

RANCANG BANGUN KINCIR AIR SISTEM *KNOCK DOWN* UNTUK PEMENUHAN ENERGI LISTRIK BAGI MASYARAKAT TERISOLIR DI SUMATERA BARAT

Oleh :

Asep Neris Bachtiar dan Gamindra Jauhari

Dosen: Teknik Industri - Sekolah Tinggi Teknologi Industri (STTIND) Padang

Email : asepnb1963@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan gagasan revolusi terhadap sistem kincir air yaitu kincir air yang dapat diurai menjadi beberapa komponen sehingga akan memudahkan pada proses pengangkutan, perakitan dan pemasangan di lapangan. Disamping itu perawatan kincir air akan menjadi relatif lebih mudah karena jika ada salah satu komponen yang rusak maka komponen tersebut dapat mudah dilepas dari roda kincir induk dan dapat segera dibawa ke bengkel untuk diperbaiki. Sistem kincir yang telah dibangun ini dikenal dengan nama Kincir Air Sistem Knock Down disingkat KASKD yang mampu membangkitkan daya lebih besar dibanding kincir kayu yang dioperasikan masyarakat selama ini. Penelitian tahun pertama ini berhasil membangun sistem KASKD sebagai penggerak generator listrik dan akan menjadi salah satu solusi selama ini tentang masalah tidak beroperasinya ribuan kincir air di pedesaan Sumatera Barat. Keberhasilan pembangunan KASKD ini akan menjadi proyek percontohan untuk desa-desa di sekitarnya. Tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian eksperimen ini ialah survey ke lokasi pengujian, perencanaan sistem dan komponen KASKD, proses pembuatan komponen dan perakitan KASKD. Tahap selanjutnya adalah pengujian yang merupakan tahapan terakhir untuk mengetahui prestasi KASKD sebagai luaran dari penelitian ini. Diketahui efisiensi optimal diperoleh pada debit maksimal 150 lt/det yaitu efisiensi penggerak mula KASKD 77,5%, efisiensi transmisi 93%, dan efisiensi sistem KASKD 75%. Direncanakan pada penelitian tahun ke dua nanti KASKD dirancang untuk dua fungsi yaitu pada siang hari difungsikan untuk menggerakkan rice milling dan pada malam hari KASKD difungsikan untuk menggerakkan generator listrik.

Kata kunci : kincir air, knock-down, terisolir

PENDAHULUAN

Menurut data Dinas Pertanian Rakyat DT I Propinsi Sumatera Barat, pada tahun 1974 di Sumatera Barat terdapat 4082 unit kincir air penumbuk padi, pada tahun 1979 jumlahnya menurun menjadi 1619 unit dan pada akhir tahun 1986 hanya tinggal 560 unit lagi (Bappeda Propinsi Sumatera Barat, 1986). Data ini menunjukkan bahwa Sumatera Barat memiliki potensi energi air skala kecil atau piko hidro yang cukup banyak, namun sayang semua potensi energi terbarukan tersebut sekarang tidak dimanfaatkan lagi. Menurunnya jumlah kincir air di Sumatera Barat diantaranya disebabkan kincir air yang dioperasikan sekarang sudah banyak yang tua dan tidak ada lagi peremajaan mengingat bahan baku kayu yang berkualitas untuk membuat kincir baru sangat sulit didapatkan walaupun ada harganya sangat mahal. Salah satu usaha melestarikan teknologi kearifan lokal tersebut adalah dengan mengembangkan kembali kincir-kincir air di pedesaan. Melalui penelitian yang telah dilakukan,

peneliti berhasil membangun kincir air dari bahan plat baja sebagai pengganti kayu yang dibangun dalam bentuk utuh. Namun karena ukurannya yang cukup besar dan cukup berat maka menjadi kesulitan saat pengangkutan dan pemasangan di lapangan, gambar berikut menjelaskan tentang kesulitan-kesulitan tersebut, Mengingat lokasi pembangkit kincir umumnya terdapat di pedesaan terisolir, maka untuk memudahkan pengangkutan dan pemasangannya, peneliti memiliki gagasan membangun kincir air yang dapat dibongkar pasang atau disebut juga sebagai sistem *knock down*.

