

ANALISIS PERUBAHAN KINERJA TURBIN RODA AIR AKIBAT PENGARUH JENIS SUDU

La Ode Musa¹⁾ dan Jumadi Tangko²⁾

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

ABSTRACT

Tujuan umum penelitian mengembangkan sistem PLTMH untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat disekitar pembangkit. Tujuan khusus penelitian mengembangkan turbin roda air yang memanfaatkan air keluaran turbin untuk menambah daya listrik yang dibangkitkan PLTMH, dengan mengamati pengaruh jumlah sudu, jenis sudu serta kedalaman rendaman sudu turbin roda air. Penelitian dilakukan dengan membuat sembilan buah turbin roda air yaitu S7-D (jumlah sudu 7 jenis datar), S10-D, S13-D, S7-B (bengkok), S10-B, S13-B, S7-L (lengkung), S10-L dan S13-L. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan kedalaman rendaman yaitu 2/70, 4/70 dan 6/70. Evaluasi dilakukan dengan mengamati dan membandingkan daya output dan efisiensi dari setiap jenis turbin. Penelitian ini merupakan bagian dari Rencana Induk Penelitian (RIP) PNUP dan merupakan kelanjutan dari penelitian AUPT yang telah dilakukan penulis pada tahun 2013. Semakin besar kedalaman rendaman turbin maka efisiensinya semakin kecil, kedalaman rendaman 2/70 efisiensinya 39,09%, kedalaman rendaman 4/70 efisiensinya 15,84%, dan kedalaman rendaman 6/70 efisiensinya 3,14%. Semakin banyak jumlah sudu maka efisiensinya semakin besar, jumlah sudu 13 efisiensinya 22,32%, jumlah sudu 10 efisiensinya 19,09%, dan jumlah sudu 7 efisiensinya 16,67%. Jenis sudu turbin yang memiliki kinerja terbaik secara berurut adalah sudu datar efisiensinya 21,78%, sudu bengkok efisiensinya 20,07%, dan sudu lengkung efisiensinya 16,67%.

Keywords: PLTMH, roda air, jenis sudu, jenis sudu

1. PENDAHULUAN

Indonesia memiliki banyak desa terpencil yang terletak di tepi sungai dan jauh dari jaringan listrik perkotaan. Umumnya tidak ada jalan darat ke desa-desa tersebut sehingga lalu lintas harus dilakukan melalui sungai. Juga tidak ada jaringan listrik di desa yang amat terpencil itu. Padahal desa tersebut umumnya memiliki potensi agribisnis yang dapat dikembangkan untuk menunjang perekonomian daerah. Melihat dari masalah yang dihadapi dan potensi yang dimiliki maka masyarakat pada daerah tersebut perlu dicarikan solusi. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan energi air yang berada pada daerah tersebut untuk membangkitkan listrik (PLTMH). Energi air merupakan energi alternatif terbarukan dan ramah lingkungan, sehingga sangat layak untuk dikembangkan.

Pembangunan PLTMH ini, disamping sebagai penerangan juga berfungsi untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat, karena dengan adanya listrik masyarakat dapat meningkatkan pengolahan hasil pertanian dan perkebunan, sehingga produksi pasca panen memiliki kuantitas dan kualitas yang meningkat sehingga harga jualnya juga akan semakin baik, yang pada akhirnya meningkatkan taraf hidup petani.

Pada saat awal pembangunan, PLTMH mampu memenuhi kebutuhan listrik tetapi dalam perkembangannya kebutuhan listrik masyarakat sekitar pembangkit terus berkembang hingga daya listrik yang dibangkitkan PLTMH sudah tidak mampu memenuhi kebutuhan masyarakat sehingga daya yang dibangkitkan harus ditingkatkan. Terdapat kendala pengembangan daya yang mampu dibangkitkan PLTMH yaitu penggantian hampir seluruh komponen PLTMH sehingga hal ini sama dengan pembangunan baru yang membutuhkan biaya besar, hal ini sangat berat untuk dilakukan karena harus menunggu ketersediaan anggaran untuk pembangunan PLTMH.

Salah satu solusi penyelesaian masalah yang dihadapi adalah dengan memanfaatkan air keluaran turbin PLTMH yang masih memiliki debit dan kecepatan aliran sehingga masih mampu membangkitkan listrik. Pemanfaatan air keluaran turbin PLTMH dapat dilakukan dengan mengembangkan sistem turbin roda air. Turbin roda air tidak memerlukan biaya yang besar dalam pembuatannya dibandingkan dengan pembangunan PLTMH.

