PEMBANGUNAN PEMBANGKIT TENAGA MIKROHIDRO MODEL BAK (PTMMB) PENGGERAK MESIN PENGGILING TEPUNG

Oleh :

Asep Neris Bachtiar [1], Trisna Putra [2] dan Hariadi [3]

Dosen Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang [1]
Dosen Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Sumatera Barat [2 dan 3]
Email : asepnb1963@yahoo.co.id

Abstract

Researchers in this study will make it back first mover cross flow turbines with larger dimensions and construction of different power system compared with the first year of study. Sedative tub built with brick-concrete construction also functions as a pipe or penstok so rapidly or loses pressure loss is relatively smaller. Thus this generation systems dinamakam micro hydro Power Wagon Model (PTMMB) are used as flour grinding machine mover. PTMMB relatively cheaper investment and implementation in the field relatively quickly, all these advantages into solution in accelerating the spread and development of micro-hydro power plant to the next. By utilizing a head of 1.5 m and a discharge of 100 l / s, projected another plant can generate power of 1,272 kW. From the test results show that the data are encouraging real turbine efficiency is 86.5% greater than the efficiency of plan / assumption is 85%, and thus the quality of early mover Cross Flow turbines are built quite satisfactory and can be proud of. Generating system efficiency measured above 70% which is 76.1% and the productivity of grinding machine at 100% valve opening position is 50 kg / h, which is quite large productivity is very helpful in increasing the production of grinding

Keywords : *Micro hydro, Cross flow, PTMMB*

PENDAHULUAN

Sesuai dengan tahapan penelitian seperti dijelaskan pada proposal penelitian sebelumnya, maka orientasi penelitian pada periode tahun kedua Penelitian Hibah Bersaing ini lebih ditekankan pada bagaimana pemanfaatan/ pendayagunaan secara optimal potensi daya yang dibangkitkan sistem PTMMB. Tahap awal kegiatan penelitian adalah melakukan survey ke lapangan untuk mengetahui potensi hasil pertanian yang dapat diolah. Tahap selanjutnya adalah perencanaan dan pembuatan penggerak mula, pembangunan rumah pembangkit dan bangunan air, pengadaan mesin penggiling, sistem transmisi, dan peralatan pendukung lainnya. Semua peralatan mekanik dibawa ke lapangan untuk dipasang pada bangunan sipil yang telah disiapkan sebelumnya, tahap selanjutnya adalah pengujian atau evaluasi terhadap prestasi dari masing-masing unit mesin dan peralatan pendukungnya antara lain uji kebocoran (%), efisiensi penggerak mula (%), efisiensi sistem pembangkit (%), dan produktivitas mesin produksi/ penggiling (kg/jam). Memperhatikan uraian di atas maka dapat disimpulkan identifikasi masalah yang melatarbelakangi konsep penelitian dan pemilihan judul penelitian ini yaitu :

1. Umumnya pembangkit mikrohidro yang dibangun masyarakat menggunakan pipa pesat yang cukup panjang untuk mengantarkan air dari bak penenang ke dalam turbin sehingga biaya investasi relatif lebih mahal, hal ini menjadi kendala dalam penyebaran dan pengembangan pembangkit mikrohidro di masyarakat.
2. Potensi air skala kecil di pedesaan cukup banyak tetapi pemanfaatannya sebagai sumber pembangkit energi masih relatif sedikit, untuk itu perlu dipikirkan bagaimana mewujudkan sistem pembangkit yang praktis, mudah dan murah agar kita dapat mendayagunakan semua potensi air tersebut dengan sebaik-baiknya.

3. Kontruksi bangunan PTMMB berbeda dengan sistem pembangkit konvensional umumnya, dengan demikian dalam mewujudkannya perlu perencanaan yang tepat untuk menghasilkan efisiensi sistem pembangkit yang tinggi.

Sasaran akhir penelitian ini adalah mencari jawab dari rumusan masalah berikut ini yakni :

1. Bagaimana dapat menghasilkan rancangan dan mewujudkan komponen-komponen PTMMB serta merakitnya menjadi sistem PTMMB yang siap diuji untuk menggerakan mesin penggiling.
2. Dari hasil pengujian ingin diketahui berapa % efisiensi Turbin Cross Flow sebagai penggerak mula sistem PTMMB ?, berapa % efisiensi sistem PTMMB yang dibangun ? dan berapa kg/jam produktivitas mesin penggiling ?