Dengan sistem *knock down*, KASKD dapat diurai menjadi beberapa komponen kecil dan setelah tiba di lokasi pengujian semua komponen tersebut dirakit, dipasang dan diuji. Ini adalah penelitian tentang kincir air yang realistis yang diharapkan dengan revolusi teknologi tersebut akan memudahkan mobilitas kincir-kincir air ke pedesaan terisolir sehingga akan mendukung program pengembangan kembali kincir air di Sumatera Barat.



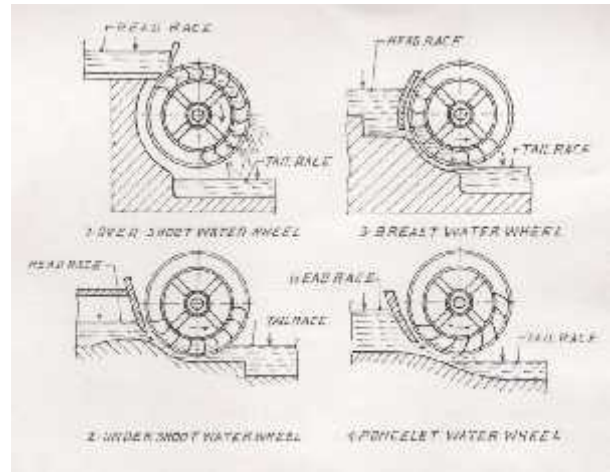
Gambar 1. Ukuran kincir konvensional yang besar dan dibuat utuh (tidak dapat diurai) menjadi kendala saat pengangkutan ke lokasi mitra/pengujian.



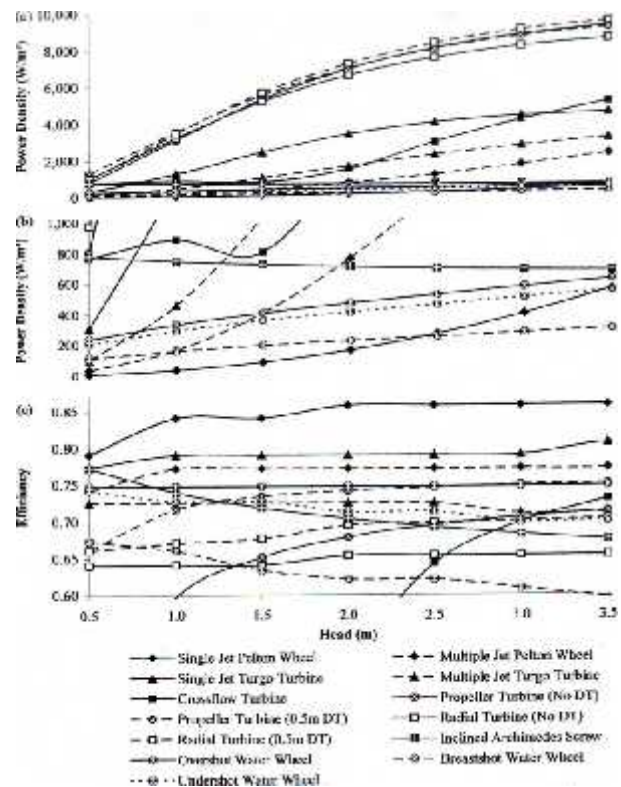
Gambar 2. Masyarakat sedang menurunkan roda kincir dari truk di sekitar lokasi pembangkit.

Tinjauan pustaka dengan topik bahasan yang sejenis kincir air adalah salah satu sub bab yang dapat membackup penyelesaian penelitian ini ke depan dan menjadi acuan yang sangat membantu, memperkaya ide, mempercepat dan meningkatkan pencapaian luaran dari penelitian ini. Berikut studi pustaka yang relevan, mutakhir dalam bentuk artikel jurnal ilmiah, laporan penelitian dan buku yang berkaitan dengan topik bahasan kincir air yang secara umum mereka membahas tentang pembangkit turbin (kincir) air dari sisi pendalaman yang berbeda.