Penelitian dilakukan untuk mengembangkan turbin roda air untuk memanfaatkan air keluaran turbin PLTMH. Untuk meningkatkan daya PLTMH dan mengatasi kekurangan daya listrik yang dibangkitkan PLTMH pada beban puncak. Penelitian ini merupakan bagian dari Rencana Induk Penelitian (RIP) Politeknik Negeri Ujung Pandang yang salah satu sarannya adalah pengembangan rekayasa teknologi pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) dalam upaya meningkatkan komoditas daerah dan merupakan bagian dari riset unggulan bidang rekayasa teknologi energi, energi baru dan terbarukan dengan topik riset pengembangan dan pemanfaatan sistem sebelum dan setelah turbin untuk meningkatkan kinerja PLTMH. Umumnya PLTMH

tidak pada kondisi puncak dalam beroperasi. Energi air yang mampu dirubah ke dalam energi listrik tidak maksimal. Kualitas konstruksi dan perencanaan sangat berpengaruh dalam kemampuan operasionalnya sehingga hal-hal di atas menunjukkan adanya kelemahan dalam perencanaan, pelaksanaan, penyerahan dan pengelolaan sehingga dikhawatirkan dapat mengganggu kelestarian sistem PLTMH (Dadang, 2008).

Kinerja PLTMH yang tidak optimal tersebut masih lagi dibebani dengan penerangan dan pemenuhan kebutuhan listrik di rumah pembangkit (*power house*) sehingga hal tersebut makin mengurangi daya listrik yang disuplay ke masyarakat. Kurangnya daya listrik yang disuplay ke masyarakat menyebabkan daya yang dapat diberikan untuk setiap rumah hanya berkisar 100-225 watt, hal tersebut masih sangat kurang walaupun sudah cukup untuk penerangan. Kebutuhan listrik untuk pengolahan hasil pertanian dan perkebunan masih belum terpenuhi secara maksimal, sehingga perlu dicari upaya untuk meningkatkan kinerja PLTMH yang pada akhirnya dapat meningkatkan taraf hidup para petani.

Berbagai upaya telah dilakukan untuk meningkatkan kinerja PLTMH, salah satunya adalah dengan memanfaatkan air keluaran turbin yang masih besar dan memiliki energi kinetik besar. Air keluaran turbin dapat digunakan untuk membangkitkan listrik dengan menggunakan roda air. Yang akan dihubungkan dengan generator. Daya listrik yang dibangkitkan oleh roda air tidaklah besar tetapi dapat memenuhi kebutuhan listrik dan penerangan pada *power house*.

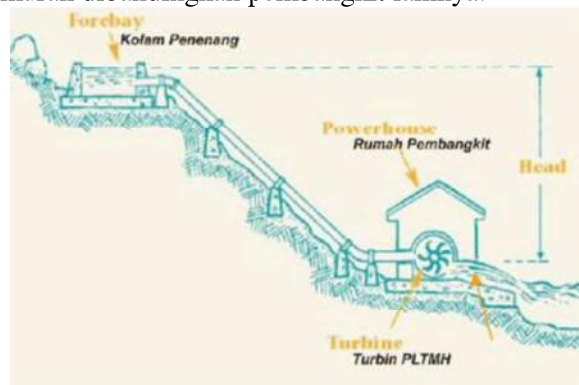
Berdasarkan latar belakang di atas maka tujuan umum penelitian ini adalah pengembangan sistem pembangkit listrik tenaga mikro hidro (PLTMH) untuk meningkatkan taraf hidup masyarakat disekitar pembangkit.

Adapun tujuan khusus penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem turbin roda air yang memanfaatkan air keluaran turbin untuk menambah daya listrik yang dibangkitkan oleh PLTMH yaitu dengan mengetahui:

1. Pengaruh jumlah sudu turbin roda air terhadap kinerja turbin (tahun 1).
2. Pengaruh jenis sudu turbin roda air terhadap kinerja turbin (tahun 2).
3. Pengaruh kedalaman rendaman sudu turbin roda air terhadap kinerja turbin (tahun 1 dan 2).