TINJAUAN PUSTAKA

Berikut studi pustaka yang relevan dalam bentuk artikel jurnal ilmiah, laporan penelitian yang berkaitan dengan topik bahasan PTMMB yang secara umum mereka membahas tentang sistem pembangkit tenaga mikrohidro dari sisi pendalaman yang berbeda.

Enoh (2010) menjelaskan bahwa tujuan penelitian ini adalah untuk mewujudkan sebuah unit Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) yang digunakan untuk pembangkit listrik pedesaan di Desa Batu Sanggan, Kabupaten Kampar, Provinsi Riau. Hasil penelitian menunjukan bahwa PLTM dapat dibangun sesuai dengan jadwal walau dalam beberapa hal teknis terdapat kekurangan mengingat lokasi PLTM yang terisolir. Untuk mencapai lokasi PLTM dibutuhkan waktu sekitar 1 jam menyusuri Sungai Sanggan dengan menggunakan perahu motor. Penggerak mula yang digunakan adalah turbin cross flow yang dibuat sendiri oleh peneliti. Dengan memanfaatkan debit air 336 liter/detik dan *head* aktual 16,5 meter dapat dibangkitkan daya 40 kW pada putaran turbin 350 rpm. Spesifikasi komponen pembangkit lainnya adalah pipa pesat yang digunakan berdiameter 70 cm, transmisi daya menggunakan V belt dengan ratio 1 : 4,25, generator AC tiga phasa kapasitas 45 kVA pada putaran 1500 rpm, sistem pengatur katup masih manual. Hasil pengujian menunjukan, kemampuan sarana pengadaan air mencapai rata-rata 95%, turbin dan kelengkapannya mencapai 75%, generator dan kelengkapannya mencapai 92%, rumah pembangkit 98%, jaringan listrik 95% dan efisiensi turbin 81%.

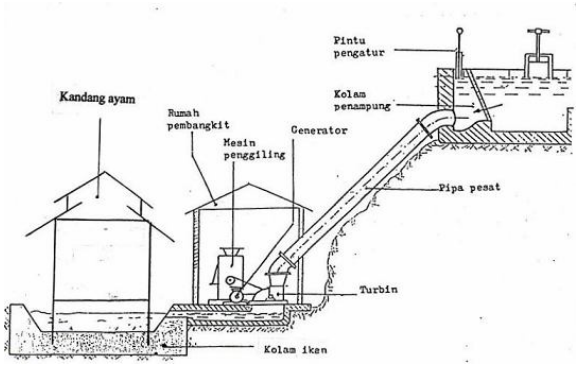
Dinas Pertambangan dan Energi Pemerintah Kabupaten Pasaman (2007) menjelaskan tentang tahapan- tahapan, proses analisis dan kesimpulan layak tidaknya PLTM dibangun di Jorong Tarantang Tunggang, Kanagarian Binjai, Kecamatan Tigo Nagari, Kabupaten Pasaman. Kegiatan studi kelayakan diawali dengan desk studi, pengumpulan data sekunder, survey lapangan (topografi, geoteknik, hidrologi, kelistrikan dan sosial-ekonomi-budaya) dan dilanjutkan dengan proses analisis dan perhitungan. Dari hasil analisis dan perhitungan diketahui bahwa Sungai Naliak Gadang dengan debit air 0,9 m^3/detik dapat dimanfaatkan untuk pembangunan PLTM di sana, prasarana yang harus dibangun ialah bendungan, intake, saluran pembawa/kanal dapat memanfaatkan saluran irigasi yang ada sepanjang 162 m, bak penenang dan rumah pembangkit. Secara teknis pembangunan PLTM Jorong Tarantang Tunggang layak untuk dilaksanakan, dengan debit rencana masuk turbin 0,56 m^3/detik, head 10 m, diameter pipa pesat 58 cm, maka daya yang dapat dibangkitkan sekitar 30 kW yang dapat mensuplai sebahagian besar kebutuhan listrik Jorong Tarantang Tunggang yang berjumlah sekitar 117 kepala keluarga. Sampai saat ini jaringan listrik PLN belum sampai ke daerah ini, selama ini masyarakat menggunakan 6 buah diesel untuk memenuhi kebutuhan penerangannya, tetapi sejak harga bahan bakar minyak cukup mahal hanya satu diesel yang dioperasikan. Maka dengan pengoperasian PLTM di Jorong Tarantang Tunggang masyarakat akan menikmati energi listrik yang murah dan ke depan tidak hanya untuk memenuhi kebutuhan listrik saja tetapi PLTM juga berpotensi untuk mendorong kegiatan ekonomi produktif melalui

program *Community and Bussines Development Service* dengan hasil yang lebih baik

