

ANALISA PENINGKATAN KINERJA TURBIN CROSSFLOW DENGAN PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN PIPA PENSTOCK

Sri Suwasti¹⁾ dan A.M. Shiddiq Yunus²⁾

^{1,2)}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang

ABSTRACT

Tujuan umum penelitian adalah meningkatkan taraf hidup petani dengan mengembangkan PLTMH. Tujuan khusus penelitian adalah mengembangkan kinerja PLTMH dengan pengaruh variasi sudut kemiringan pipa penstock. Penelitian ini merupakan bagian dari Rencana Induk Penelitian (RIP) PNUP. Penelitian dilakukan dengan desain sistem uji PLTMH dengan variasi sudut pipa penstock, pengujian dilakukan dengan menguji secara bergantian pipa penstock dengan variasi sudut dan tinggi jatuh air. Evaluasi dilakukan untuk memperoleh kinerja sistem PLTMH, sehingga diperoleh sudut pipa penstock yang memiliki kinerja terbaik. Semakin besar tekanan air maka semakin besar putaran, daya output dan efisiensinya, pada tekanan 0,25 kg/cm² memiliki putaran rata-rata 989,46 rpm, daya output rata-rata 53,80 watt dan efisiensi rata-rata 14,81 %. Pada tekanan 0,20 kg/cm² putaran rata-rata 877,00 rpm, daya output rata-rata 46,66 watt dan efisiensi rata-rata 12,85 %. Pada tekanan 0,15 kg/cm² putaran rata-rata 748,21 rpm, daya output rata-rata 36,05 watt dan efisiensi rata-rata 9,93 %. Sudut pipa penstock 45° putaran rata-rata 937,42 rpm, daya output rata-rata 51,19 watt dan efisiensi rata-rata 14,09 %. Sudut pipa penstock 30° putaran rata-rata 860,92 rpm, daya output rata-rata 45,73 watt dan efisiensi rata-rata 12,59 %. Sudut pipa penstock 60° putaran rata-rata 816,33 rpm, daya output rata-rata 39,59 watt dan efisiensi rata-rata 10,90%.

Keywords: PLTMH, kemiringan, penstock, kinerja, crossflow

I. PENDAHULUAN

Indonesia dulunya merupakan salah satu negara pengekspor bahan bakar minyak, tetapi saat ini Indonesia telah berubah menjadi negara pengimpor bahan bakar minyak, sehingga hal ini sangat membebani keuangan negara apabila bahan bakar minyak mendapat subsidi dari pemerintah. Minyak bumi sebagai sumber utama energi di dunia, saat ini mempunyai cadangan yang sangat terbatas dengan tingkat konsumsi yang terus meningkat di setiap tahunnya, karena harga minyak bumi semakin mahal dan kebutuhan semakin meningkat maka terjadi krisis energi di Indonesia. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi krisis energi yang terjadi di negara ini, adalah dengan memanfaatkan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan, salah satu potensi energi alternatif yang sangat besar di negara ini adalah energi air. Energi air memiliki tenaga potensial yang tersedia (potensi debit dan tinggi air) yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik tenaga air. Potensi pembangkit listrik tenaga air di Indonesia sangatlah besar sehingga layak untuk dikembangkan. Potensi yang sangat besar tersebut disebabkan Indonesia memiliki banyak gunung dan bukit yang dialiri oleh banyak sungai dan di beberapa daerah terdapat danau atau waduk yang memiliki potensi besar sebagai sumber energi air. Penggunaan air sebagai pembangkit listrik memiliki beberapa keunggulan yaitu merupakan teknologi yang tidak merusak lingkungan, menunjang diversifikasi energi sebagai pemanfaatan energi terbarukan, menunjang program pengurangan penggunaan BBM, dan sebagian besar konstruksinya menggunakan kandungan lokal. Menurut Harsono (dalam Napitupulu, 2008), besar potensi energi air di Indonesia adalah 74.976 MW, dan sebesar 70.776 MW terdapat di luar Pulau Jawa, dan 3.105,76 MW yang sudah dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik.

Pembangkit listrik tenaga minihidro berkapasitas antara 200–5.000 kW potensinya adalah 458,75 MW, sangat layak dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di daerah pedesaan yang terpencil ataupun pedesaan di pulau-pulau kecil dengan daerah aliran sungai yang sempit (Darsono dalam Napitupulu, 2008). Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH) banyak dilakukan di daerah-daerah terpencil yang tidak terjangkau oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Pembangunan PLTMH ini, disamping sebagai penerangan juga berfungsi untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat, karena dengan adanya listrik masyarakat dapat meningkatkan pengolahan hasil pertanian, perkebunan dan perikanan, sehingga produksi pasca panen memiliki kuantitas dan kualitas yang meningkat sehingga harga jualnya juga akan semakin baik.

Potensi pengembangan PLTMH di Indonesia juga masih sangat terbuka. Dari seluruh 75.000 MW potensi kelistrikan tenaga air, 10 persen, atau 7.500 MW bisa digunakan untuk pembangkit listrik tenaga mikrohidro. Saat ini, yang baru dimanfaatkan baru sebesar 60 MW (Kurniawan, 2007).

Berdasarkan potensi tersebut maka Politeknik Negeri Ujung Pandang (PNUP) menjadikan pengembangan PLTMH sebagai bagian dari Rencana Induk Penelitian (RIP). Salah satu riset unggulan dalam RIP-PNUP adalah bidang rekayasa teknologi energi, energi baru dan terbarukan, yang salah satu sasarnya adalah pengembangan rekayasa teknologi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dalam upaya

meningkatkan komoditas daerah. Penelitian yang dilakukan berkesesuaian dengan RIP-PNUP yaitu topik riset Peningkatan Kinerja Sistem PLTMH.