2. KAJIAN LITERATUR DAN PEGEMBANGAN HIPOTESIS

PLTMH merupakan salah satu pembangkit listrik yang cukup unik karena meskipun dalam skala kecil tetapi memiliki banyak kelebihan (Kurniawan, 2007). Energi penggerak dari PLTMH merupakan energi alternatif yang dapat diperbaharui dan dipelihara serta ramah terhadap lingkungan. Pembangunan dan pengembangan PLTMH tidak memerlukan teknologi yang rumit disamping itu harga pembuatan dan pemeliharaan PLTMH relatif murah dibandingkan pembangkit lainnya.



Gambar 1. Sistem PLTMH Crossflow (Abdul K.D., 2009)

Pengembangan PLTMH merupakan salah satu pilihan yang tepat untuk penyediaan energi listrik pada daerah terpencil dengan jumlah penduduk yang sedikit dan sulit dijangkau jaringan listrik dari PLN, tetapi daerah tersebut memiliki potensi air. Gambar 1 menunjukkan sistem PLTMH dengan turbin *crossflow*, pada gambar tersebut juga terlihat bahwa terdapat air keluar turbin PLTMH yang masih memiliki daya air sehingga masih mampu dikembangkan untuk pembangkit listrik dengan menggunakan turbin roda air.

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. 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 turbine arus lintang menggunakan pipa pancar (nozzel) tingkat kedua. Penelitian ini memperoleh efisiensi 74,88%.

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. Markandjane (2003) melakukan penelitian tentang turbin roda air arus bawah dan turbin roda air arus atas. Penelitian memperoleh dan membandingkan efisiensi dari roda air arus bawah dan roda air arus atas. Dalam rencana penelitian kedua hal tersebut juga akan dilakukan, penelitian yang akan dilakukan merupakan aplikasi dari penelitian Markandjane (2003).

Noria A.M. (2005) melakukan penelitian tentang roda air dengan melakukan perbaikan dan pengembangan dari turbin roda air tersebut untuk memperoleh kondisi pengembangan yang terbaik. G. Akhyar I. dkk melakukan penelitian tentang roda air dengan menguji kinerja dari roda air model tradisional. Pemanfaatan roda air ini adalah sebagai pembangkit tenaga dengan sumber energi yang dapat diperbaharui.

La Ode Musa (2013) melakukan penelitian tentang pemanfaatan air keluaran turbin untuk lampu penerangan sekitar PLTMH. Studi pendahuluan yang telah dilaksanakan adalah dengan menggunakan turbin roda air dengan memanfaatkan aliran air keluar turbin PLTMH untuk membangkitkan listrik sebagai penerangan disekitar rumah pembangkit di kabupaten Endrekang Sulawesi Selatan. Dari studi ini diketahui kemampuan turbin roda air dengan memanfaatkan air keluaran turbin PLTMH untuk menyalakan lampu penerangan disekitar rumah pembangkit, sehingga perlu dikembangkan penelitian turbin roda air memanfaatkan air keluar turbin PLTMH.

Studi pendahuluan lain yang telah dilakukan 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 juga potensi aliran air untuk pengembangan turbin roda air.

Juga telah dilakukan studi pendahuluan yaitu pembangunan PLTMH dengan memanfaatkan aliran Irigasi Unyi di kabupaten Soppeng Sulawesi Selatan, serta desain PLTMH tipe cross flow berkapasitas 5 kVA di desa Pallawa kabupaten Bone Sulawesi Selatan. Dari studi ini diketahui kemampuan dan kelemahan pembangunan PLTMH, disamping masih terdapat air buangan turbin yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai pembangkit daya listrik.

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 telah dimasukkan dalam daftar pustaka. Dari studi literatur tersebut belum ditemukan penelitian peningkatan kinerja turbin roda air dengan memanfaatkan air keluaran turbin PLTMH, sehingga penelitian ini layak untuk dilakukan karena memiliki unsur kebaruan.

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. Pada tahun 2013 telah dilakukan pembangunan turbin roda air memanfaatkan air keluaran turbin PLTMH untuk penerangan disekitar rumah pembangkit, sehingga perlu diteliti lebih jauh tentang peningkatan kinerja turbin roda air untuk optimalisasi kinerjanya.

Penelitian yang akan dilakukan pada tahun pertama adalah melakukan riset tentang pengaruh jumlah sudu turbin terhadap kinerja dari turbin roda air tersebut. Jumlah sudu turbin termasuk salah satu hal yang sangat berpengaruh terhadap kinerja sebuah turbin roda air dimana kinerja turbin roda air berbentuk parabolik, penambahan jumlah sudu turbin pada awalnya akan meningkatkan kinerja tetapi penambahan jumlah sudu

turbin suatu saat akan menurunkan kinerja turbin roda air tersebut. Hal ini akan diteliti dalam penelitian ini untuk mendapatkan jumlah sudu turbin terbaik untuk memperoleh kinerja optimum.