Bachtiar (2005) merumuskan konsep PLTM Terpadu yang diorientasikan sebagai alternatif yang tepat dalam pendayagunaan sumber daya air di pedesaan untuk pembangunan. Dengan segala peralatan dan perlengkapannya PLTM Terpadu akan menghasilkan energi listrik yang murah dan dipadu dengan tiga usaha lain yaitu penggilingan hasil pertanian, perikanan air deras dan peternakan ayam yang berada dalam satu lokasi dan memiliki keterkaitan kepentingan yang sangat erat. Keterkaitan itu diantaranya pertama, fungsi PLTM disamping sebagai penggerak generator listrik juga pada siang hari dapat digunakan untuk menggerakan mesin penggiling hasil pertanian.

Kedua, air yang keluar dari PLTM Terpadu dapat dimanfaatkan kembali untuk usaha perikanan air deras. Ketiga, kotoran dan pakan ternak yang tercecer akan jatuh dan masuk ke kolam dan menjadi makanan ikan. Keempat, listrik yang dihasilkan PLTM disamping untuk penerangan desa juga dapat digunakan untuk penetasan dan pemanasan anak-anak ayam. PLTM Terpadu ini direncanakan dibangun pada daerah aliran Batang Air Rau yaitu sebuah anak sungai yang melalui Kampung Air Rau, Desa VI Koto Utara, Kecamatan Kinali, Kabupaten Pasaman. Persyaratan teknis yang terpenuhi dan potensi ekonomi yang dimiliki desa sangat mendukung pada pembangunan PLTM Terpadu ini.

Diharapkan keberhasilan pembangunan PLTM Terpadu nantinya akan menjadi proyek percontohan yang dapat merangsang penduduk desa lainnya untuk membangun PLTM Terpadu di tempat masing-masing. Gambar berikut menjelaskan hasil rancangan sistem PLTM Terpadu.



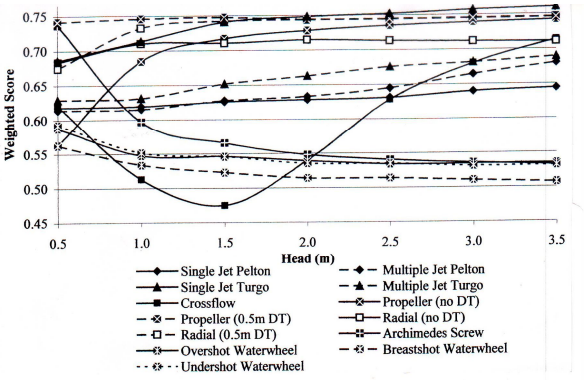
Gambar 1. Sistem PLTMH terpadu (Bachtiar. 2005).

Williamson, S.J. et al (2011) melalui penelitiannya berhasil memberikan informasi penting yang detail tentang spesifikasi macam-macam penggerak mula untuk pembangkit piko hidro (daya bangkit kurang dari 5 kW) termasuk semua tipe kincir air. Ketiga peneliti berhasil merekomendasikan syarat-syarat pengoperasian masing-masing turbin untuk meningkatkan effisiensi khususnya pengoperasian dan pemilihan tipe turbin air yang tepat untuk head rendah. Untuk lebih jelasnya berikut kami tampilkan ringkasan dari makalah yang ditulis oleh ketiga peneliti di atas. Gambar 3. (a) menunjukkan bahwa turbin reaksi memiliki kemampuan daya bangkit yang unggul. Jika head meningkat, maka daya bangkit dari turbin impuls dan kincir air atau waterwheels meningkat, sementara turbin screw menurun. Solusi untuk meningkatkan volume sembur dari jet pada turbin pelton dan turbin turgo adalah melakukan perubahan ukuran pipa pesat. Effisiensi dari turbin impuls jet tunggal lebih unggul dibanding turbin lain seperti ditunjukkan pada Gambar 3. (c).