(Jagdish, 2005) dalam bukunya menjelaskan, hasil penelitian para ahli mesin-mesin fluida menetapkan ada empat tipe kincir air yang telah teruji keunggulannya dengan spesifikasi penggunaan yang disesuaikan dengan potensi air dan besar daya yang ingin dibangkitkan yakni tipe *over shoot water wheel*, *under shoot water wheel*, *breast water wheel* dan *tipe poncelet water wheel*.



Gambar 3. Empat macam tipe kincir air (Jagdish, 2005)

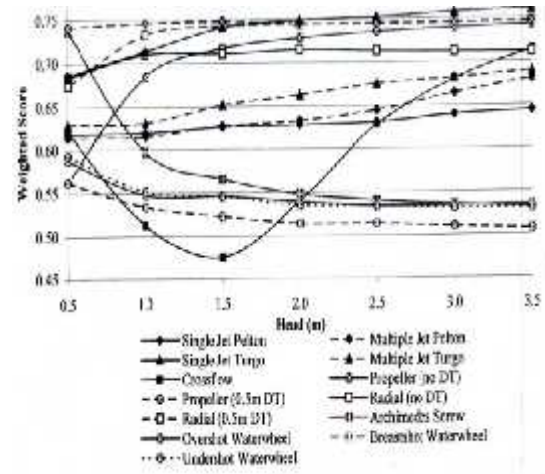


Gambar 4. Luaran dari analisis kuantitatif: (a) kerapatan daya (b) kerapatan daya diperbesar pada head rendah (c) variasi efisiensi selama rentang head 0,5 m sampai 3,5 m, (DT = Draft Tube).

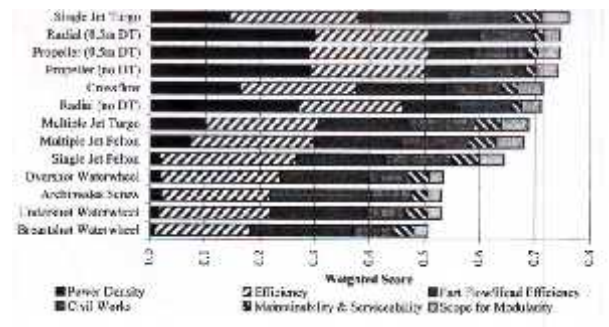
Williamson, S.J. et al (2011) melalui penelitiannya berhasil memberikan informasi penting yang detail tentang spesifikasi macam-macam penggerak mula untuk pembangkit piko hidro (daya bangkit kurang dari 5 kW) termasuk semua tipe kincir air. Ketiga peneliti berhasil merekomendasikan syarat-syarat

pengoperasian masing-masing turbin untuk meningkatkan efisiensi 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 4. 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.

Efisiensi dari turbin impuls jet tunggal lebih unggul dibanding turbin lain seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Pada turbin impuls, jika *head* meningkat maka kecepatan runner ikut meningkat sehingga tidak membutuhkan sistem transmisi seperti gearbox, akibatnya efisiensi sistem turbin ikut meningkat. Gambar 6. 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, 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 konsekuensi 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 5. Bobot skor untuk 13 pilihan turbin untuk rentang *head* 0,5 m sampai 3,5 m



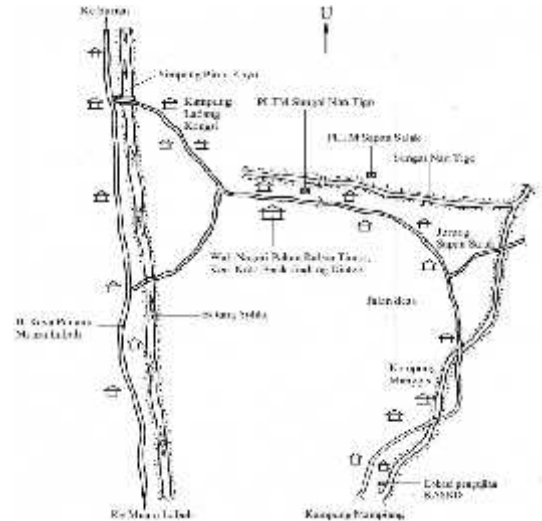
Gambar 6. Nilai skor 13 jenis turbin dengan capaian yang berbeda pada *head* 3,5 m.

