

PENGARUH SUDUT PIPA PESAT TERHADAP EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO (PLTMH)

Naif Fuhaid¹⁾

ABSTRAK

Kebutuhan listrik bagi masyarakat masih menjadi permasalahan penting di Indonesia, khususnya di daerah pedesaan di wilayah Indonesia bagian timur. Penyediaan listrik untuk wilayah tersebut mempunyai berbagai kendala, seperti; biaya, ketersediaan energi dalam jumlah besar, kemampuan ekonomi masyarakat dan teknologi. Dengan demikian perlu dikembangkan teknologi alternatif yang mampu dikembangkan mandiri, murah biayanya dan ramah lingkungan. Mikrohidro merupakan peralatan yang merubah energi potensial (ketinggian air), menjadi energi kinetik (kecepatan aliran air), energi mekanik (turbin air), kemudian dirubah menjadi energi listrik (generator). Salah satu komponen penting pada sistem mikrohidro adalah pipa pesat. Pipa pesat sangat dipengaruhi oleh sudut pipa, karena sudut pipa dapat mempengaruhi energi kinetik yang dihasilkan. Untuk itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh sudut pipa pesat terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Sudut pipa pesat divariasikan yaitu sudut 25°, sudut 30° dan sudut 35°. Untuk variasi laju aliran (bukaan katup) yaitu: bukaan katup 1,5, bukaan katup 2 dan bukaan katup 2,5. Setiap pengambilan data di ulangi sebanyak lima (5) kali. Dilakukan pengambilan data pada variasi sudut pipa pesat dan variasi laju aliran air. Hasil pengukuran dihitung putaran turbin, arus, tegangan, dan daya listrik rata-rata. Hasil pengolahan data di tampilkan dalam bentuk tabel dan grafik. Hasil tersebut juga di analisa berdasarkan teori yang ada.

Hasil analisa dari penelitian pengaruh sudut pipa pesat terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Bahwa sudut pipa pesat 35° lebih efisien menghasilkan daya listrik. Sedangkan semakin besar laju aliran air maka daya yang dihasilkan semakin tinggi.

Kata kunci : Sudut pipa pesat, laju aliran, PLTMH.

PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik bagi masyarakat masih menjadi permasalahan penting di Indonesia, khususnya daerah pedesaan di wilayah Indonesia bagian timur. Penyediaan listrik untuk wilayah tersebut mempunyai berbagai kendala, seperti; biaya, ketersediaan energi dalam jumlah besar, kemampuan ekonomi masyarakat dan teknologi. Dengan demikian perlu dikembangkan teknologi alternatif yang mampu dikembangkan mandiri, murah biayanya dan ramah lingkungan.

Pembangkit listrik tenaga air skala kecil dikenal dengan istilah mikrohidro. Mikrohidro merupakan peralatan yang merubah energi potensial (ketinggian air), menjadi energi kinetik (kecepatan aliran air), energi mekanik (turbin air), kemudian dirubah menjadi energi listrik (generator). Komponen-komponen penting pada sistem mikrohidro adalah sumber energi (air dan alirannya), turbin air dan generator.

Besar energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung dari besar energi kinetik yang dapat dirubah menjadi energi mekanik, sedangkan energi mekanik tergantung dari turbin air. Turbin air ini sangat tergantung dari bentuk sudu, jumlah sudu, ketinggian sumber air, jumlah air yang tersedia/kontinuitas, berat sudu turbin, sudut pipa pesat dan laju aliran air. Sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut. Dalam hal ini penelitian difokuskan untuk mengetahui pengaruh sudut

pipa pesat terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH).

Penelitian Sebelumnya

Dewasa ini minyak bumi (bahan bakar fosil) merupakan sumber utama pemakaian energi di dalam negeri. Penggunaannya terus meningkat, sedang jumlah persediaan terbatas. Oleh karena itu perlu diambil langkah-langkah penghematan minyak bumi (bahan bakar fosil) di satu pihak dan di pihak lain pengembangan-pengembangan sumber energi lainnya, seperti PLTMH (Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro). Di Indonesia salah satu program pemerintah adalah listrik masuk Desa. Untuk desa terpencil di daerah pegunungan, pembangunan PLTMH merupakan salah satu jawaban atas program pemerintah tersebut disamping kebutuhan tenaga listrik yang semakin meningkat.