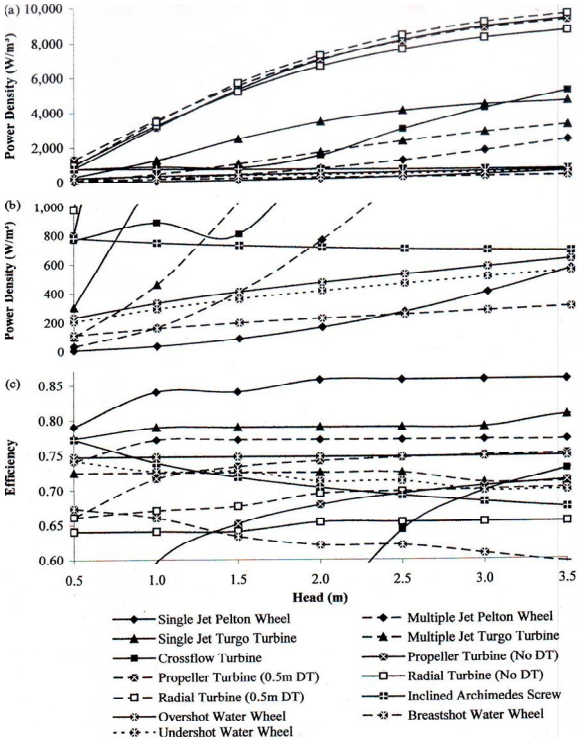
Pada turbin impuls, jika head meningkat maka kecepatan runner ikut meningkat sehingga tidak membutuhkan sistem transmisi seperti gearbox, akibatnya effisiensi sistem turbin ikut meningkat. Gambar 4. menunjukkan variasi nilai skor untuk rentang head, dan turbin propeller dengan *draft tube* adalah yang paling cocok untuk *head* antara 0,5 dan 1,5 m, sedang untuk turbin Turgo single jet solusi terbaik dioperasikan untuk *head* diatas 1,5 m. Turbin propeller dan turbin radial dengan

tabung siput memiliki skor hampir sama dengan turbin turgo jet tunggal untuk head di atas 1,5 m. Hasil analisis merekomendasikan turbin reaksi sangat diharapkan untuk dioperasikan pada *head* rendah dan untuk pembangkit komersial dapat mengembangkan turbin propeller yang dilengkapi dengan *draft tube*. Hasil analisis yang mengejutkan adalah turbin turgo yang biasanya hanya digunakan pada *head* sedang ternyata dapat juga dioperasikan pada head tinggi seperti yang ditunjukkan dalam grafik pada Gambar 4, hal ini sesuai dengan pernyataan dalam beberapa literatur seperti Paish (2002).

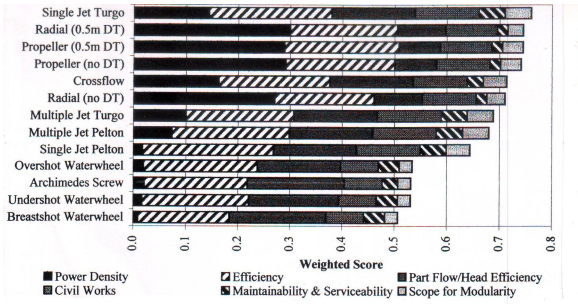
Namun, Harvey (1993) menjelaskan bahwa turbin pelton, dan turbin turgo dapat dioperasikan pada head rendah dengan konsekwensi kecepatan runner menjadi rendah. Penelitian ini merupakan bagian dari proyek pengembangan potensi air head rendah untuk sistem piko hidro *off-grid*. Pemilihan turbin adalah tahap awal penelitian yang strategis untuk menentukan pilihan teknologi berikutnya yang tepat. Makalah ini menyajikan sebuah metode dalam menentukan sistem pembangkit piko hidro head rendah melalui analisis multi kriteria baik secara kuantitatif maupun kualitatif. Dengan menggunakan metode ini, diketahui turbin propeller yang dilengkapi dengan *draft tube* dan turbin turgo dengan *single jet* terbukti menjadi solusi terbaik sebagai penggerak mula yang tepat.



Gambar 2. Bobot skor untuk 13 pilihan turbin untuk rentang head 0,5 m sampai 3,5 m.



Gambar 3. Output dari analisis kuantitatif: (a) kerapatan daya (b) kerapatan daya diperbesar pada *head* rendah (c) variasi efisiensi selama rentang *head* 0,5 m sampai 3,5 m, (DT = *Draft Tube*).