METODE PENELITIAN

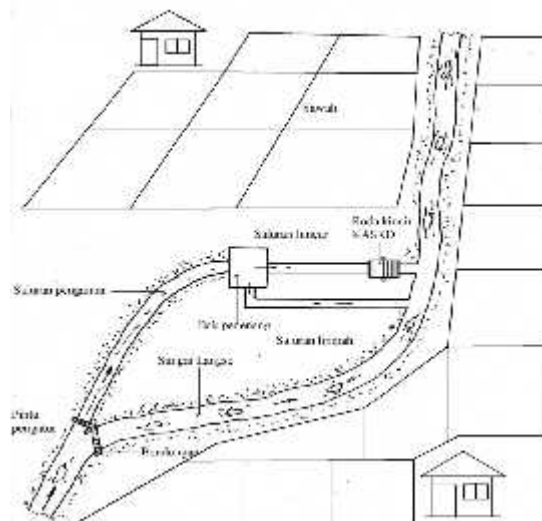
Jenis penelitian yang akan dilaksanakan adalah penelitian eksperimen dengan materi penelitian mencakup tahap survey data ke lokasi pengujian, merancang, membuat gambar kerja, proses manufaktur dan tahap pengujian. Jenis data yang akan menjadi acuan adalah data primer hasil survey. Data-data tersebut selanjutnya diolah melalui formula-formula perencanaan elemen mesin dan gambar besar yang akan dijadikan pedoman dalam proses manufaktur untuk mewujudkan komponen KASKD yang lengkap dan merakitnya menjadi sistem KASKD-mesin produksi yang siap uji. Pengujian adalah tahap akhir yang dilaksanakan di lapangan untuk mengetahui prestasi sistem KASKD mencakup efisiensi penggerak mula KASKD, efisiensi sistem transmisi, dan efisiensi KASKD sebagai pembangkit listrik.

Tahap awal penelitian adalah melakukan studi kepustakaan terhadap jurnal-jurnal ilmiah, laporan penelitian dan buku rujukan lain yang berkaitan dengan topik bahasan KASKD. Tahap berikutnya ialah melakukan perencanaan yang mencakup penentuan sistem KASKD dan menentukan spesifikasi bahan dan ukuran dari komponen-komponen KASKD. Hasil perencanaan selanjutnya dibakukan dan dikonversikan ke bentuk gambar mesin. Tahap selanjutnya adalah optimalisasi peralatan bengkel/ laboratorium proses produksi dan pengadaan alat dan bahan yang dibutuhkan, maka dimulailah proses pembuatan komponen-komponen KASKD. Setelah semua komponen sistem KASKD diproduksi dengan baik, selanjutnya dilakukan perakitan pendahuluan untuk mengetahui kesesuaian, kecocokan dan keserasian fungsi serta penampilan dari sistem KASKD. Proses penyempurnaan akan dilakukan saat itu juga hingga akhirnya dihasilkan sistem dan komponen KASKD yang optimal untuk siap dibawa ke lapangan. Di lapangan inilah dilakukan pengujian perdana untuk mengetahui indikator-indikator prestasi sistem KASKD. Yang menjadi indikator capaian terukur luaran dari penelitian ini diantaranya ialah daya yang dapat dibangkitkan KASKD (kW), putaran runner pada posisi debit dan beban maksimum (rpm), dan efisiensi penggerak mula KASKD.