Harga BBM dunia meningkat terus, sebagai akibat persediaan energi fosil tersebut menipis, sementara ini lebih dari 35% pembangkit listrik PLN mempergunakan BBM. Berdasarkan data PLN tahun 1993, masyarakat Indonesia masih banyak yang belum dapat menikmati listrik, yaitu kurang lebih 52,9% (Kurniawan, 2007). Dari beberapa alternatif pemenuhan kebutuhan energi seperti generator diesel, tenaga surya, kincir angin, energi gas bumi dan mikro hidro, hasil analisis keuntungan dan kerugian terhadap faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam memilih alternative menunjukkan mikro hidro merupakan alternatif yang layak untuk dipilih (Kurniawan,2007).

Sumber Daya Air, merupakan salah satu energi primer pembangkit energi listrik, potensi yang ada sangat besar yaitu 75000 MW, 500 MW diantaranya adalah potensi untuk PLT-Mikro Hidro yang oleh CIDA dalam studi potensi mikro hidro di jaringan irigasi (1992) ditetapkan 50 kW, sedang dalam wilayah internasional/dunia ditetapkan batasan mikro hidro adalah 100 kW (Kurniawan, 2007). Potensi Mikro Hidro di Indonesia yang besarnya 500 MW, baru dimanfaatkan sekitar 20 MW (4%) (Kurniawan, 2007), sehingga PLTMH masih sangat layak untuk dikembangkan.

Penelitian ini adalah untuk meneliti peningkatan kinerja PLTMH dengan menganalisa perubahan sudut kemiringan dan diameter pipa *penstock*. Penelitian ini akan dilakukan selama dua tahun. Pada tahun pertama untuk mengetahui pengaruh sudut kemiringan pipa *penstock* dan pada tahun kedua untuk mengetahui pengaruh diameter pipa *penstock*. Analisa penelitian dilakukan pada berbagai kondisi dan hasilnya akan diterapkan pada pembangunan PLTMH.

Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan umum penelitian ini adalah pengembangan rekayasa teknologi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) untuk meningkatkan komoditas daerah. Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah untuk :

- 1.Mengembangkan kinerja PLTMH dengan mengetahui pengaruh sudut kemiringan pipa *penstock* dan diameter pipa *penstock*.
- 2.Mengembangkan sistem pembangkit listrik tenaga air yang terbarukan dan ramah lingkungan.
- 3.Mengukur daya output turbin *crossflow* dihasilkan oleh setiap kondisi penelitian.

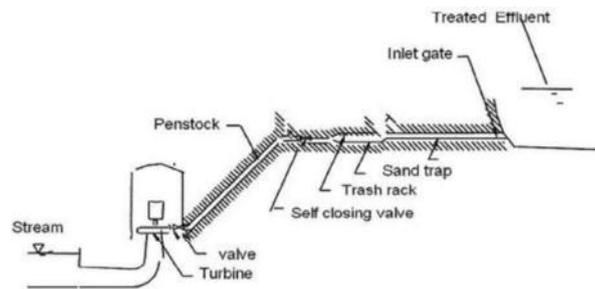
2. KAJIAN LITERATUR

Teknologi Mikrohidro adalah teknologi berskala kecil yang dapat diterapkan pada sumber daya air untuk mengubah potensi tenaga air yang ada menjadi daya listrik dan atau pemutar peralatan lainnya antara lain pompa air, mesin giling padi dll, yang secara tidak langsung akan bermanfaat untuk menunjang kegiatan sosial ekonomi masyarakat di pedesaan.

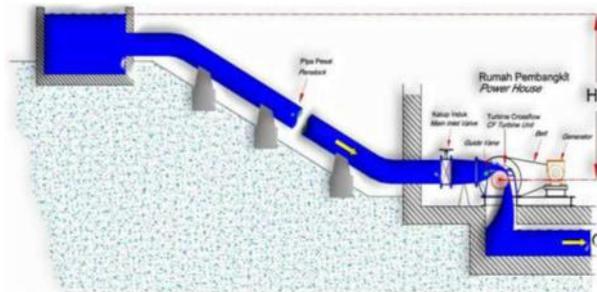
Pengembangan mikro hidro dipandang sebagai pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik untuk daerah terpencil dengan jumlah penduduk yang sedikit dan sulit dijangkau jaringan listrik dari PLN.

Bagi kebanyakan pihak, PLTMH masih dianggap sesuatu yang jauh dari kata "untung". PLTMH hanya berbicara dalam ruang lingkup lokal dan tak ada yang berbicara dengan kepentingan lain. Namun PLTMH merupakan salah satu pembangkit listrik yang cukup unik karena meskipun dalam skala kecil tetapi memiliki banyak kelebihan, yakni (Kurniawan, 2007):

1. Energi yang tersedia tidak akan habis selagi siklus dapat kita jaga dengan baik, seperti daerah tangkapan atau catchment area, vegetasi sungai dan sebagainya.
2. Proses yang dilakukan mudah dan murah, harga turbin, generator, panel kontrol, hingga pembangunan sipilnya saat ini kira-kira Rp 5 juta per KW.
3. Tidak menimbulkan polutan yang berbahaya.
4. Dapat diproduksi di Indonesia, sehingga jika terjadi kerusakan tidak akan sulit untuk mendapatkan sparepart-nya.
5. Jika menerapkan mikrohidro sebagai pembangkit listrik secara tidak langsung kita dituntut untuk mengelola dan menata lingkungan agar tetap seimbang, sehingga sudah barang tentu tidak akan menimbulkan kerusakan lingkungan seperti banjir, tanah longsor atau erosi. Dan pada gilirannya ekosistem sungai atau daerah tangkapan akan tetap terjaga, dengan cara ini pula pemanasan global dapat lebih teredam.
6. Mengurangi tingkat konsumsi energi fosil, langkah ini akan berperan dalam mengendalikan laju harga minyak di pasar internasional.



