasi dengan Modul 2. Pada pembukaan katup 100 % dan head 9,3 m efisiensi system adalah 28, 29%. Efisiensi ini masih dibawah nilai efisiensi rancangan awal yang besarnya sekitar 42%. Hal ini kemungkinan bisa terjadi karena system perpipaan dari keluaran pipa pesat menuju inlet pompa sebagai turbin mengalami pengecilan dan cukup banyak belokan, sehingga akan memperbesar rugi-rugi aliran.

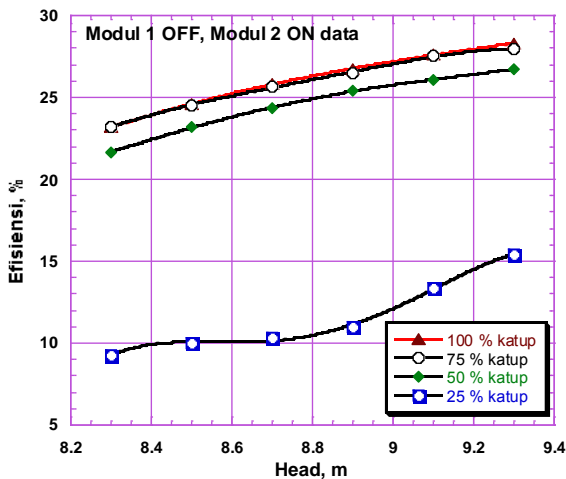
Untuk kondisi yang sama, efisiensi system ketika beroperasi dengan modul 1 sedikit lebih rendah karena pada modul 1 digunakan tambahan transmisi antara pompa sebagai turbin (PaT) dan pompa sebagai pompa yang ini akan menambah rugi rugi mekanik, efisiensi system yang dicapai adalah 27,90%.



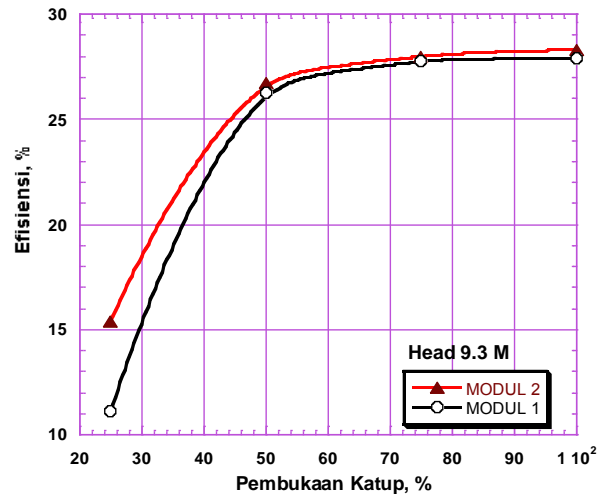
Gambar 8. : Efisiensi sistem sebagai fungsi head kondisi Modul 1 ON dan Modul 2 OFF, untuk variasi pembukaan katup



Gambar 10. : Efisiensi sistem sebagai fungsi head kondisi Modul 1 dan Modul 2 ON, untuk variasi pembukaan katup



Gambar 9. : Efisiensi sistem sebagai fungsi head kondisi Modul 1 OFF dan Modul 2 ON, untuk variasi pembukaan katup



Gambar 11. : Perbandingan efisiensi sistem Modul 1 dan Modul 2 sebagai fungsi pembukaan katup untuk head 9,3 m

Terjadi penurunan efisiensi ketika system beroperasi dengan kedua modul bersamaan (Modul 1 dan 2 kondisi ON) seperti diperlihatkan pada Gambar 10. Pada kondisi yang sama yaitu untuk head 9,3 m dengan bukaan katup 100%, efisiensi system adalah 24,9%.