Lokasi pengujian KASKD dilaksanakan pada lokasi kincir milik Bapak Irwansyah yang beralamat di Kampung Mamping, Jorong Manggis Kanagarian Pakan Rabaa Timur, Solok Selatan Sumatera Barat. Kincir air milik Bapak Irwansyah ini difungsikan sebagai penggerak generator listrik namun dalam empat tahun ini kincir kayu tersebut rusak akibat banjir bandang yang terjadi pada tahun 2011. Kincir kayu yang telah rusak tersebut diganti dengan KASKD yang diharapkan dapat meningkatkan daya bangkit serta pemanfaatannya yang optimal sebagai pembangkit listrik.



Gambar 7. Peta sekitar Kampung Mamping, Jorong Manggis, Nagari Pakan Rabaa Timur, di sini lokasi pengujian prestasi KASKD dilaksanakan



Gambar 8. Lay out di sekitar lokasi pengujian prestasi KASKD

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem KASKD dirancang mudah dan praktis baik pada proses pembuatan, perakitan dan pengoperasiannya. Jika suatu saat di lokasi pengujian sekarang tidak memungkinkan lagi dioperasikan misalnya akibat terjadi bencana alam seperti banjir atau longsor, maka sistem KASKD dapat dibuka/ dibongkar kembali untuk dipindahkan ke lokasi baru. Untuk itu sistem KASKD dirancang dapat dibongkar pasang, antara frame poros perantara dengan frame mesin

penggiling dibuat terpisah sehingga memudahkan pada saat pengangkutan dan pemasangannya seperti dijelaskan gambar-gambar berikut.



Gambar 9. Roda kincir sistem *knock down*, tampak proses penyambungan sudu-sudu dengan ring utama dengan menggunakan sambungan baut-mur.

Prosedur Pengujian.

Prosedur pengujian sistem KASKD adalah sebagai berikut:

- Periksa semua komponen KASKD telah siap untuk dilakukan pengujian mulai dari bendungan, saringan, saluran pengantar, saluran lurus, saluran buang, penggerak mula KASKD, alat ukur torsi dengan mekanisme pengereman.
- Pasang papan penghadang pada pintu saluran limbah di sekitar bendungan.
- Angkat papan penghadang pada mulut saluran masuk hingga air mengalir melalui saluran pengantar dan air masuk ke runner kincir.
- Cek dan perhatikan jika ada kebocoran pada masing-masing pintu masuk dan keluar, catat posisi dan potensi kebocoran jika ada.
- Atur debit air masuk kincir dengan variasi posisi 25%, 50%, 75% dan debit penuh (100%).
- Ukur dengan tachometer kecepatan sudut poros kincir, poros perantara, dan poros mesin produksi. Selanjutnya ukur dengan torsimeter besar torsi pada poros kincir dan torsi pada poros mesin produksi pada keempat posisi debit.
- Catat kendala dan kemudahan yang ditemui selama proses pengujian.
- Tabulasi data adalah proses selanjutnya dari proses pengujian sebagai acuan dalam memberikan kesimpulan dan rekomendasi terhadap KASKD ke depan.



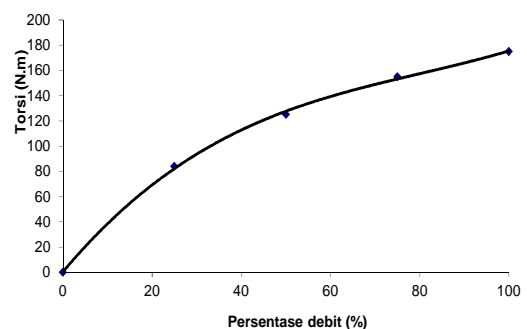
Gambar 10. Pemasangan ring utama yang kedua di atas susunan sudu-sudu menggunakan sambungan baut-mur.