Penggunaan turbin roda air dalam penelitian ini adalah karena air keluaran turbin hanya memiliki kecepatan dan debit aliran sedangkan tinggi jatuh airnya sangat rendah, sehingga kondisi tersebut hanya layak dimanfaatkan dengan menggunakan turbin roda air. Penelitian ini dilakukan dengan skala uji laboratorium dan akan dibuat beberapa turbin roda air dengan sudu lurus dan berbagai jumlah sudu turbin.

Pada penelitian ini juga akan dilakukan pengujian pengaruh kedalaman rendaman terhadap peningkatan kinerja turbin roda air hal ini dilakukan karena kinerja turbin roda air juga dipengaruhi oleh kedalaman rendaman, sehingga nantinya akan diperoleh kedalaman rendaman terbaik untuk kinerja optimum.

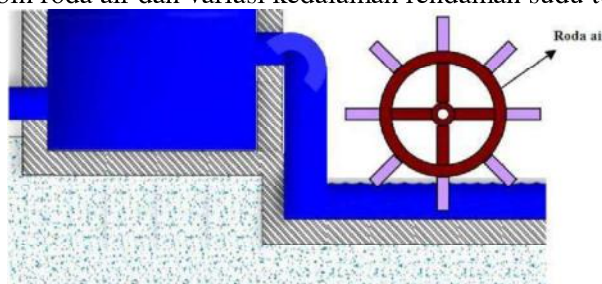
Hasil riset ini akan dievaluasi berdasarkan besarnya daya output yang dihasilkan oleh turbin roda air dengan variasi jumlah sudu turbin dan kedalaman rendaman sudu turbin dalam air.

3. METODE PENELITIAN

Metode Penelitian yang akan dilakukan adalah desain dan eksperimental dan dilakukan secara bertahap yang dimulai dengan tahap rancang bangun sistem uji turbin roda air, kemudian dilanjutkan dengan tahap pengujian kinerja hasil rancang bangun, dan diakhiri dengan tahap evaluasi hasil pengujian. Penelitian ini dilakukan pada akhirnya difokuskan untuk mengembangkan kinerja dari PLTMH dengan memanfaatkan air keluaran turbin untuk menggerakkan turbin roda air yang akan membangkitkan listrik.

Penelitian pada tahun pertama adalah melakukan riset tentang pengaruh jumlah sudu turbin roda air terhadap kinerja dari turbin roda air tersebut. Juga akan diteliti pengaruh kedalaman rendaman sudu turbin roda air terhadap kinerja dari turbin roda air tersebut. Pada tahun kedua akan dilakukan riset kelanjutan dari tahun pertama yaitu tetap melakukan pengujian turbin roda air dengan variasi jenis turbin roda air sehingga diperoleh pengaruh jenis sudu turbin roda air terhadap kinerja dari turbin roda air tersebut. Juga tetap akan diteliti pengaruh kedalaman rendaman terhadap kinerja dari turbin roda air tersebut.

Akhir dari penelitian ini adalah dilakukan rancang bangun PLTMH yang dilengkapi dengan sistem turbin roda air yang disesuaikan dengan hasil-hasil penelitian unggulan perguruan tinggi yang berhubungan dengan penelitian PLTMH. Rancang bangun sistem uji turbin roda air akan dibuat dengan skala laboratorium. Rancang bangun yang akan dilakukan untuk mengetahui karakteristik kinerja turbin roda air, sehingga akan diperoleh kondisi kinerja optimum dari turbin roda air dengan berbagai jenis kondisi pengujian. Pengujian kinerja dari turbin roda air akan dilakukan untuk mendapatkan efisiensi serta daya yang mampu dibangkitkan oleh turbin roda air untuk berbagai variasi dan kondisi pengujian. Penelitian dilakukan dengan variasi jumlah sudu turbin roda air, variasi jenis sudu turbin roda air dan variasi kedalaman rendaman sudu turbin roda air.