Gambar 4. Nilai skor pada *head* 3,5 m untuk 13 pilihan turbin dengan capaian dari masing-masing kriteria seleksi yang berbeda.

METODA PENELITIAN

Jenis penelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian ekperimen dengan materi penelitian mencakup tahapan studi pustaka, survey lapangan, merancang, membuat gambar kerja, proses manufaktur dan pengujian sebagai komponen penting pembangkit tenaga mikrohidro yang dibangun. Jenis data yang akan menjadi acuan adalah data primer hasil survey lapangan.

Data- data tersebut selanjutnya diolah melalui formula-formula perencanaan elemen mesin dan hasil dari perencanaan akan dijadikan pedoman dalam proses manufaktur untuk mewujudkan sistem penggerak mula yang lengkap dan merakitnya ke sistem PTMMB. Pengujian adalah tahap akhir yang dilaksanakan di lapangan untuk mengetahui efisiensi sistem PTMMB, prestasi kemampuan masing-masing komponen turbin dan khususnya efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow. Lokasi pembangunan dan pengujian PTMMB adalah pada lokasi kincir air penumbuk tepung beralamat di Jl. Durian Tarung, Kecamatan Pauh, Kota Padang. PTMMB dibangun tepat disamping roda kincir yang masih aktif beroperasi.

Gambar 5. Saluran pengantar air masuk turbin yang dalam tahap penyelesaian dibangun disamping kincir air yang masih beroperasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi hasil perencanaan penggerak mula Turbin Cross Flow untuk sistem PTMMB adalah,

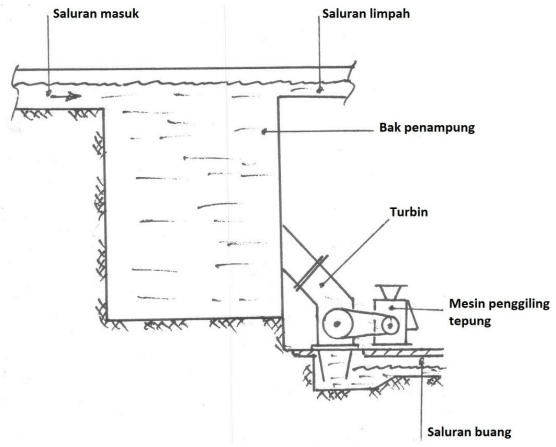
1. Jenis turbin	: Cross Flow
2. Daya bangkit turbin	: 1,272 kW
3. Putaran turbin	: 310 rpm
4. *Head* turbin	: 1,5 m
5. Debit turbin	: 100 liter/detik
6. Diameter runner	: 160 mm

Gambar 6. Runner turbin cross flow yang selesai dirakit.

Gambar 7. Sistem penggerak turbin cross flow, tampak posisi runner, regulator dan draft tube saat terpasang pada casing turbin.

1. Uji Efisiensi Sistem Pembangkit

Instalasi sistem PTMMB adalah seperti dijelaskan gambar berikut.



Gambar 8. Instalasi Sistem PTMMB.

Dalam pengujian efisiensi sistem pembangkit, sistem PTMMB digunakan untuk menggerakan mesin penggiling tepung dengan debit maksimum air masuk turbin 100 lt/det. Dan dengan pengukuran menggunakan torsimeter dengan mekanisme pengereman diketahui daya yang terjadi pada poros mesin penggiling adalah 1,120 kW. Selanjutnya efisiensi sistem pembangkit (η_{sp}) dapat diketahui dengan rumus,

$\eta_{sp} = (N_g / N_p) . 100\%$
N_g = daya yang terukur pada poros mesin penggiling = 1,120 kW
N_p = daya potensi air yang dapat dibangkitkan dengan kondisi debit riil maksimum 100 lt/det
$N_p = \rho_{air} . g . Q_t . H_t$
ρ_{air} = rapat massa air = 1.000 kg/m^3
Q_t = debit riil turbin = 100 lt/det = 0,1 m^3/det
H_t = head turbin = 1,5 m

Maka,

N_p =1000 kg/m^3 . 9,81 m/det^2 . 0,1 m^3/det . 1,5 m
N_p = 1,470 kW
Maka efisiensi riil sistem pembangkit dengan penggerak mula Turbin Cross Flow adalah,

η_{sp} = (1,120 kW / 1,470 kW) . 100%
η_{sp} = 76,1%

Gambar 9. Penggalian tanah di ujung saluran pengantar untuk pembangunan bak penenang.