Warsito dkk, (2005). Pembangkit tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Daya (power) yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus : $P = 9,81 Q H kW$.

Daya yang keluar dari generator dapat diperoleh dari perkalian efisiensi turbin dan generator dengan daya yang keluar secara teoritis.

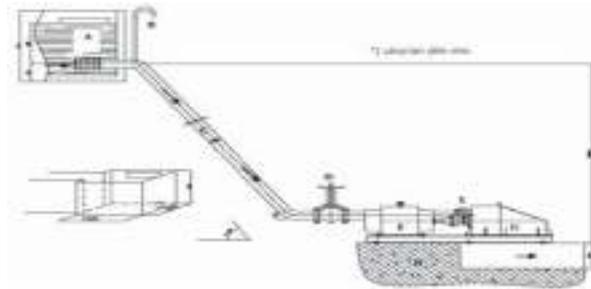
Mikrohidro

Pembangkitan listrik mikrohidro adalah pembangkitan listrik dihasilkan oleh generator listrik DC atau AC. Mikrohidro berasal dari kata *micro* yang berarti kecil dan *hydro* artinya air, arti keseluruhan adalah pembangkitan listrik daya kecil yang digerakkan oleh tenaga air. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik.



Gambar 1. Turbin dan generator mikrohidro

Sistem mikrohidro terdiri dari penampungan air dalam bentuk bendungan kecil (A), melalui sebuah pipa yang ujungnya dipasang filter untuk menyaring air sehingga kotoran tidak masuk ke pipa dan turbin.



Gambar 2. Sistem pembangkit listrik mikrohidro

Karakteristik Turbin

Untuk dua turbin atau lebih yang mempunyai dimensi yang berlainan disebut homologous jika kedua turbin atau lebih tersebut sebangun geometri dan mempunyai karakteristik sama. Karakteristik suatu turbin dinyatakan secara umum oleh enam buah konstanta yaitu :

1. Rasio Kecepatan (Φ)
2. Kecepatan Satuan (N_u)
3. Debit Satuan (Q_u)
4. Daya Satuan (P_u)
5. Kecepatan Spesifik (N_s)
6. Diameter Spesifik (D_s)

Rasio Kecepatan (Φ)

Rasio Kecepatan (Φ) adalah perbandingan antara kecepatan keliling linier turbin pada ujung diameter nominalnya dibagi dengan kecepatan teoritis air melalui curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin (Luknanto D, 2008)

$$\Phi = \frac{V_{linier}}{\sqrt{2gH}} \implies \Phi = \frac{ND}{84,6\sqrt{H}}$$

$$V_{linier} = \frac{N\pi D}{60}$$

Keterangan :

n = adalah putaran turbin rpm (rotasi per menit),
 D = adalah diameter karakteristik turbin (m), umumnya digunakan diameter nominal,
 H = adalah tinggi terjun netto/effektif (m).

Kecepatan Satuan (N_u)

Kecepatan Satuan (N_u) adalah kecepatan putar turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang. Dari Pers (2.10) diperoleh korelasi:

$$N = 84,67\Phi \frac{\sqrt{H}}{D}$$

dengan memasukan nilai $D = 1$ m dan $H = 1$ m, Maka pers (2.11) menjadi

$$N_u = 84,6\Phi$$

Akhirnya Pers.(2.11) dapat ditulis sebagai

$$N_u = \frac{ND}{\sqrt{H}}$$

Debit Satuan (Q_u)

Debit yang masuk turbin secara teoretis dapat diandaikan sebagai debit yang melalui suatu curat dengan tinggi terjun sama dengan tinggi terjun (H_{netto}) yang bekerja pada turbin. Oleh karena itu debit yang melalui turbin dapat dinyatakan sebagai

$$Q = Cd \frac{1}{2} \pi D^2 \sqrt{2gH}$$

$$= CD^2 \sqrt{H}$$

dengan C_d adalah koefisien debit.