Uji Efisiensi Penggerak Mula KASKD

Dari hasil pengujian dengan variasi empat posisi katup didapat karakteristik pengereman puli penggerak mula KASKD sebagai berikut:

Tabel 1. Karakteristik uji pengereman

No	Posisi Debit (%)	Putaran Puli, n (rpm)	Debit Riil KASKD (lt/det)	Gaya Tarik, F_{ta} (N)	Gaya Tekan, F_{te} (N)	Gaya Gesek, F_g (N)	Torsi, T (N.m)
1	25	60	37	330	30	300	84
2	50	80	75	490	40	450	125
3	75	100	112	606	50	556	155
4	100	120	150	685	60	625	175



Gambar 11. Kurva torsi yang dibangkitkan penggerak mula KASKD untuk empat persentase debit

Selanjutnya dijelaskan langkah-langkah dalam menentukan besar daya riil yang dibangkitkan penggerak mula KASKD untuk empat persentase debit (lihat Tabel 2.) yaitu:

a. **Posisi debit 25%**

$$T_1 = F_{g1} \cdot r$$

$$T_1 = 300 \text{ N} \cdot 0,28 \text{ m}$$

$$T_1 = 84 \text{ N.m}$$

$$N_1 = 2 \cdot n_1 \cdot T_1$$

$$N_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \text{ rpm} \cdot 84 \text{ N.m}$$

$$N_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 60 \text{ put} \cdot 84 \text{ N.m} / 60 \text{ s}$$

$$N_1 = 525 \text{ N.m/s}$$

$$N_1 = 0,525 \text{ kW}$$

b. **Posisi debit 50%**

$$T_2 = F_{g2} \cdot r$$

$$T_2 = 450 \text{ N} \cdot 0,28 \text{ m}$$

$$T_2 = 125 \text{ N.m}$$

$$N_2 = 2 \cdot n_2 \cdot T_2$$

$$N_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 32 \text{ rpm} \cdot 125 \text{ N.m}$$

$$N_2 = 1,05 \text{ kW}$$

c. **Posisi debit 75%**

$$T_3 = F_{g3} \cdot r$$

$$T_3 = 556 \text{ N} \cdot 0,28 \text{ m}$$

$$T_3 = 155 \text{ N.m}$$

$$N_3 = 2 \cdot n_3 \cdot T_3$$

$$N_3 = 2 \cdot 3,14 \cdot 100 \text{ rpm} \cdot 155 \text{ N.m}$$

$$N_3 = 1,63 \text{ kW}$$

d. **Posisi debit 100%**

$$T_4 = F_{g4} \cdot r$$

$$T_4 = 625 \text{ N} \cdot 0,28 \text{ m}$$

$$T_4 = 175 \text{ N.m}$$

$$N_4 = 2 \cdot n_4 \cdot T_4$$

$$N_4 = 2 \cdot 3,14 \cdot 120 \text{ rpm} \cdot 175 \text{ N.m}$$

$$N_4 = 2,2 \text{ kW}$$

Sementara daya potensi air atau daya teoritis penggerak mula KASKD untuk empat posisi persentase debit air adalah:

a. **Posisi debit 25%**

$$N_{p1} = \rho_{\text{air}} \cdot g \cdot Q_1 \cdot H_t$$

$$N_{p1} = 1.000 \text{ kg/m}^3 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,037 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 2 \text{ m}$$

$$N_{p1} = 725 \text{ Watt}$$

b. **Posisi debit 50% (0,075 m³/s)**

$$N_{p2} = 1450 \text{ Watt}$$

c. **Posisi debit 75% (0,112 m³/s)**

$$N_{p3} = 2200 \text{ Watt}$$

d. **Posisi debit 100% (0,15 m³/s)**

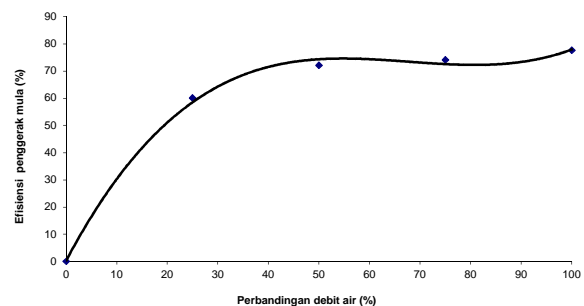
$$N_{p4} = 2850 \text{ Watt}$$

Dari data-data daya riil dan daya potensi tersebut selanjutnya dapat ditentukan efisiensi penggerak mula KASKD untuk empat posisi debit air seperti dijelaskan Tabel 2.