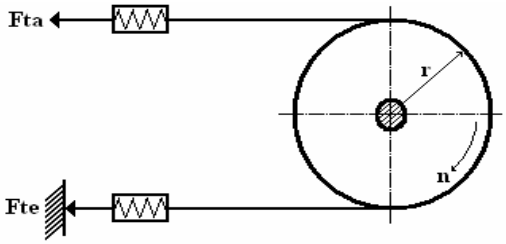
Gambar 10. Bak penenang yang sekaligus berfungsi sebagai pipa pesat selesai dibangun yang dilengkapi dengan saringan dan pintu pengatur.

Gambar 11. Di ujung saluran masuk tampak bak penenang, saluran limpah dan rumah pembangkit.

2. Uji Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow.

Pengujian efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow dilakukan dengan mekanisme pengeremen guna mengetahui torsi yang dibangkitkan runner turbin.Komponen penting dalam proses pengereman adalah belt atau tali rem yang dipasang melingkari setengah lingkaran puli atau sudut kontak $\theta = 180^0$. Kedua ujung belt dihubungkan dengan timbangan pegas, salah satu pengait timbangan pegas tersebut dipasang tetap sementara pengait timbangan satu lagi akan mendapat perlakuan tarik. Pada proses pengereman, akan timbul gaya tarik F_{ta} dan gaya tekan $F_{te,}$ selisih antara F_{ta} dan F_{te} itulah gaya pengereman atau gaya gesek (F_g). Nilai F_{ta} dan F_{te} yang dijadikan acuan dalam pengukuran ialah pada posisi sesaat runner turbin berhenti berputar. Selanjutnya torsi yang terjadi dapat dicari dengan rumus,

$T = F_g . r$
r = jari-jari puli turbin
r = 300 mm/2 = 0,15 m

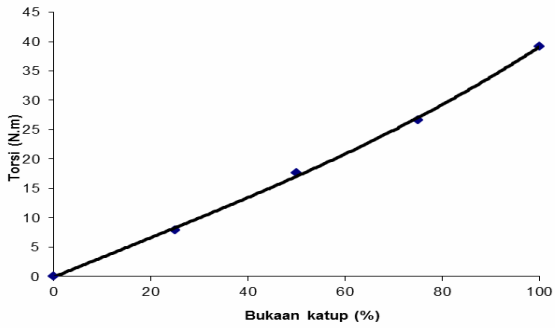


Gambar 12. Pengukuran Torsi dengan Mekanisme Pengereman.

Dari hasil pengujian dengan variasi empat posisi katup didapat karakteristik pengereman puli penggerak mula Turbin Cross Flow sebagai berikut,

Tabel 1. Karakteristik uji pengereman.

No	Posisi Katup Ter-buka (%)	Putaran puli, n (rpm)	Debit Riil Turbin (lt/det)	Gaya Tarik, F_{ta} (N)	Gaya Tekan, F_{te}(N)	Gaya Gesek, F_g (N)	Torsi, T (N.m)
1.	0	0	10	0	0	0	0
2.	25	248	23	73,0	20	53,0	7,95
3.	50	286	48	154,3	37	117,3	17,6
4.	75	296	70	228	50	178,0	26,7
5.	100	310	100	326	65	261,0	39,2



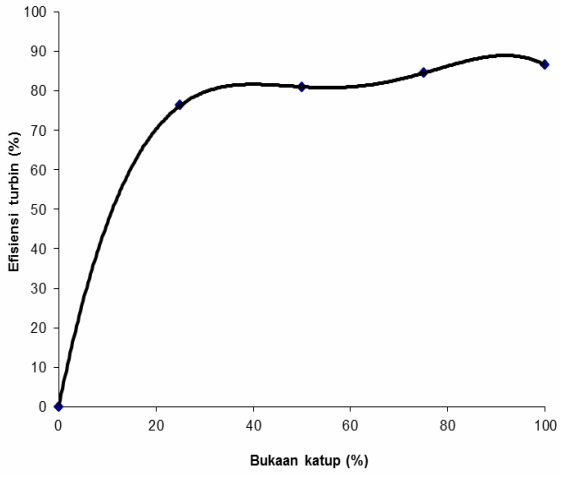
Gambar 13. Torsi yang dibangkitkan turbin untuk empat posisi bukaan katup.