Debit Satuan (Q_u) adalah debit turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang

$$Q_u = Cd \frac{1}{4} \pi \sqrt{2g}$$

Akhirnya Pers (1.10) dapat ditulis sebagai

$$Q_u = \frac{Q}{D^2 \sqrt{H}}$$

Daya Satuan (P_u)

Daya (P) yang dihasilkan turbin dapat dinyatakan sebagai

$$P = \eta Q H \gamma = \eta \underbrace{Q_u D^2 \sqrt{H}}_Q H \gamma$$

$$P = \underbrace{\eta \gamma Q_u}_{P_u} D^2 H^{3/2}$$

dengan η adalah efisiensi turbin, η adalah berat jenis air.

Daya Satuan (P_u) adalah daya turbin yang mempunyai diameter (D) satu satuan panjang dan bekerja pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang. Akhirnya Pers.(2.17) dapat ditulis sebagai

$$P_u = \frac{P}{D^2 H^{3/2}}$$

Kecepatan Spesifik (N_s)

Eliminasi diameter (D) dari pers. (1.13) dan Pers. (1.14) menghasilkan korelasi:

$$N_s = \underbrace{\sqrt{P_u}}_{N_s} \frac{H^{5/4}}{\sqrt{P}}$$

atau

$$N_s = \frac{N\sqrt{P}}{H^{5/4}}$$

Kecepatan Spesifik (N_s) adalah kecepatan putar turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang.

Kecepatan Spesifik (N_s) dapat dinyatakan dalam sistim metrik maupun sistim Inggris, korelasi dari kedua sistim tersebut dinyatakan dalam

$$N_s \text{ (metrik)} = N_s \text{ (Inggris)} \times 4.42$$

Diameter Spesifik (D_s)

Dari Pers. diatas diperoleh korelasi:

$$D_s = \frac{1}{\sqrt{P_u}} \frac{\sqrt{P}}{H^{3/4}}$$

Diameter Spesifik (D_s) adalah diameter turbin yang menghasilkan daya sebesar satu satuan daya pada tinggi terjun (H_{netto}) satu satuan panjang. Akhirnya Pers.(1.17) dapat ditulis sebagai

$$D_s = \frac{DH^{3/4}}{\sqrt{P}}$$

Rumus empiris¹ untuk menghitung diameter spesifik dari diameter debit (discharge diameter, D_3) untuk turbin reaksi adalah sebagai berikut:

$$\text{Turbin Francis: } D_{3s} = \frac{567.85}{N_s^{0.37}} \text{ (cm)}$$

$$\text{Turbin propeller: } D_{3s} = \frac{475.72}{N_s^{0.34}} \text{ (cm)}$$

telah dihitung dengan Per.(2.23), atau (2.24), maka diameter debit dapat dihitung pada turbin reaksi, jadi diameter spesifik dari Pers.(2.21)

Efisiensi Turbin

Efisiensi turbin tidak tetap nilainya, tergantung dari keadaan beban dan jenis turbinnya. Kinerja dari suatu turbin dapat dinyatakan dalam beberapa keadaan: tinggi terjun maksimum, tinggi terjun minimum, tinggi terjun normal, dan tinggi terjun rancangan. Pada tinggi terjun rancangan turbin akan memberikan kecepatan terbaiknya sehingga efisiensinya mencapai maksimum. Dalam Tabel 2.7. disajikan efisiensi turbin untuk berbagai kondisi sebagai gambaran mengenai kisaran nilai efisiensi terhadap beban dan jenis turbin.

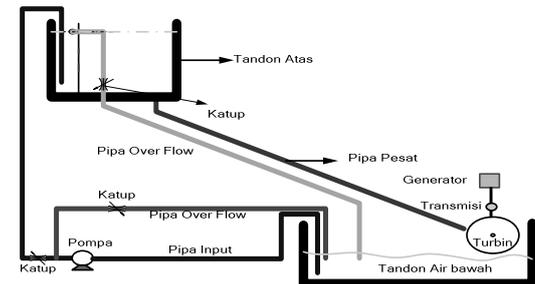
METODE PENELITIAN

Variabel Penelitian

- Variabel Bebas : Sudut pipa pesat dan Laju Aliran
- Variabel Terikat : Arus listrik (I) dan Tegangan listrik (V), Debit aliran (Q) dan Putaran turbin (rpm)