Gambar 1. Sistem PLTMH (Theophilus, 2010)



Gambar 2. Pengukuran Head (H) dan Debit (Q) PLTMH

Junicho F. (1995), melakukan penelitian secara eksperimen dan teoritis untuk penentuan gaya fluida pada blade dalam turbin arus lintang untuk menganalisa aliran fluida yang mengalir sebagian dari runner, sehingga putaran turbin tidak stabil. Hasil penelitian dimana ditemukan gaya maksimal yang terjadi sesaat sebelum blade meninggalkan keluaran pipa pancar (nozzel). Olgun H. (1998), melakukan penelitian dengan menginvestigasi beberapa parameter geometrik runner dan nosel turbin arus lintang, Dari penelitian ini didapatkan bahwa ada pengaruh, atau ada perbedaan unjuk kerja, apabila parameter turbin diubah.

Winardi dan Harwin S. (2004), melakukan penelitian tentang pengaruh jumlah sudu terhadap kinerja turbin aliran silang. Dalam penelitian ini divariasikan jumlah sudu diperoleh efisiensi tertinggi 22,3% pada jumlah sudu 28 buah, debit 6 ltr/s. Yus Widarko, (2004), melakukan penelitian tentang pengaruh posisi sudu pengarah terhadap efisiensi turbin cross flow, diperoleh efisiensi tertinggi 13,48% pada pembukaan sudu pengarah $3/3$ dengan sudut 45^0 .

Junicho F. dan Rei N. (2005), melakukan penelitian dengan memasang guide vane pada sisi bagian dalam dari isapan. Dalam penelitian ini diperoleh efisiensi tinggi dengan power rendah dibandingkan pada hasil tanpa guide vane. Jika sudu pengarah turbin dihilangkan maka sudu runner cepat rusak dan lepas karena sering mendapat pukulan air secara tiba-tiba.

Barglazan M. (2005), melakukan penelitian dengan mengembangkan sebuah perangkat lunak untuk merancang sebuah turbin arus lintang, dimana beberapa parameter harus dimasukkan dan masih ada beberapa perhitungan yang harus dilakukan dimana hasil perhitungan tersebut harus dimasukkan dalam perangkat lunak, tetapi penambahan efisiensi tidak terlalu signifikan.

Sugeng P. (2005) melakukan studi eksperimen dan rancang bangun *nossel guide vane* pada nossel turbin cross flow berbasis computational fluida dynamic. Pada penelitian ini diperoleh hasil dengan efisiensi 68%. Sudargana (2005), melakukan studi kelayakan dan prancangan PLTMH di Dukuh Pekuluran Kec. Doro Kab. Pekalongan. Hasil yang diperoleh adalah pada daerah tersebut memiliki debit air dan tinggi jatuh air yang layak untuk dibangun PLTMH dengan jenis tertentu. Yong D.C, (2008) melakukan penelitian untuk mengetahui kinerja dan karakteristik aliran internal dari turbin air *cross flow* dengan perubahan *nozzle* dan sudu turbin. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh dari sudu turbin dan *nozzle* terhadap kinerja dan karakteristik aliran.

Issam S. dan Said D. (2009) melakukan penelitian tentang pengaturan frekuensi pembangkitan listrik pada PLTMH dengan menggunakan program *fuzzy logic*. Hasil yang diperoleh dalam penelitian ini adalah pengaturan frkuensi dapat dilakukan dengan menggunakan program *fuzzy logic*.

Jusuf H. dan Rudy S. (2010), melakukan penelitian tentang kinerja dan menganalisa perilaku aliran yang terjadi pada runner turbin arus lintang. Analisa perilaku aliran dilakukan pada turbin arus lintang tanpa

menggunakan pipa pancar (nozzel) tingkat kedua dan turbin arus lintang menggunakan pipa pancar (nozzel) tingkat kedua. Penelitian ini memperoleh efisiensi 74,88%. Javet C. (2010), melakukan penelitian dengan desain turbin *cross flow* untuk pembangkit tenaga *micro hydro*. Dalam penelitian ini diperoleh efisiensi maksimum sebesar 66%. Nathan R. dan Ibrahim H. (2010) melakukan penelitian untuk mengetahui potensi Malaysia untuk membangun PLTMH. Hasil yang diperoleh bahwa potensi pembuatan PLTMH di Malaysia sangatlah besar, hasil ini menunjukkan bahwa negara Indonesia dengan letak dan kondisi alam yang sama dan memiliki luas yang lebih maka potensi di Indonesia akan lebih besar dibandingkan Malaysia.

Theophilus Gaius dan Obaseki (2010) melakukan penelitian tentang pembangunan pembangkit atau pemanfaatan tenaga air pada industri pengolahan air. Hasil penelitian ini adalah pemanfaatan energi air untuk pembangunan pembangkit dapat mengurangi ketergantungan bahan bakar minyak yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan.

J. De. Andrea dkk, (2011) melakukan investigasi numerik terhadap aliran air pada rumah turbin. Penelitian ini berupaya mengetahui pola aliran dalam rumah turbin. Deepak K.L. (2011) melakukan penelitian merupakan studi kasus tentang sistem hibrid dengan mengoptimalkan beberapa pembangkit tenaga yaitu sel surya, angin dan mikrohidro untuk kebutuhan rumah tangga. Hasil penelitian yang diperoleh adalah optimalisasi sistem hibrid ini mampu memenuhi kebutuhan rumah tangga.