Gambar 3. Model pengujian

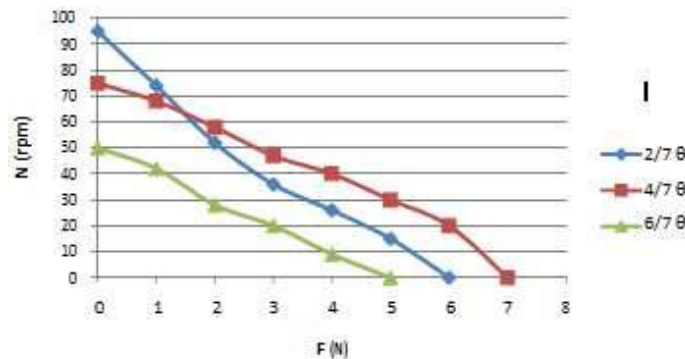
Evaluasi dilakukan untuk mengetahui seberapa besar kinerja turbin roda air dalam menghasilkan daya output. Besar daya output turbin roda air yang dihasilkan oleh air keluaran turbin merupakan daya tambahan bagi sistem PLTMH. Semakin besar daya output turbin roda air yang dibangkitkan maka semakin besar pula tambahan daya yang dapat diberikan masyarakat pengguna.

Evaluasi dilakukan dengan mengolah data yang diperoleh dari pengujian kinerja turbin roda air sehingga diperoleh besar efisiensi dan daya yang dibangkitkan oleh turbin roda air yang merupakan daya tambahan bagi PLTMH.

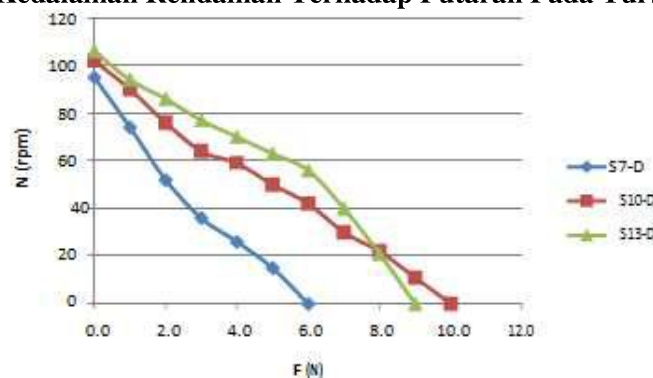
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 memperlihatkan pengaruh kedalaman rendaman terhadap putaran pada turbin roda air datar dengan jumlah sudu 7, terlihat bahwa hubungan beban dengan putaran adalah berbanding terbalik, hubungan ini terjadi pada semua jenis turbin. Pada gambar 6 juga terlihat bahwa pada awalnya kedalaman

rendaman $2/7 \theta$ memiliki putaran terbesar tetapi dengan meningkatnya pembebanan akhirnya kedalaman rendaman $4/7 \theta$ memiliki putaran terbesar, sedangkan kedalaman rendaman $6/7 \theta$ memiliki putaran terendah, hubungan ini terjadi juga pada turbin datar sudu 10, turbin bengkok sudu 7, dan turbin bengkok sudu 10. Pada turbin datar sudu 13, turbin bengkok sudu 13, turbin lengkung sudu 7, turbin lengkung sudu 10, dan turbin lengkung sudu 13 secara berurut yang memiliki putaran terbesar kedalaman rendaman adalah $2/7 \theta$, $4/7 \theta$, dan $6/7 \theta$.



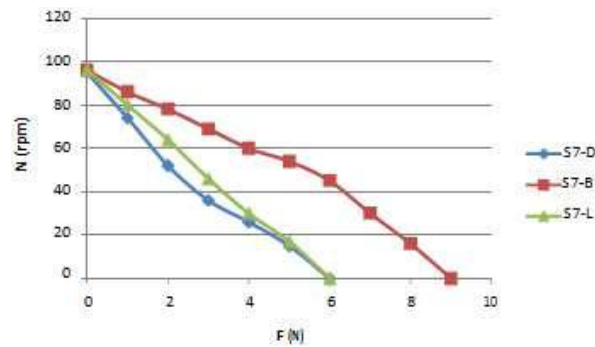
Gambar 4. Pengaruh Kedalaman Rendaman Terhadap Putaran Pada Turbin Datar jumlah sudu 7



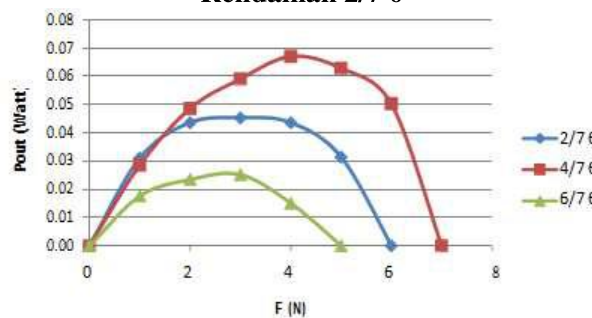
Gambar 5. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Putaran Pada Turbin Datar dengan Kedalaman Rendaman $2/7 \theta$

Gambar 5 memperlihatkan pengaruh jumlah sudu terhadap putaran pada turbin roda air datar dengan kedalaman rendaman $2/7 \theta$, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 10 dan 7, pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7. Pada turbin bengkok untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 13 dan 10, dan pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13. Pada turbin lengkung untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ dan $4/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 7 dan 10.