Model Peralatan

Alat yang digunakan adalah Pembangkit listrik mikrohidro dengan sudut pipa pesat yang berbeda-beda. Peralatan sebagai berikut:

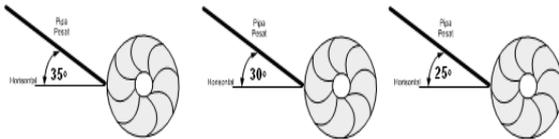


Gambar 3. Skema mikrohidro

Keterangan gambar:

- Tandon bawah. Dari wadah plastik dengan kapasitas volume 35 liter.
- Pompa air. Tipe *submersible pump*. Tegangan 220 Volt, head 9 meter.
- Pipa saluran air. 30. Ukuran diameter $\frac{3}{4}$ inchi dengan bahan plastik tembus pandang.
- Tandon atas. Untuk suplai air ke kincir, dari tabung dengan kapasitas 70 liter.
- Sekat tandon. Untuk menghilangkan gelombang air, dari bahan mika tembus pandang.
- Saluran buang. Untuk menjaga ketinggian air sehingga air di tandon atas tidak meluap. Saluran ini mengalir langsung ke tandon bawah.

7. Pintu air.
Untuk mengatur debit aliran air ke kincir. Dari bahan mika tembus pandang dengan pengaturan menggunakan ulir.
8. Sudut Pipa Pesat.
Laju aliran di atur menggunakan kran pengatur. Sudut kemiringan posisi awal 25° dari garis horisontal.

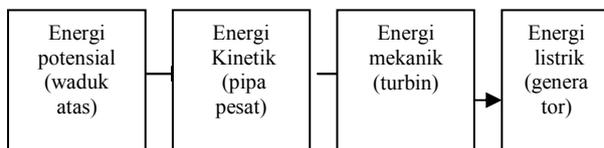


Gambar 4. Sudut pipa pesat

9. Kincir air.
Diameter 32 cm, jumlah sudu yang digunakan adalah jumlah sudu terbaik dari hasil pengujian sebelumnya. Ukuran panjang sudu 9 cm lebar 5 cm.
10. Transmisi roda gigi.
Roda gigi lurus dari bahan plastik. Terdiri dari 3 buah roda gigi. Jumlah gigi roda gigi pertama adalah 20 buah, roda gigi kedua 18 dan roda gigi ketiga 32 buah.
11. Generator mini. Tegangan 2,5 Volt.
12. Lampu LED. Tegangan 2,5 Volt.

Dengan deskripsi alat sebagai berikut :

Pompa dihidupkan untuk memompa air dari tandon bawah ke tandon atas melalui pipa penyalur, pipa penyalur dilengkapi dengan dua buah katup yang berfungsi sebagai pengontrol aliran air yang masuk ke tandon atas sehingga debit air pada tandon atas selalu stabil. Kemudian air yang terisi di tandon atas disalurkan ke turbin melalui pipa pesat, pada pipa pesat tersebut terjadi perubahan kecepatan aliran air. Kecepatan aliran air akan menghantam sudu turbin, sehingga turbin berputar. Turbin akan memutar poros yang berhubungan dengan transmisi, sedangkan transmisi melalui poros output berhubungan langsung dengan generator listrik. Dengan demikian dapat digambarkan proses perubahan energi pada pembangkit listrik mikrohidro.



Gambar 5. Skema konversi energi

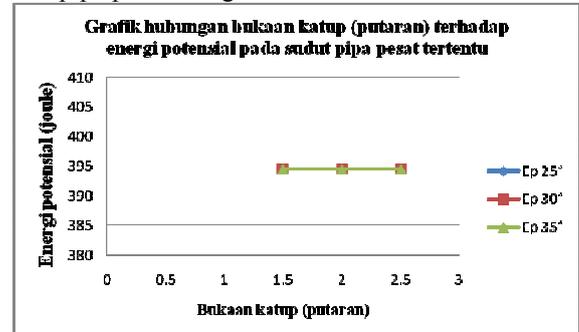
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisa grafik

Dari data yang diperoleh, kemudian dilakukan perhitungan. Dari hasil perhitungan dimasukkan kedalam tabel, kemudian dapat dibuat grafik sebagai berikut:

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi potensial pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.7. tabel 4.8. dan tabel 4.9. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi potensial pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:

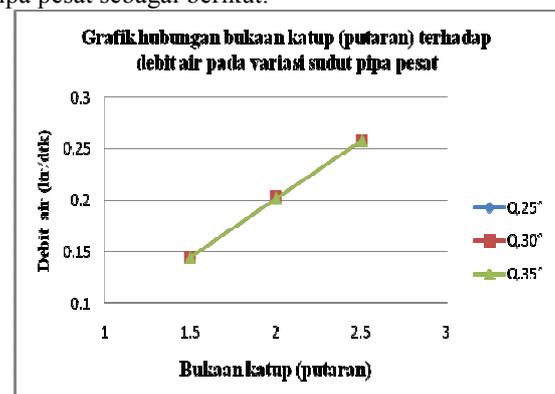


Gambar 6. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi potensial pada variasi sudut pipa pesat

Grafik diatas menunjukkan bahwa energi potensial yang dihasilkan adalah sama yaitu 394,45 joule dan tidak berpengaruh terhadap perubahan sudut pada pipa pesat. Karena faktor yang mempengaruhi energi potensial adalah volume pada tandon atas dan ketinggian tandon air.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap debit air pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4. tabel 4.5. dan tabel 4.6. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap debit air pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:

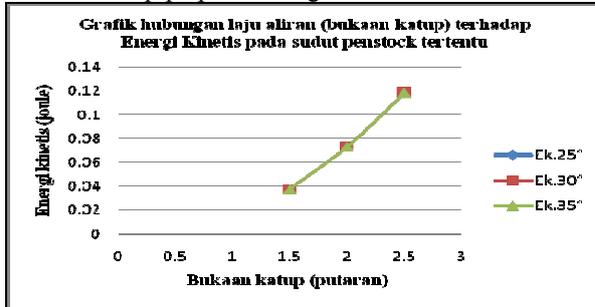


Gambar 7. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap debit air pada variasi sudut pipa pesat

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa kenaikan debit air linear dengan bukaan katup, jika bukaan katup semakin besar maka debit air yang dihasilkan akan semakin besar. Debit air terbesar terjadi pada bukaan katup 2,5 dengan 0,2578 ltr/dtk dan debit air terkecil terjadi pada bukaan katup 1,5 dengan 0,1446 ltr/dtk disemua variasi sudut pipa pesat, karena bukaan katup yang seragam dan luasan penampang pipa yang sama.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi kinetis pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.7. tabel 4.8. dan tabel 4.9. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi kinetis pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



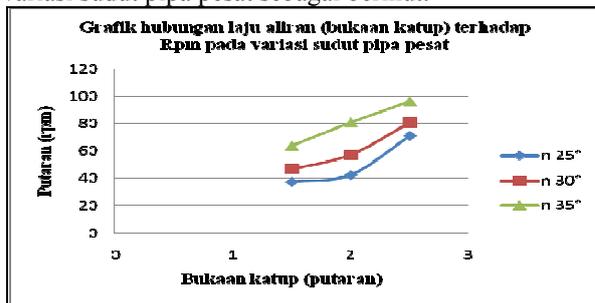
Gambar 8. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi kinetis pada variasi sudut pipa pesat

Dari grafik diatas, energi kinetis tertinggi yang dihasilkan terjadi pada bukaan katup 2,5 dengan nilai 0,118 joule disetiap variasi sudut pipa pesat sedangkan energi kinetis terendah yang dihasilkan terjadi pada bukaan katup 1,5 dengan nilai 0,037 joule.