Abdul dan Lily (2011) melakukan penelitian tentang desain PLTMH di Sumbawa, Indonesia. Hasil penelitian adalah diperoleh jenis turbin yang cocok untuk pendirian PLTMH di Sumbawa, Indonesia. Dari hasil penelitian sebelumnya terlihat bahwa pada umumnya hanya melakukan penelitian tentang potensi pembangunan PLTMH dan penelitian tentang peningkatan kinerja yang sebagian besar mengarah pada sudu turbin dan nosel pengarah, sedangkan penelitian tentang pipa *penstock* yaitu pengaruh sebelum turbin belum dilakukan. Peningkatan kinerja dengan meneliti pipa kondensat diharapkan akan lebih besar dari perbaikan pada nosel pengarah dan sudu turbin.

Penelitian yang akan dilakukan merupakan penelitian yang berupaya untuk meningkatkan kinerja PLTMH dengan memvariasikan sudut kemiringan dan diameter pipa *penstock* yang diharapkan akan meningkatkan tekanan pada nosel dan kinerja PLTMH.

Telah dilaksanakan beberapa studi pendahuluan untuk menunjang penelitian yang akan dilakukan. Studi pendahuluan yang telah dilakukan adalah berupa riset yang berhubungan dengan PLTMH.

Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan adalah survei potensi PLTMH di beberapa kabupaten di Sulawesi Selatan. Survei potensi ini dilakukan pada aliran sungai dan irigasi, untuk mengetahui potensi pembangunan PLTMH di Sulawesi Selatan utamanya pada daerah-daerah yang memiliki potensi air (PLTMH) tetapi belum terjangkau oleh listrik PLN. Dari hasil survei ini diketahui bahwa Sulawesi Selatan memiliki potensi pembangunan PLTMH yang sangat besar sehingga perlu dilakukan penelitian tentang hal tersebut. Studi pendahuluan lain yang telah dilakukan desain PLTMH tipe *cross flow* berkapasitas 5 kVA di desa Pallawa kabupaten Bone Sulawesi Selatan, serta pembangunan PLTMH dengan memanfaatkan aliran Irigasi Unyi di kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan. Dari studi ini diketahui kemampuan pembangunan PLTMH, sehingga riset lanjutan layak untuk dilakukan.

Juga telah dilakukan studi pendahuluan tentang perancangan turbin *cross flow* berkapasitas 5 kVA untuk penerangan listrik di desa Pong Bembe kabupaten Toraja Sulawesi Selatan, serta pembuatan komponen turbin *cross flow* untuk PLTMH berkapasitas 5 kVA di desa La'bo kecamatan Sanggalangi kabupaten Toraja Utara Sulawesi Selatan. Dari studi ini diketahui kemampuan perbaikan PLTMH, sehingga riset lanjutan layak untuk dilakukan. Juga telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh jumlah pipa *penstock* terhadap peningkatan kinerjanya. Dimana terjadi peningkatan kinerja signifikan untuk jumlah pipa *penstock* dari 1 hingga 3, tetapi peningkatan tidak signifikan dari 3 hingga 5. Studi pendahuluan lain yang telah dilaksanakan adalah dengan mengumpulkan beberapa literatur berupa jurnal ilmiah, buku-buku dan data-data dari internet yang berhubungan langsung dengan penelitian yang akan dilakukan, yang sebagian telah dimasukkan dalam daftar pustaka.

Penelitian yang telah dilakukan di PNUP berhubungan dengan kompetensi PLTMH telah banyak, ada beberapa penelitian yang telah dilakukan yang berhubungan dengan penelitian yang akan dilakukan. Pada tahun 2009 telah dilakukan survei potensi PLTMH di beberapa kabupaten di Sulawesi Selatan. Survei potensi ini dilakukan untuk pada aliran sungai dan irigasi, untuk mengetahui potensi pembangunan PLTMH di Sulawesi Selatan utamanya pada daerah-daerah yang memiliki potensi air (PLTMH) tetapi belum terjangkau oleh listrik PLN.

Pada tahun 2009 telah dilakukan desain PLTMH tipe *cross flow* berkapasitas 5 kVA di desa Pallawa kabupaten Bone Sulawesi Selatan. PLTMH ini telah dimanfaatkan oleh masyarakat di desa tersebut. Pada

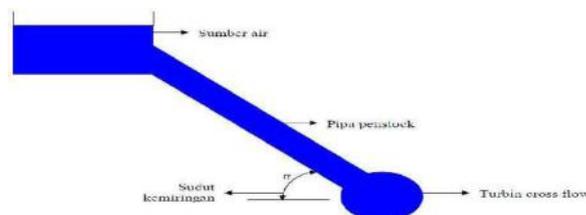
tahun 2010 telah dilakukan pembangunan PLTMH dengan memanfaatkan aliran Irigasi Unyi di kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan. PLTMH ini telah dimanfaatkan oleh masyarakat di sekitar irigasi tersebut.

Tahun 2012 telah dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh jumlah pipa penstock terhadap peningkatan kinerjanya. Dimana terjadi peningkatan kinerja signifikan untuk jumlah pipa penstock 1 hingga 3, tetapi peningkatan tidak signifikan dari 3 hingga 5. Penelitian lain yang telah dilakukan adalah perancangan turbin *cross flow* berkapasitas 5 kVA untuk penerangan listrik di desa Pong Bembe kabupaten Toraja Sulawesi Selatan. Juga telah dilakukan pembuatan komponen turbin *cross flow* untuk PLTMH berkapasitas 5 kVA di desa La'bo kecamatan Sanggalangi kabupaten Toraja Utara Sulawesi Selatan.

Penelitian yang akan dilakukan pada tahun ke-1 adalah melakukan riset tentang peningkatan kinerja PLTMH untuk mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan pipa *penstock*. Jumlah sudut yang dianalisa adalah sebanyak 3 buah sedangkan turbin *crossflow* yang digunakan hanya 1 buah untuk mengatasi pengaruh perbedaan pembuatan turbin *crossflow* terhadap perubahan kinerja. Hasil riset ini akan dievaluasi berdasarkan besarnya daya output turbin *crossflow* yang dihasilkan oleh PLTMH pengaruh variasi sudut kemiringan pipa *penstock*.