Gambar 6 memperlihatkan pengaruh jenis sudu terhadap putaran pada turbin roda air sudu 7 dengan kedalaman rendaman $2/7 \theta$, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, lengkung dan datar, pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, datar dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 10 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$, $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, bengkok dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 13 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ dan $4/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, lengkung dan bengkok, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki putaran terbesar secara berurut adalah jenis sudu lengkung, datar dan bengkok.



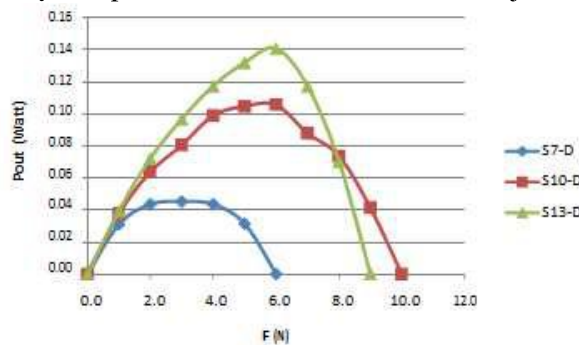
Gambar 6. Pengaruh Jenis Sudu Terhadap Putaran Pada Turbin Sudu 7 dengan Kedalaman Rendaman 2/7 θ



Gambar 7. Pengaruh Kedalaman Rendaman Terhadap Daya Output Pada Turbin Datar dengan jumlah sudu 7

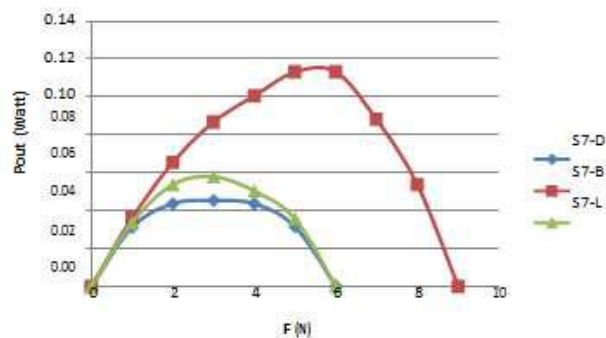
Gambar 7 memperlihatkan pengaruh kedalaman rendaman terhadap daya output pada turbin datar dengan jumlah sudu 7, terlihat bahwa hubungan beban dengan daya output adalah parabolik, hubungan ini terjadi pada semua jenis turbin. Pada gambar 9 juga terlihat bahwa yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah kedalaman rendaman 4/7 θ, 2/7 θ, dan 6/7 θ, hubungan ini terjadi juga pada turbin datar sudu 10. Pada turbin datar sudu 13, turbin bengkok sudu 7, turbin bengkok sudu 10, turbin bengkok sudu 13, turbin lengkung sudu 7, turbin lengkung sudu 10, dan turbin lengkung sudu 13 secara berurut yang memiliki daya output terbesar adalah kedalaman rendaman 2/7 θ, 4/7 θ, dan 6/7 θ.

Gambar 8 memperlihatkan pengaruh jumlah sudu terhadap daya output pada turbin roda air datar dengan kedalaman rendaman 2/7 θ, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman 2/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 10 dan 7, pada kedalaman rendaman 4/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7, dan pada kedalaman rendaman 6/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7. Pada turbin bengkok untuk kedalaman rendaman 2/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 13 dan 10, dan pada kedalaman rendaman 4/7 θ dan 6/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13. Pada turbin lengkung untuk kedalaman rendaman 2/7 θ dan 4/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13, dan pada kedalaman rendaman 6/7 θ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 7 dan 10.