Energi kinetis disetiap variasi sudut dengan bukaan katup sama akan menghasilkan energi yang sama. Pada bukaan katup yang besar, debit air semakin besar dan mengakibatkan laju aliran semakin cepat sehingga energi kinetis yang terjadi pada pipa pesat semakin besar dan sebaliknya, jika bukaan katupnya lebih kecil maka energi kinetis yang dihasilkan semakin kecil.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap putaran turbin pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4. tabel 4.5. dan tabel 4.6. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap putaran turbin pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



Gambar 9. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap putaran turbin pada variasi sudut pipa pesat

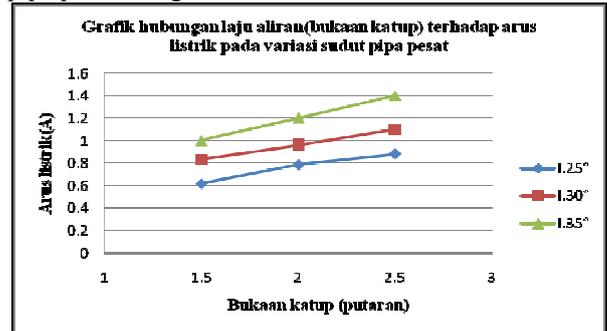
Grafik diatas menunjukkan bahwa putaran (rpm) tertinggi terjadi di bukaan katup 2,5 pada sudut pipa pesat 35° dengan 96,4 rpm sedangkan putaran terendah terjadi di bukaan katup 1,5 pada sudut pipa pesat 25° dengan 37,3 rpm.

Pada sudut pipa pesat 35° dengan bukaan yang lebih besar (katup 2,5) membuat laju aliran jadi lebih cepat dan tekanan air yang keluar dari pipa pesat menuju turbin semakin besar, akibatnya putaran turbin

menjadi lebih cepat. Bukaan katup 1,5 dengan sudut pipa 25° menghasilkan laju aliran lebih rendah dan tekanan air yang keluar dari pipa pesat lebih kecil sehingga putaran turbin lebih lambat.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap arus listrik pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4. tabel 4.5. dan tabel 4.6. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap arus listrik pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



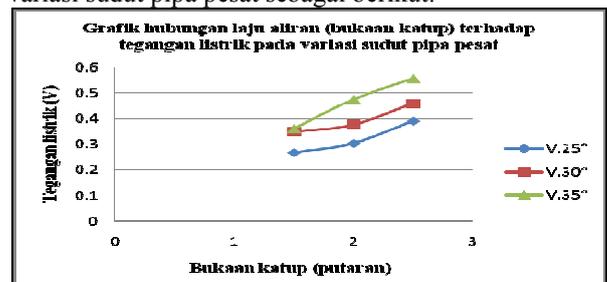
Gambar 10. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap arus listrik pada variasi sudut pipa pesat

Dari grafik diatas menunjukkan bahwa terjadi kenaikan arus listrik (linear) disetiap bukaan katup, arus listrik tertinggi dihasilkan di bukaan katup 2,5 pada sudut 35° dari pipa pesat dengan 1,4 A dan arus listrik terkecil dihasilkan pada bukaan katup 1,5 pada sudut pipa pesat 25° dengan 0,616 A.

Arus listrik dihasilkan oleh generator yang dihubungkan ke turbin dan digerakkan oleh tenaga kinetik dari air, ketika turbin berputar maka generator ikut berputar. Arus listrik tertinggi dihasilkan pada sudut 35° dengan bukaan katup 2,5 karena pada kondisi ini laju aliran air mencapai 0,92 m/s, sehingga putaran turbin menjadi cepat, dan arus terendah dihasilkan pada putaran turbin yang lebih lambat di sudut 25° dengan bukaan katup 1,5.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap tegangan listrik pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4. tabel 4.5. dan tabel 4.6. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap tegangan listrik pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



Gambar 11. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap tegangan listrik pada variasi sudut pipa pesat

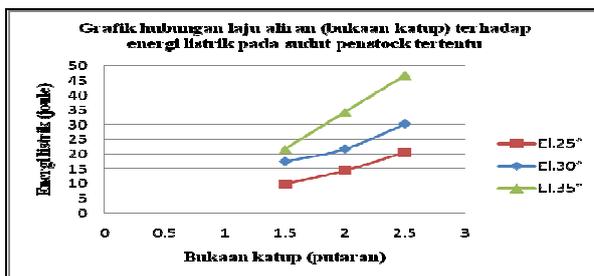
Dari grafik diatas, tegangan listrik tertinggi terjadi di bukaan katup 2,5 pada sudut pipa pesat 35°

dengan tegangan 0,556 volt dan tegangan listrik terendah di bukaan katup 1,5 pada sudut pipa pesat 25° dengan tegangan 0,39 volt.