Tabel 2. Efisiensi penggerak mula KASKD untuk empat persentase debit air masuk kincir

No	Persentase Debit Air (%)	Daya Potensi (Watt)	Daya Riil (Watt)	Efisiensi Penggerak Mula KASKD (%)
1	25	725	535	60
2	50	1450	1050	72
3	75	2200	1630	74
4	100	2850	2200	77,5

Selanjutnya trend atau kecenderungan dari pengaruh perubahan debit terhadap efisiensi penggerak mula KASKD dapat dijelaskan dengan gambar kurva berikut. Dari gambar tersebut ditunjukkan hubungan berbanding lurus antara efisiensi dengan penambahan debit air masuk kincir yang dinyatakan dalam persentase posisi debit. Dari hasil pengujian, ternyata pada posisi debit 100% menunjukkan efisiensi KASKD yang tertinggi sekitar 77,5 %, dan untuk perubahan persentase debit mulai 50% dan seterusnya menunjukkan nilai efisiensi yang relatif tetap seperti dijelaskan Gambar 12.



Gambar 12. Kurva trend efisiensi penggerak mula KASKD untuk empat persentase debit



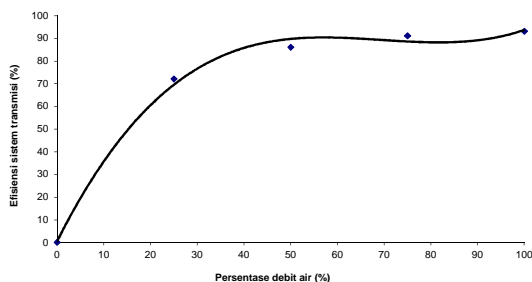
Gambar 13. Penguatan sambungan baut-mur setelah roda kincir dalam posisi berdiri

Uji Efisiensi Sistem Transmisi KASKD

Pengujian efisiensi sistem transmisi KASKD dilakukan dengan mekanisme pengereman guna mengetahui torsi yang dibangkitkan runner kincir dan torsi yang terjadi pada poros generator. Efisiensi sistem transmisi dapat diketahui dengan membandingkan antara daya pada poros generator dengan daya yang dibangkitkan runner kincir seperti dijelaskan Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi sistem transmisi KASKD untuk empat persentase debit

No	Persentase Debit Air (%)	Daya Poros Kincir (Watt)	Daya Poros Generator (Watt)	Efisiensi Sistem Transmisi KASKD (%)
1	25	535	385	72
2	50	1050	900	86
3	75	1630	1500	91
4	100	2200	2050	93



Gambar 14. Kurva efisiensi sistem transmisi KASKD untuk empat persentase debit



Gambar 15. Kontruksi roda kincir KASKD yang telah dirakit dan telah terpasang di dalam rumah pembangkit dan siap dioperasikan, tampak banyak baut-mur yang digunakan untuk sistem penyambungan.

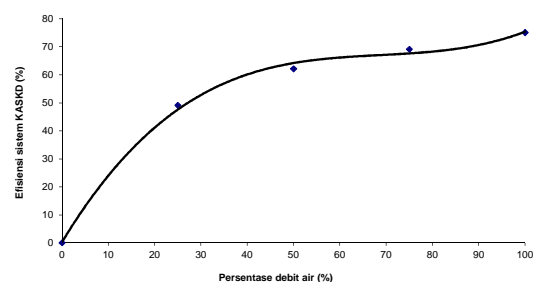
Uji Efisiensi Sistem KASKD

Efisiensi sistem KASKD dapat diketahui dari perbandingan antara daya listrik yang keluar dari generator dengan daya bangkit kincir. Dan dari hasil pengamatan diketahui produktivitas hasil penggilingan adalah seperti dijelaskan Tabel 4.

Tabel 4. Efisiensi sistem KASKD untuk empat persentase debit

No	Persentase Debit Air Masuk Kincir (%)	Daya Bangkit KASKD (kW)	Daya listrik Yang Keluar Dari Generator (kW)	Efisiensi Sistem KASKD (%)
1.	25	535	265	49
2.	50	1050	650	62
3.	75	1635	1130	69
4.	100	2200	1650	75

Trend produktivitas mesin penggiling dengan kurva dapat dijelaskan dengan Gambar 16.