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian adalah desain dan eksperimental dan dilakukan secara bertahap yang dimulai dengan tahap rancang bangun sistem PLTMH dengan variasi pada sudut kemiringan dan diameter pipa *penstock*, kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian kinerja hasil rancang bangun, dan diakhiri dengan tahap evaluasi hasil pengujian. Penelitian ini akan dilakukan selama dua tahun. Keseluruhan penelitian adalah untuk mengevaluasi peningkatan kinerja PLTMH pada berbagai kondisi variasi penelitian. Penelitian pada tahun pertama dengan mengevaluasi pengaruh variasi sudut kemiringan pipa *penstock* terhadap peningkatan kinerja PLTMH.



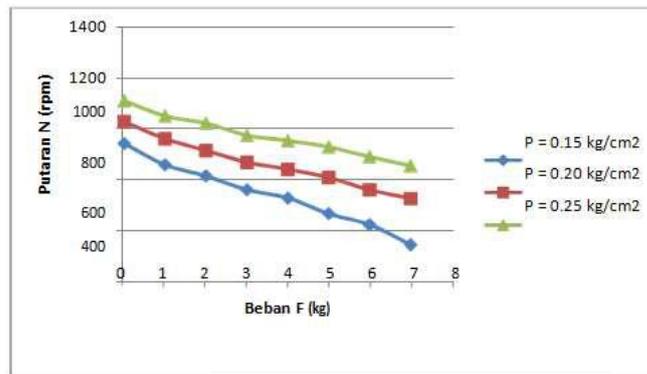
Gambar 4. Sudut kemiringan pipa penstock (α)

Penelitian pada tahun kedua adalah dengan mengevaluasi pengaruh variasi diameter pipa *penstock* pada kondisi daya input air yang sama. Penelitian akan dilakukan dalam tiga tahap pada setiap tahunnya yaitu dimulai dengan tahap rancang bangun, dilanjutkan dengan tahap pengujian kinerja dan di akhiri dengan tahap evaluasi.

Pada tahun pertama akan dilakukan rancang bangun PLTMH dengan skala laboratorium dan akan disiapkan kondisi pengujian dengan memvariasikan sudut kemiringan pipa *penstock*. Rancang bangun yang akan dilakukan pada tahun kedua juga masih dengan skala laboratorium dan akan disiapkan kondisi pengujian dengan memvariasikan diameter pipa *penstock*. Pengujian kinerja dari sistem PLTMH akan dilakukan untuk mendapatkan efisiensi serta kemampuan sistem PLTMH pada setiap kondisi variasi *penstock* untuk menghasilkan daya output turbin *crossflow*, sehingga diperoleh kinerja PLTMH. Pengujian ini akan dilakukan di laboratorium energi alternatif dan laboratorium mesin listrik di politeknik negeri ujung pandang. Pengujian pada tahun pertama ditekankan pada kinerja PLTMH berupa daya output turbin *crossflow* dengan pengaruh variasi sudut kemiringan pipa *penstock* dengan diameter yang sama. Pengujian pada tahun kedua ditekankan pada kinerja PLTMH dengan pengaruh variasi diameter pipa *penstock* dengan sudut kemiringan yang sama. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kinerja PLTMH dengan variasi pada pipa *penstock*, evaluasi ini pada akhirnya akan menjadi patokan dalam perencanaan pembangunan PLTMH dengan memanfaatkan aliran sungai atau irigasi. Evaluasi pada tahun pertama dilakukan untuk memperoleh kinerja terbaik pada setiap variasi sudut kemiringan pipa *penstock*. Sedangkan evaluasi pada tahun kedua dilakukan untuk memperoleh kinerja terbaik pada setiap variasi diameter pipa *penstock*. Evaluasi dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dari pengujian kinerja sehingga diperoleh besar efisiensi PLTMH pada setiap variasi pengujian.

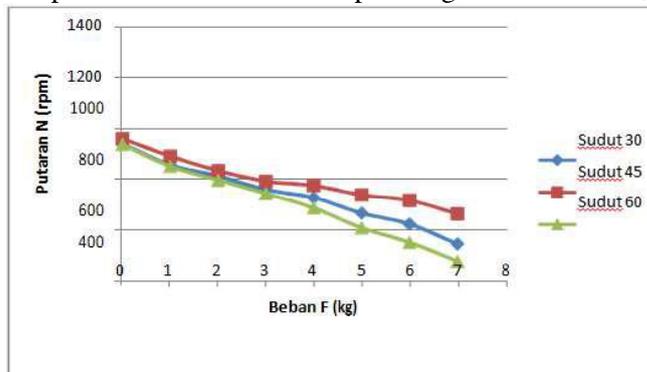
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan beban mekanik dan putaran turbin dengan variasi tekanan air pada sistem PLTMH dengan sudut pipa penstock 30° seperti yang terlihat pada gambar 5, pada grafik tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan berbanding terbalik antara pembebanan dengan putaran turbin, dimana semakin besar beban yang diberikan maka semakin kecil putaran turbin hal ini karena beban merupakan hambatan bagi putaran turbin, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain. Gambar 5 juga menunjukkan bahwa semakin besar tekanan air atau semakin tinggi jatuh air maka putaran turbin akan semakin besar hal ini karena semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi yang diterima oleh turbin sehingga putarannya semakin besar, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain.



Gambar 5. Hubungan Beban dan Putaran Turbin Dengan Variasi Tekanan Air Pada Sistem PLTMH Dengan Sudut Pipa Penstock 30°

Besarnya putaran turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua sudut pipa penstock) adalah pada tekanan 0,25 kg/cm² diperoleh putaran turbin 736 - 1236 rpm dengan rata-rata 989,46 rpm, pada tekanan 0,20 kg/cm² diperoleh putaran turbin 630-1124 rpm dengan rata-rata 877,00 rpm, dan pada tekanan 0,15 kg/cm² diperoleh putaran turbin 470 - 965 rpm dengan rata-rata 748,21 rpm.