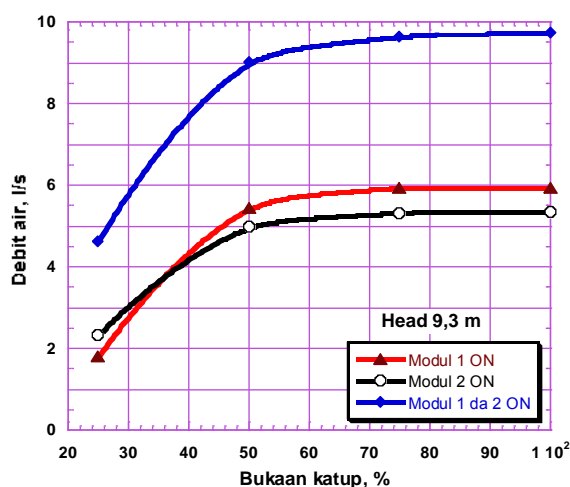
Dalam kondisi seperti ini kedua modul beroperasi secara bersamaan, berfungsi seperti dua pompa susunan paralel, kemudian keluaran air dari pompa sebagai pompa dari kedua modul menuju ke satu saluran yang sama.

Ada perubahan luas penampang saat memasuki satu saluran yang sama, disamping itu jumlah debit aliran dari kedua pompa menjadi lebih besar dengan diameter pipa saluran tetap sehingga akan menaikkan kecepatan aliran dan menambah rugi rugi gesekan.

Selain akan menimbulkan penurunan efisiensi system, kondisi operasional system seperti ini juga menurunkan jumlah debit air yang bisa dipompa secara keseluruhan oleh system, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 12.

Dari gambar 12, dapat ditunjukkan bahwa untuk kondisi operasi pada head 9,3 m dan bukaan katup 100% debit air yang dapat dipompa oleh system dengan dua modul beroperasi secara bersamaan yaitu 9,74 l/s, hampir dua kali lebih besar dibandingkan dengan kalau dioperasikan hanya dengan satu modul. Operasi dengan Modul 1 menghasilkan debit 5,94 l/s, sedangkan operasi

dengan modul 2 debit yang dihasilkan adalah 5,36 l/s.



Gambar 12 : Debit air yang dipompa oleh system pada head 9,3 m dengan variasi bukaan katup

Walaupun efisiensi system yang dioperasikan dengan dua modul secara bersamaan mempunyai efisiensi yang lebih rendah dibandingkan dengan jika dioperasikan dengan masing masing satu modul, tapi dari sudut pandang besaran debit air yang bisa dipompa system dengan operasi dua modul lebih menguntungkan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengukuran parameter-parameter operasional dari instalasi system dan perhitungan data yang diperoleh, maka dapat disimpulkan bahwa pada bukaan katup 100% dan head 9,3 m :

1. Efisiensi sistem kedua modul hampir sama, efisiensi modul kedua adalah 28,29%, sementara modul pertama efisiensinya 27,9 %.
2. Bila system dioperasikan dengan dua modul secara bersamaan beroperasi, efisiensi turun menjadi 24,92%
3. Debit air terbesar yang dapat di supply ke menara yang mempunyai ketinggian 8 m dari permukaan adalah 9,74 l/s, yaitu pada saat system dioperasikan dengan kedua modul beroperasi bersamaan.

Referensi

[1].BH Teuteberg (2010), Design of a Pump-As-Turbine Microhydro System for an Abalone Farm, Department of Mechanical and Mechatronic Engineering Stellenbosch University

- [2]. Derakhshan, S. and Nourbakhsh, A. 2008. Theoretical, numerical and experimental investigation of centrifugal pumps in reverse operation. *Experimental Thermal and Fluid Science* 32 1620–1627
- [3].Kshiragar, R (2007), Numerical Simulation on a Pump Operating in Turbine Mode
- [4].Baumgarten, S. and Guder, W. 2005. Pump as Turbines. *Techno digest* No. 11. KSB Aktiengesellschaft
- [5].Chapallaz, J. M., Eichenberger, P. and Fischer, G. 1992. Manual on Pumps Used as Turbines. Volume 11. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien GATE
- [6].KIT, FT UGM, 2012. Pre-Design of a Model Micro Hydropower Plant with Wood Stave Pipeline and PaT Technologies at the Gajah Mada University (UGM) as a Test Project for the Seropan Water Extraction System
- [7]. Reclamation, U. S. (1977). *Welded Steel Penstock. A Water Resources Technical Publications.*
- [8].Paudel , S. (2008). Feasibility Study of the Application of PaT in the Water Distribution System Bribin.Karlsruhe:KIT