Sudut pipa pesat 35° dengan bukaan katup 2,5 adalah kondisi dimana turbin mengalami putaran tertinggi, sehingga menghasilkan output tegangan lebih besar.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi listrik pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.7. tabel 4.8. dan tabel 4.9. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi listrik pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



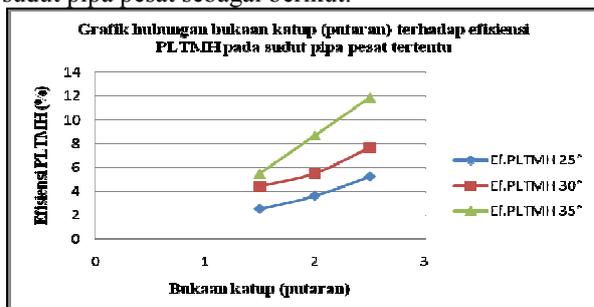
Gambar 12 . Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap energi listrik pada variasi sudut pipa pesat

Dari gambar 4.7. diatas, energi listrik tertinggi terjadi pada bukaan katup 2,5 dengan sudut pipa pesat 35° sebesar 46,7 joule dan energi listrik terendah terjadi pada bukaan katup 1,5 sudut pipa pesat 25° dengan nilai 9,83 joule.

Grafik diatas menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan naik secara bertahap disetiap variasi sudut dan disetiap variasi laju aliran. Besar energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung dari besar energi kinetik yang dapat dirubah menjadi energi mekanik, sedangkan energi mekanik tergantung dari tubin air, semakin cepat putaran turbin maka semakin besar energi listrik yang dihasilkan.

Hubungan bukaan katup (putaran) terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada variasi sudut pipa pesat

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.7. tabel 4.8. dan tabel 4.9. dapat dibuat grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap efisiensi PLTMH pada variasi sudut pipa pesat sebagai berikut:



Gambar 13. Grafik hubungan bukaan katup (putaran) terhadap efisiensi pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) pada variasi sudut pipa pesat

Dari gambar diatas, efisiensi PLTMH tertinggi terjadi dibukaan katup 2,5 pada sudut 35° dengan nilai 11,839 % dan efisiensi PLTMH terendah terjadi dibukaan 1,5 pada sudut pipa pesat 25° dengan nilai 2,492 %, karena semakin besar sudut pada pipa pesat, maka semakin besar nilai efisiensinya dan semakin kecil sudut pada pipa pesat maka efisiensinya akan semakin kecil..

KESIMPULAN

1. Sudut pipa pesat sangat berpengaruh terhadap putaran turbin dan efisiensi listrik yang dihasilkan. Putaran turbin tertinggi 96,4 rpm dan efisiensi listrik tertinggi 11,839 % pada bukaan katup 2,5 dengan sudut pipa pesat 35°.
2. Semakin besar bukaan pada katup semakin besar debit air yang dihasilkan, dan debit tertinggi 0,2578 ltr/dtk pada bukaan katup 2,5.
3. Laju aliran air 0,92 m/s pada bukaan katup 2,5 berpengaruh besar terhadap efisiensi listrik yang dihasilkan. Semakin besar laju aliran air maka efisiensi listrik yang akan dihasilkan semakin besar..

DAFTAR PUSTAKA

Bibit Supardi, S.Pd, MT, membangun desa mandiri energi berbasis PLTMH di Kabupaten Klaten, UGM 2006

Basuki. K. (2007) *Mengapa Mikrohidro* Seminar Nasional Teknologi 2007 (SNT 2007) ISSN : 1978 – 9777Yogyakarta, 24 November 2007

Damastuti, A, P . (1997) *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro* WACANA No. 8 / Mei - Juni 1997

Hasan. A *pengontrol beban elektronik Pada pembangkit listrik tenaga mikrohidro*. P3 Teknologi Konversi dan Konservasi Energi Deputi Teknologi Informasi, Energi, Material dan Lingkungan Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

Luknanto D (2008) *Bangunan Tenaga air*

Warsito S, Syakur A, Nugroho A. (2005) *Studi Awal Perencanaan Sistem Mekanikal Dan Kelistrikan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-Hidro*. Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Sultan Agung