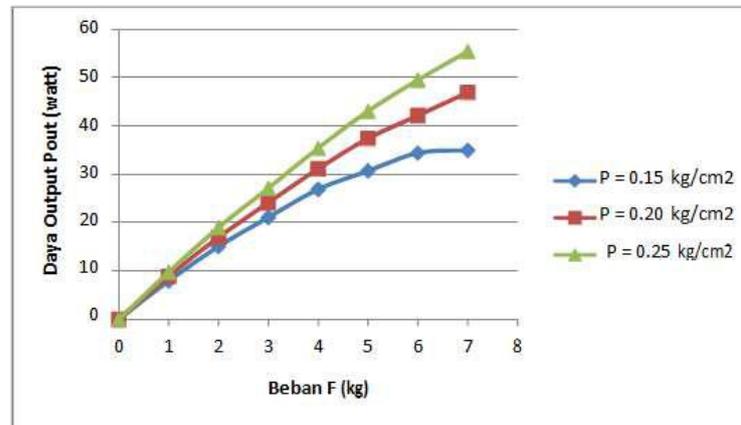
Gambar 6. Hubungan Beban dan Putaran Turbin Dengan Variasi Sudut Pipa Penstock Pada Sistem PLTMH Dengan Tekanan Air 0,15 kg/cm²

Hubungan beban mekanik dan putaran turbin dengan variasi sudut pipa penstock pada sistem PLTMH dengan tekanan air 0,15 kg/cm² seperti terlihat pada gambar 6, pada grafik tersebut terlihat bahwa pengujian dengan sudut pipa penstock 45° diperoleh putaran turbin yang paling besar, selanjutnya sudut pipa penstock 30° dan yang memberikan putaran turbin yang terkecil adalah sudut pipa penstock 60°, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi tekanan air dalam pipa penstock yang lain.

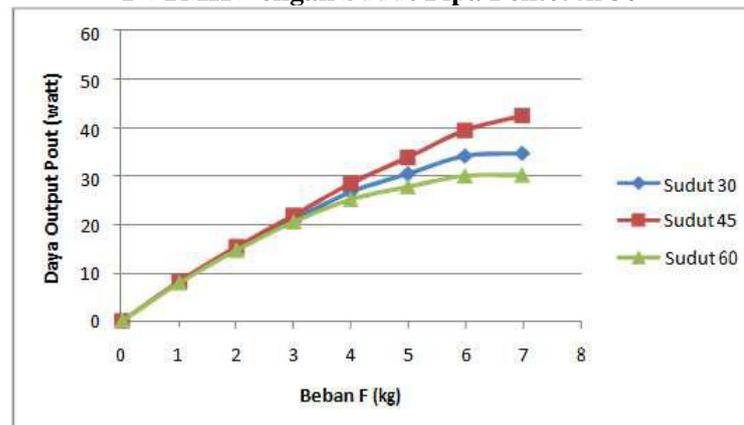
Besarnya putaran turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua tekanan air dalam pipa penstock) adalah pada sudut pipa penstock 45° diperoleh putaran turbin 662-1236 rpm dengan rata-rata 937,42 rpm, pada sudut pipa penstock 30° diperoleh putaran turbin 540 - 1116 rpm dengan rata-rata 860,92 rpm, dan pada sudut pipa penstock 60° diperoleh putaran turbin 470 - 1116 rpm dengan rata-rata 816,33 rpm. Hubungan beban mekanik dan daya output turbin dengan variasi tekanan air pada sistem PLTMH dengan sudut pipa penstock 30° seperti yang terlihat pada gambar 7, pada grafik tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan berbanding lurus cenderung parabolik antara pembebanan dengan daya output turbin, dimana semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar daya output turbin, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain. Gambar 7 juga menunjukkan bahwa semakin

besar tekanan air atau semakin tinggi jatuh air maka daya output turbin akan semakin besar hal ini karena semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi yang diterima oleh turbin sehingga daya output-nya semakin besar, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain.

Besarnya daya output turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua sudut pipa penstock) adalah pada tekanan 0,25 kg/cm² diperoleh daya output turbin maksimum 58,51 watt dengan rata-rata 53,80 watt, pada tekanan 0,20 kg/cm² diperoleh daya output turbin maksimum 52,33 watt dengan rata-rata 46,66 watt, dan pada tekanan 0,15 kg/cm² diperoleh daya output turbin maksimum 42,82 watt dengan rata-rata 36,05 watt.



Gambar 7. Hubungan Beban dan Daya Output Turbin Dengan Variasi Tekanan Air Pada Sistem PLTMH Dengan Sudut Pipa Penstock 30°

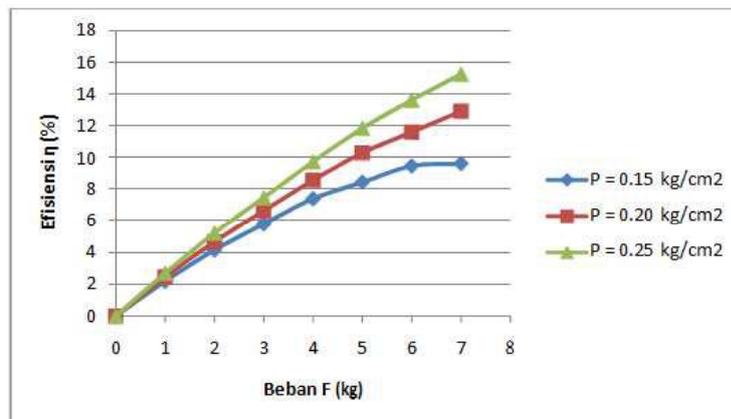


Gambar 8. Hubungan Beban dan Daya Output Turbin Dengan Variasi Sudut Pipa Penstock Pada Sistem PLTMH Dengan Tekanan Air 0.15 kg/cm²