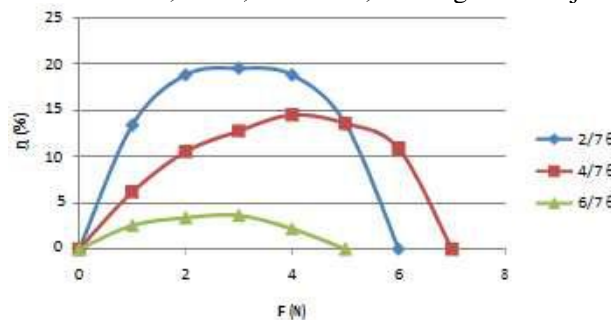
Gambar 8. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Daya Output Pada Turbin Datar dengan Kedalaman Rendaman 2/7 θ

Gambar 9 memperlihatkan pengaruh jenis sudu terhadap daya output pada turbin roda air sudu 7 dengan kedalaman rendaman $2/7 \theta$, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, lengkung dan datar, pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, datar dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 10 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$, $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, bengkok dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 13 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ dan $4/7 \theta$ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, lengkung dan bengkok, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki daya output terbesar secara berurut adalah jenis sudu lengkung, datar dan bengkok.



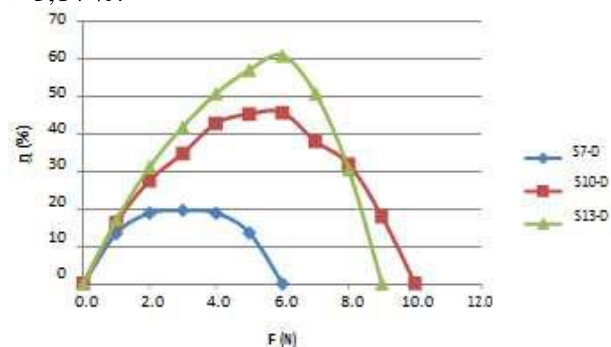
Gambar 9. Pengaruh Jenis Sudu Terhadap Daya Output Pada Turbin Sudu 7 dengan Kedalaman Rendaman $2/7 \theta$

Gambar 10 memperlihatkan pengaruh kedalaman rendaman terhadap efisiensi pada turbin datar dengan jumlah sudu 7, terlihat bahwa hubungan beban dengan efisiensi adalah parabolik, hubungan ini terjadi pada semua jenis turbin. Pada gambar 12 juga terlihat bahwa yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah kedalaman rendaman $2/7 \theta$, $4/7 \theta$, dan $6/7 \theta$, hubungan ini terjadi pada semua jenis turbin.



Gambar 10. Pengaruh Kedalaman Rendaman Terhadap Efisiensi Pada Turbin Datar dengan jumlah sudu 7

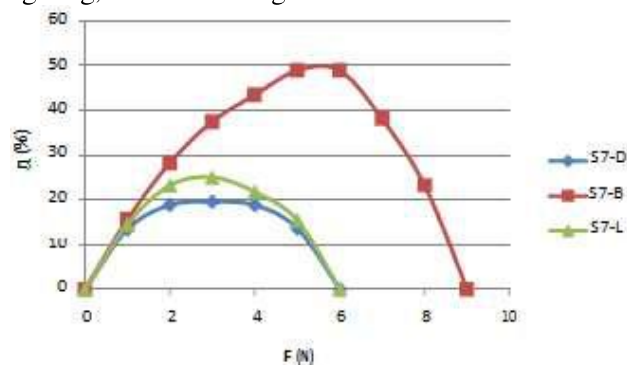
Pada gambar 10, besarnya efisiensi turbin berdasarkan pengaruh kedalaman rendaman adalah pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ efisiensinya 19,54 - 60,80 % dengan rata-rata 39,09 %, kedalaman rendaman $4/7 \theta$ efisiensinya 10,13 - 25,97 % dengan rata-rata 15,84 %, dan kedalaman rendaman $6/7 \theta$ efisiensinya 1,93 - 4,71 % dengan rata-rata 3,14 %.



Gambar 11. Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Efisiensi Pada Turbin Datar dengan Kedalaman Rendaman $2/7 \theta$

Gambar 11 memperlihatkan pengaruh jumlah sudu terhadap efisiensi pada turbin roda air datar dengan kedalaman rendaman $2/7 \theta$, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 10 dan 7, pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 10, 13 dan 7. Pada turbin bengkok untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 13 dan 10, dan pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13. Pada turbin lengkung untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ dan $4/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 7, 10 dan 13, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jumlah sudu 13, 7 dan 10.