Dari data-data daya riil dan daya potensi selanjutnya dapat ditentukan efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow untuk empat posisi bukaan katup seperti dijelaskan Tabel berikut,

Tabel 2. Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow untuk Empat Posisi Bukaan Katup.

No	Posisi Katup Terbuka (%)	Daya Potensi (Watt)	Daya Riil (Watt)	Efisiensi Penggerak Mula Turbin Cross Flow (%)
1	25	338	258	76,3
2	50	706	571	81,0
3	75	1.030	867	84,2
4	100	1.471	1.272	86,5

Selanjutnya trend atau kecenderungan dari pengaruh perubahan posisi katup terhadap efisiensi penggerak mula Turbin Cross Flow dapat dijelaskan dengan gambar kurva berikut. Dari gambar tersebut ditunjukan hubungan berbanding lurus antara efisiensi dengan pembesaran bukaan katup yang mengakibatkan penambahan debit air masuk turbin yang dinyatakan dalam persentase bukaan katup. Dari hasil pengujian, ternyata pada posisi bukaan katup 100% menunjukan efisiensi turbin yang tertinggi sekitar 86,5%, dan untuk perubahan bukaan katup mulai 50% dan seterusnya menunjukan nilai efisiensi yang relatif tetap



Gambar 14. Trend efisiensi penggerak mula turbin cross flow untuk empat posisi bukaan katup.

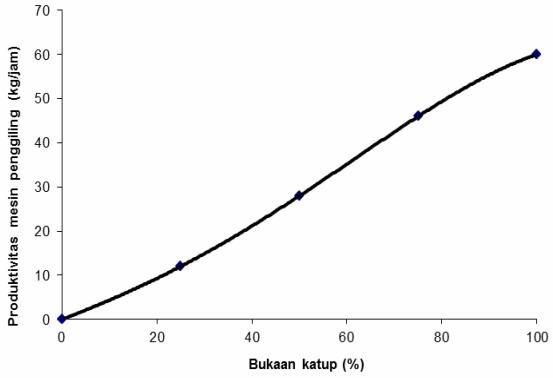
3. Uji Produktivitas Mesin Penggiling

Kinir air yang dioperasikan masyarakat di Kecamatan Pauh, Kota Padang semuanya digunakan untuk menumbuk tepung beras dengan produktivitas yang rendah. Untuk meningkatkan produktivitas tepung yang dihasilkan masyarakat maka daya yang dibangkitkan turbin ini digunakan untuk menggerakan mesin penggiling tepung. Dan dari hasil pengamatan diketahui produktivitas hasil penggilingan adalah seperti dijelaskan tabel berikut,

Tabel 3. Produktivitas Mesin Penggiling untuk Empat Posisi Bukaan Katup.

No	Posisi Katup Terbuka (%)	Waktu Produksi (menit)	Jumlah Tepung yang Dihasil-kan (kg)	Produktivi-tas Mesin Penggiling (kg/jam)
1	25	20	4	12
2	50	20	9,5	28,5
3	75	20	15,5	46,5
4	100	20	20	50

Trend produktivitas mesin penggiling dengan kurva dapat dijelaskan dengan Gambar berikut,



Gambar 15. Produktivitas mesin penggiling untuk empat posisi bukaan katup.

Gambar 16. Didalam rumah pembangkit, tampak puli turbin menggerakkan poros perantara.

Gambar 17. Daya turbin melalui sistem transmisi dua tingkat diteruskan melalui poros perantara untuk menggerakkan mesin penggiiling tepung.

KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukan sistem PTMMB yang dibangun memiliki karakteristik yang tidak jauh berbeda antara hasil perencanaan dengan hasil pengujian riil di lapangan yakni, penggerak mula yang digunakan adalah Turbin Cross Flow, bak penenang yang dibangun berfungsi juga sebagai pipa pesat. Dengan demikian loses tekanan relatif kecil sehingga daya yang dibangkitkan menjadi optimal hingga mampu menggerakan mesin penggiling tepung dengan baik.
2. Dari hasil pengujian menunjukan data primer yang menggembirakan yaitu efisiensi riil turbin adalah 86,5 % lebih besar dari efisiensi rencana/ asumsi yaitu 85 %, dengan demikian maka kwalitas penggerak mula Turbin Cross Flow yang dibangun cukup memuaskan dan dapat dibanggakan. Efisiensi sistem pembangkit yang terukur di atas 70 % yakni 76,1% dan produktivitas mesin penggiling pada posisi bukaan katup 100% adalah 50 kg/ jam, produktivitas yang cukup besar ini sangat membantu peningkatan produksi bagi pengusaha kincir penggiling tepung.