Gambar 16. Kurva efisiensi sistem KASKD untuk empat persentase debit



Gambar 17. Sistem pembangkit dengan penggerak mula Kincir Air Sistem Knock Down (KASKD) telah siap untuk dioperasikan, tampak roda kincir lengkap dengan poros, bearing, sistem transmisi dan generator.



Gambar 18. Bangunan rumah pembangkit KASKD, tampak air mengalir melalui saluran lurus dan masuk ke dalam rumah pembangkit yang di dalamnya terpasang roda kincir, sistem transmisi, generator dan panel instalasi listrik.

KESIMPULAN

1. Hasil penelitian menunjukkan sistem KASKD yang dibangun memiliki karakteristik yang tidak jauh beda dengan prinsip kerja turbin *cross flow*, profil sudu yang dibentuk menggunakan analisis segitiga kecepatan seperti yang digunakan dalam menganalisis sudu-sudu turbin *cross flow*. Disamping itu saluran lurus KASKD menyerupai fungsi dari nozel pada turbin *cross flow* sehingga daya yang dibangkitkan KASKD menjadi optimal.
2. Komponen-komponen penggerak mula KASKD dirancang dari bahan baja yang dapat

dibongkar pasang, sambungan antara *runner* dengan poros menggunakan sambungan baut dan pasak, dengan sistem seperti itu sangat membantu sekali memudahkan pada proses pengangkutan dan pemasangan di lokasi pengujian.

3. Dari hasil pengujian efisiensi penggerak mula KASKD diketahui trend efisiensi relatif konstant untuk setiap perubahan debit dimulai dari persentase debit 50% sampai 100%. Pada persentase debit 100% atau 150 liter/det didapatkan efisiensi maksimum sebesar 77,5 %. Dengan demikian maka kualitas penggerak mula KASKD yang dibangun cukup memuaskan dan dapat dibanggakan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Bachtiar, A. N., 2007, *Uji Efisiensi Runner Turbin Cross Flow pada Sudut Masuk = 15°*, Jurnal Momentum, ISSN 1693-7524, volume 1, nomor 1, Agustus 2007
- [2] Bryan, P.Hoyan, 2011, *Tesla Turbine for Pico Hydro Applications*. Guelph Engineering Dewan Riset Nasional, 2010, *Agenda Riset Nasional*, Dewan Riset Nasional, Jakarta.
- [3] Dietzel, F.,1988, *Turbin, Pompa Dan Kompresor*, Erlangga, Jakarta.
- [4] Dinas Pertambangan dan Energi Pemerintah Kabupaten Pasaman, 2007, *Studi Kelayakan Pembangunan PLTM Jorong Tarantang Tunggang Pasaman*.
- [5] Enoh, R.M. 2010. *Perencanaan dan Pembuatan Turbin Cross Flow dengan Kapasitas 38 kW untuk PLTMH Batu Sanggan, Kabupaten Kampar, Propinsi Riau*. Laporan Penelitian. MST-UGM. Jogjakarta.
- [6] Giles, R. V., 1984, *Mekanika Fluida dan Hidrolika*, Erlangga, Jakarta.
- [7] Haimerl, L.A.,1960, *The Cross Flow Turbine*, Jerman.
- [8] Jagdis, 2005, *Hydraulic Machine*, Metropolitan Book Co Private Ltd., New Delhi.

- [9] Khurmi, R.S.,2001, *Machine Design*, Eurasia Publishing House (Pvt) LTD, New Delhi.
- [10] Meier, Ueli S., 1981, *Local Experience With Micro Hydro Technology*, St Gall, London.
- [11] Pemda TK I Sumatera Barat, 1994, *Rencana Pembangunan Lima Tahun ke Enam*, Padang, Bappeda Sumatera Barat.
- [12] Sularso, 1991, *Elemen Mesin*, Pradnyaparamita, Yogyakarta.
- [13] 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.