Hubungan beban mekanik dan daya output turbin dengan variasi sudut pipa penstock pada sistem PLTMH dengan tekanan air 0,15 kg/cm² seperti terlihat pada gambar 8, pada grafik tersebut terlihat bahwa pengujian dengan sudut pipa penstock 45° diperoleh daya output turbin yang paling besar, selanjutnya sudut pipa penstock 30° dan yang memberikan daya output turbin yang terkecil adalah sudut pipa penstock 60°, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi tekanan air dalam pipa penstock yang lain. Besarnya daya output turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua tekanan air dalam pipa penstock) adalah pada sudut pipa penstock 45° diperoleh daya output turbin maksimum 58,41 watt dengan rata-rata 51,19 watt, pada sudut pipa penstock 30° diperoleh daya output turbin maksimum 55,37 watt dengan rata-rata 45,73 watt, dan pada sudut pipa penstock 60° diperoleh daya output turbin maksimum 47,61 watt dengan rata-rata 39,59 watt.

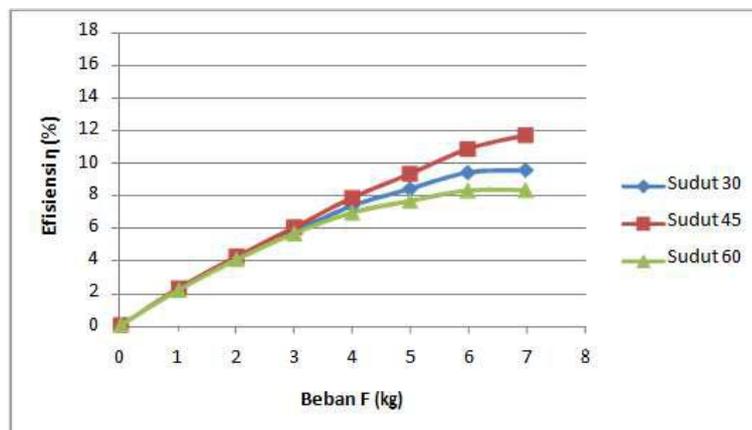
Hubungan beban mekanik dan efisiensi turbin dengan variasi tekanan air pada sistem PLTMH dengan sudut pipa penstock 30° seperti yang terlihat pada gambar 9, pada grafik tersebut terlihat bahwa terdapat hubungan berbanding lurus dan cenderung parabolik antara pembebanan dengan efisiensi turbin, dimana semakin besar beban yang diberikan maka semakin besar efisiensi turbin, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain. Gambar 9 juga menunjukkan bahwa semakin besar tekanan air atau semakin tinggi jatuh air maka efisiensi turbin akan semakin besar hal ini karena semakin tinggi jatuh air maka semakin besar energi yang diterima oleh turbin sehingga efisiensi-nya semakin besar, hal

ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi sudut pipa penstock yang lain. Besarnya efisiensi turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua sudut pipa penstock) adalah pada tekanan 0,25 kg/cm² diperoleh efisiensi turbin maksimum 16,08 % dengan rata-rata 14,81 %, pada tekanan 0,20 kg/cm² diperoleh efisiensi turbin maksimum 14,41 % dengan rata-rata 12,85 %, dan pada tekanan 0,15 kg/cm² diperoleh efisiensi turbin maksimum 11,79 % dengan rata-rata 9,93 %.



Gambar 9. Hubungan Beban dan Efisiensi Turbin Dengan Variasi Tekanan Air Pada Sistem PLTMH Dengan Sudut Pipa Penstock 30°

Hubungan beban mekanik dan efisiensi turbin dengan variasi sudut pipa penstock pada sistem PLTMH dengan tekanan air 0,15 kg/cm² seperti terlihat pada gambar 10, pada grafik tersebut terlihat bahwa pengujian dengan sudut pipa penstock 45° diperoleh efisiensi turbin yang paling besar, selanjutnya sudut pipa penstock 30° dan yang memberikan efisiensi turbin yang terkecil adalah sudut pipa penstock 60°, hal ini juga terjadi pada pengujian dengan variasi tekanan air dalam pipa penstock yang lain.



Gambar 10. Hubungan Beban dan Efisiensi Turbin Dengan Variasi Sudut Pipa Penstock Pada Sistem PLTMH Dengan Tekanan Air 0.15 kg/cm²

Besarnya efisiensi turbin berdasarkan pengaruh tekanan air (untuk semua tekanan air dalam pipa penstock) adalah pada sudut pipa penstock 45° diperoleh efisiensi turbin maksimum 16,83 % dengan rata-rata 14,09 %, pada sudut pipa penstock 30° diperoleh efisiensi turbin maksimum 15,25 % dengan rata-rata 12,59 %, dan pada sudut pipa penstock 60° diperoleh efisiensi turbin maksimum 13,11 % dengan rata-rata 10,90 %.

5. KESIMPULAN

1. Semakin besar tekanan air maka semakin besar putarannya, tekanan 0,25 kg/cm² putarannya 736 - 1236 rpm dengan rata-rata 989,46 rpm, tekanan 0,20 kg/cm² putarannya 630 - 1124 rpm dengan rata-rata 877,00 rpm, dan tekanan 0,15 kg/cm² putarannya 470 - 965 rpm dengan rata-rata 748,21 rpm.