Pada gambar 11, besarnya efisiensi turbin berdasarkan pengaruh jumlah sudu adalah pada jumlah sudu 13 efisiensinya 1,63 - 60,80 % dengan rata-rata 22,32 %, jumlah sudu 10 efisiensinya 1,93 - 45,60 % dengan rata-rata 19,09 %, dan jumlah sudu 7 efisiensinya 2,53 - 48,86 % dengan rata-rata 16,67 %. Gambar 12 memperlihatkan pengaruh jenis sudu terhadap efisiensi pada turbin roda air sudu 7 dengan kedalaman rendaman $2/7 \theta$, terlihat bahwa pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, lengkung dan datar, pada kedalaman rendaman $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jenis sudu bengkok, datar dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 10 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$, $4/7 \theta$ dan $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, bengkok dan lengkung. Pada turbin jumlah sudu 13 untuk kedalaman rendaman $2/7 \theta$ dan $4/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jenis sudu datar, lengkung dan bengkok, dan pada kedalaman rendaman $6/7 \theta$ yang memiliki efisiensi terbesar secara berurut adalah jenis sudu lengkung, datar dan bengkok.



Gambar 12. Pengaruh Jenis Sudu Terhadap Efisiensi Pada Turbin Sudu 7 dengan Kedalaman Rendaman $2/7 \theta$

Pada gambar 12, besarnya efisiensi turbin berdasarkan pengaruh jenis sudu adalah pada jenis sudu datar efisiensinya 3,38 - 60,80 % dengan rata-rata 21,78 %, jenis sudu bengkok efisiensinya 1,69 - 48,86 % dengan rata-rata 20,07 %, dan jenis sudu lengkung efisiensinya 1,93 - 45,60 % dengan rata-rata 16,67 %.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang telah dicapai maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Semakin besar kedalaman rendaman turbin maka efisiensinya semakin kecil dimana pada kedalaman rendaman $2/7 \theta$ efisiensinya 19,54 - 60,80 % dengan rata-rata 39,09 %, kedalaman rendaman $4/7 \theta$ efisiensinya 10,13 - 25,97 % dengan rata-rata 15,84 %, dan kedalaman rendaman $6/7 \theta$ efisiensinya 1,93 - 4,71 % dengan rata-rata 3,14 %.
2. Semakin banyak jumlah sudu maka efisiensinya semakin besar dimana pada jumlah sudu 13 efisiensinya 1,63 - 60,80 % dengan rata-rata 22,32 %, jumlah sudu 10 efisiensinya 1,93 - 45,60 % dengan rata-rata 19,09 %, dan jumlah sudu 7 efisiensinya 2,53 - 48,86 % dengan rata-rata 16,67 %.
3. Jenis sudu turbin yang memiliki kinerja terbaik secara berurut adalah sudu datar, sudu bengkok dan sudu lengkung dimana pada sudu datar efisiensinya 3,38 - 60,80 % dengan rata-rata 21,78 %, sudu bengkok efisiensinya 1,69 - 48,86 % dengan rata-rata 20,07 %, dan sudu lengkung efisiensinya 1,93 - 45,60 % dengan rata-rata 16,67%.

6. REFERENSI

- Abdul K.D., dkk. 2009. *Pedomen Studi Potensi (Pra Studi Kelayakan) Pembangunan PLTMH*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- Dadang K., dkk. 2008. *Pedoman Teknis Standardisasi Peralatan dan Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Integrated Microhydro Development and Application Program (IMIDAP). Direktorat Jenderal Listrik dan Pemanfaatan Energi Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral.
- G.Akhyar Ibrahim, C.H. Che Haran and C. Husua Azhar. _____. *Traditional water wheels as a renewable rural energy*. The online Journal on power and engineering (OJPEE). Department of mechanical and materials engineering, Universiti kebangsaan Malaysia.
- 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
- 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.
- La Ode Musa, Sonong, Akhmad Taufik, 2013, *Pengembangan Turbin Roda Air Memanfaatkan Air Buangan Turbin PLTMH Untuk Penerangan Sekitar Rumah Pembangkit*. Jurnal ATIM. Makassar
- Markandjane. 2003. *The efficiency of overshoot and undershot waterwheels*. E-mail: markandjane@shaw.ca Online at stacks.iop.org/EJP/25/193 (DOI: 10.1088/0143-0807/25/2/006) Canada.
- Noria Al-Muhammadiyah. 2005. *Rediscovering The Waterwheel*. Asme International Historic Lanmark By. Mahmud Samma. ASME Nortwest Haouston Subsection Meeting.
- 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.
- 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.