SARAN

Menanggapi tampilan data pengujian di atas, maka untuk pengembangan PTMMB yang lebih baik ke depan, disarankan sebagai berikut :

1. Untuk mempercepat penyebaran teknologi PTMMB ke masyarakat, maka perlu penelitian lanjutan tentang pengadaan paket-paket PTMMB dengan variasi debit dan head sehingga masyarakat dapat dengan mudah mendapatkan spesifikasi turbin yang sesuai dengan potensi air dan head yang ada di lapangan sehingga berbagai potensi air yang ada di pedesaan dapat didayagunakan dengan mudah.
2. Dihasilkannya efisiensi turbin 86,5% adalah awal keberhasilan, perlu tindak lanjut berikutnya yakni identifikasi komponen-komponen penggerak mula yang dapat ditingkatkan kwalitas kemampuannya sehingga efisiensi penggerak mula dapat lebih meningkat lagi. Untuk menghasilkan daya output mesin penggiling yang tidak jauh berbeda dengan daya output turbin, maka perlu penelitian yang lebih mendalam agar dihasilkan perencanaan sistem transmisi dan pemilihan tipe mesin penggiling yang tepat.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Bachtiar, A. N. 2005. *Perencanaan PLTM Terpadu Di Kampung Lambah Air Tabit Kinali Pasaman*. Jurnal Sains dan Teknologi. ISSN 1412-5455. volume 4. Nomor 1, Juni 2005.

[2] Bachtiar, A. N. 2007. *Uji Efisiensi Runner Turbin Cross Flow pada Sudut Masuk* $\theta = 15^0$. Jurnal Momentum, ISSN 1693- 7524 . volume 1. nomor 1. Agustus 2007.

[3] Bachtiar, A.N. 2010. *Rancang Bangun Turbin Cross Flow Sebagai Penggerak Mula Sistem Pembangkit Tenaga Mikrohidro Model Drum (PTMMD).* Jurnal Momentum. ISSN 1693- 7524. Volume 4. nomor 2. Agustus 2010.

[4] Bachtiar, A.N. 2011. *Modifikasi Kincir Air sebagai Penggerak Rice Milling dengan Sistem Pipa Pesat.* Jurnal Menara. ISSN 1693- 2617. Volume II. nomor 20. Pebruari 2011.

[5] Dewan Riset Nasional 2005 *Agenda Riset Nasional* Dewan Riset Nasional Jakarta.

[6] Dietzel, F. 1988. *Turbin. Pompa Dan Kompresor*. Erlangga. Jakarta.

[7] Dinas Pertambangan dan Energi Pemerintah Kabupaten Pasaman. 2007. *Studi Kelayakan Pembangunan PLTM Jorong Tarantang Tunggang Pasaman*.

[8] Enoh, R.M.. 2010. *Laporan Penelitian*. MST-UGM. Jogjakarta.

[9] Giles, R. V.. 1984. *Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Erlangga. Jakarta.

[10] Haimerl, L.A..1960. *The Cross Flow Turbine*. Jerman.

[11] Jagdis. 2005. *Hydraulic Machine*. Metropolitan Book Co Private Ltd. New Delhi.

[12] Khurmi, R.S. 2001 *Machine Design* Eurasia Publishing House (Pvt) LTD. New Delhi.

[13] Meier, Ueli S. 1981. *Local Experience With Micro Hydro Technology*. St Gall. London.

[14] Sutarno. 2007.*Sistem Listrik Mikro Hidro Untuk Kelistrikan Desa*. UGM Yogyakarta. Yogyakarta.

[15] Sularso. 2005. *Elemen Mesin*. Pradnyaparamita. Jakarta.

[16] Wibowo, C. 2005. *Langkah-langkah Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTM)*.MHPP-GTZ. Bandung.

[17] Williamson, S.J. Stark, B.H. and Booker, J.D. 2011. *Low Head Piko Hidro Turbine Selection Using a Multi-Criteria Analysis*. Paper in World Renewable Energy Congress 2011-Sweden.