2. Sudut pipa penstock 45° putarannya 662 - 236 rpm dengan rata-rata 937,42 rpm, sudut pipa penstock 30° putarannya 540-1116 rpm dengan rata-rata 860,92 rpm, dan sudut pipa penstock 60° putarannya 470-1116 rpm dengan rata-rata 816,33 rpm
3. Semakin besar tekanan air maka semakin besar daya output-nya, tekanan 0,25 kg/cm² daya output maksimum 58,51 watt dengan rata-rata 53,80 watt, tekanan 0,20 kg/cm² daya output maksimum 52,33 watt dengan rata-rata 46,66 watt, dan tekanan 0,15 kg/cm² daya output maksimum 42,82 watt dengan rata-rata 36,05 watt.
4. Sudut pipa penstock 45° daya output maksimum 58,41 watt dengan rata-rata 51,19 watt, sudut pipa penstock 30° daya output maksimum 55,37 watt dengan rata-rata 45,73 watt, dan pada sudut pipa penstock 60° daya output maksimum 47,61 watt dengan rata-rata 39,59 watt.
5. Semakin besar tekanan air maka semakin besar efisiensi-nya, tekanan 0,25 kg/cm² efisiensi maksimum 16,08 % dengan rata-rata 14,81 %, tekanan 0,20 kg/cm² efisiensi maksimum 14,41 % dengan rata-rata 12,85 %, dan pada tekanan 0,15 kg/cm² efisiensi maksimum 11,79 % dengan rata-rata 9,93 %.
6. Sudut pipa penstock 45° efisiensi maksimum 16,83 % dengan rata-rata 14,09 %, sudut pipa penstock 30° efisiensi maksimum 15,25 % dengan rata-rata 12,59 %, dan sudut pipa penstock 60° efisiensi maksimum 13,11 % dengan rata-rata 10,90 %.

6. REFERENSI

- Abdul A.H. dan Lily M. 2011. *Design of Micro Hydro Electrical Power at Brang Rea River In West Sumbawa of Indonesia*. Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation, Volume 1, Number 2, Page: 177-183. ISSN 2088-3218
- Barglazan, M., 2005, *About Design Optimization of Cross-Flow Hydraulic Turbines*. The Politechnica University of Timisoara New York, Mc Graw Hill.
- Deepak K.L., dkk. 2011. *Optimization of PV/Wind/Micro-Hydro/Diesel Hybrid Power System in HOMER for the Study Area*. International Journal on Electrical Engineering and Informatics - Volume 3, Number 3, Page 307-325.
- Issam Salhi dan Said Doubabi. 2009. *Fuzzy controller for frequency regulation and water energy save on microhydro electrical power plants*. International Renewable Energy Congress. Sousse Tunisia.
- J. De. Andrea dkk, 2011 *Numerical Investigation of The Internal Flow In A Banki Turbine*. International Journal of Rotating Machinery. Volume 2011. Article ID. 841214
- Javet C. dkk. 2010. *Design Of A Cross Flow Turbine For Micro Hydro Power Application*. Proceeding of the ASME Power Comfrence Power 2010, Cicago USA July, 13-15 2010.
- Junichiro F. dan Rei N. 2005. *Performance and Internal Flow of Cross-Flow Fan with Inlet Guide Vane*. JMSE International Journal series B, vol. 48, No. 4
- Junichiro F. dkk 1995, *Unsteady Fluid Force on a Blade in a Cross-flow Turbine*, JMSE Internasional Journal, series B, vol. 38, No. 3
- Jusuf Haurissa, Rudi Soenoko, 2010, *Performance and Flow Characteristics Lattitude With Addition in Nozzle, Turbine Blades Second Level*. IJAR Journal Economics And Engineering no. 4, Page: 30-32. Azerbaijan
- Kurniawan B. 2007. *Mengapa Mikrohidro*. Seminar nasional teknologi (SNT 2007) ISSN : 1978-9777, Yogyakarta.
- Napitupulu F.H. 2008. *Potensi Air Terjun Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTMH) di Sumatera Utara*. Pidato Pengukuhan Jabatan Guru Besar Tetap dalam Bidang Ilmu Mekanika Fluida pada Fakultas Teknik, diucapkan di hadapan Rapat Terbuka Universitas Sumatera Utara.
- Nathan R. dan Ibrahim H. 2010. *Reconnaissance Study to Identify Micro Hydro Potential Sites in Malaysia*. European Journal of Scientific Research. ISSN 1450-216X, Vol.41, No.3 (2010), pp.354-372.
- Olgun, Hayati, 1998, *Investigation of The Performance of A Cross Flow Turbine*. Mechanical Engineering Department, Karadeniz Technical University, Trabzon, Turkey. International Journal of Energy Research.
- Sudargana dkk. 2005. Studi Kelayakan dan Prancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Dukuh Pekuluran Kec. Doro Kab. Pekalongan. Jurnal ROTASI Volume 7, Nomor 2, Halaman 1-5.
- Sugeng Permadi dkk. 2005. *Studi Experimen dan Rancang Bangun Nosel Guide Vane Pada Nosel Turbin Cross Flow Berbasis Coputational Fluida Dynamic*.
- Theophilus Gaius dan obaseki. 2010. *Hydropower opportunities in the water industry*. International Journal of Environmental Sciences Volume 1, No 3, Hal 392-402. ISSN 0976 – 4402.
- Winardi, Harwin Saptodi, 2004. *Pengaruh Jumlah Sudu Jalan Terhadap Unjuk Kerja Turbin Aliran Silang*, TEKNOSAINS April 2004. Hal .230-250
- Yong D.C., dkk. 2008. *Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade*. Jurnal of Fluid Science and Technology. Korea Maritime University. Vol.3, No3, 2008.
- Yus Widarko. dkk, 2004, *The Effects Of Opening Variation Of Guide Van On The Effeciency Of Cross Flow Turbine*, Program Studi Magister Sistim Teknik Mikro Hidro, UGM.