

## Studi Rancangan Dan Unjuk Kerja Kincir Air Tepat Guna Untuk Pemanfaatan Aliran Air Saluran Irigasi

\*Samsul Kamal , \*\*Janu Pardadi, \*\*\*Miftahuddin

, \*\* Program Studi Teknik Mesin dan Industri,

\*\*\* Magister Sistem Teknik, Konsentrasi Mikrohidro

Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2, Yogyakarta 55281, Telepon (0274) 521673

Email : samsulugm@yahoo.com

### Abstrak

Catu kenaikan konsumsi energi yang sangat tinggi di Indonesia, disertai dengan makin langkanya sumber energi konvensional yang berasal dari fosil sehingga berdampak pada makin tingginya harga energi yang dibutuhkan untuk pembangunan, telah memaksa pemerintah untuk mengambil langkah-langkah kebijakan prioritas pengadaan dan pemanfaatan energi terbarukan. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia namun tingkat pemanafaatannya untuk digunakan sebagai energi listrik masih sangat sedikit. Berbagai usaha telah banyak dilakukan untuk membuat konstruksi pemanfaatan energi aliran air dari yang sederhana hingga menggunakan teknologi tinggi. Kondisi geografis, demografi, modal serta lokasi dan bahkan budaya dimana umumnya sumber energi aliran air berada, akan sangat menentukan jenis teknologi yang paling tepat untuk digunakan mengkonversi energi air tersebut menjadi listrik. Pada penelitian ini diupayakan suatu konstruksi kincir air (water wheel) yang dapat dikategorikan sebagai jenis breast wheel, yang dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi aliran air pada sistem irigasi yang sudah ada dengan menggunakan material yang mudah didapat. Konversi energi aliran air menjadi energi mekanikal dilakukan berdasar pada gaya berat (gravity) dan tumbukan (impulse) pada sudu. Uji unjuk kerja konstruksi kincir air yang telah dibuat, dilakukan secara langsung pada saluran irigasi. Variasi debit dilakukan dengan menggunakan pintu air tetap pada saluran. Diperoleh hasil unjuk kerja untuk berbagai variasi beban, debit dan pada kondisi debit aliran air yang cukup rendah berkisar antara 0,15 hingga 0,2 m<sup>3</sup>/dk dan tinggi jatuh hanya sekitar 0,25 m memberikan efisiensi sekitar 70%. Secara ekonomis, dengan umur ekonomis sekitar 15 tahun yang secara teknis diperkirakan dapat terpenuhi, akan memberikan benefit cost ratio sekitar 1,2 sehingga cukup layak.

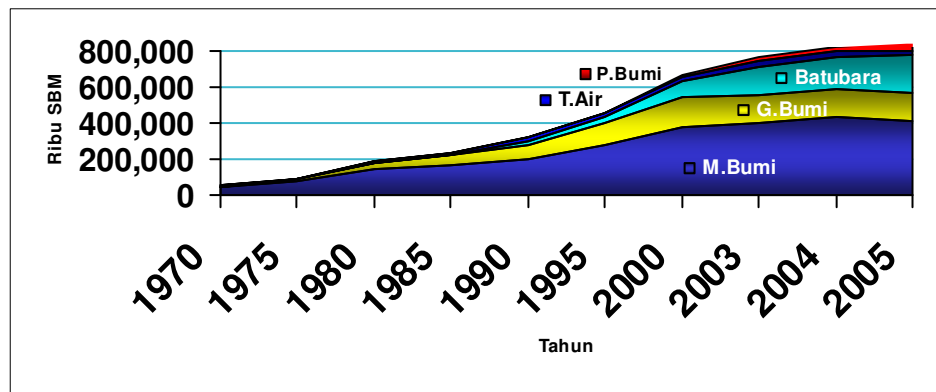
Kata kunci ; kincir air (water wheel), ketinggian rendah (low height), generator putaran rendah

## 1. PENDAHULUAN

### Potensi Energi Air

Energi fosil khususnya minyak bumi merupakan sumber energi utama (*primer*) dalam kehidupan masyarakat. Seiring pertumbuhan ekonomi dan pertambahan penduduk, kebutuhan energi primer juga semakin meningkat. Menurut data pada Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia pertumbuhan rata-rata penggunaan energi primer dari tahun 1970– 2005 adalah 6 hingga 8,5 %, dan cenderung untuk terus meningkat sebagaimana terlihat pada Gambar 1. Sementara cadangan energi fosil jumlahnya terbatas dan cenderung menipis. Dengan demikian Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia membuat suatu kebijakan yang dapat digunakan sebagai acuan pengembangan energi terbarukan dan konservasi energi di Indonesia untuk mendukung pembangunan yang berkelanjutan guna mendorong dan mengembangkan pemanfaatan energi terbarukan. Energi air merupakan salah satu energi terbarukan yang cukup potensial di Indonesia namun pemanfaatannya masih sangat kecil, sebagaimana terlihat pada Tabel 1.1. yaitu dari potensi daya sekitar 0,45 GW, baru terpasang 0,084 GW atau sekitar 18,67 %. Berbagai usaha telah banyak dilakukan untuk membuat konstruksi pemanfaatan energi aliran air dari yang sederhana hingga menggunakan teknologi tinggi. Kondisi geografis, demografi, modal serta lokasi dan bahkan budaya dimana umumnya sumber energi aliran air berada, akan sangat menentukan jenis teknologi yang paling tepat untuk digunakan mengkonversi energi air tersebut menjadi listrik. Oleh

kerana itu, pemerintahpun memberi peluang landasan pengaturan untuk pengadaan pembangkit listrik skala kecil. Untuk itu, penggunaan teknologi yang bersifat tepat guna untuk pemanfaatan energi air diberbagai daerah di Indonesia masih sangat diperlukan.



Gambar 1. Grafik Pertumbuhan Penggunaan Energi Primer Indonesia.  
(Sumber : Kementerian ESDM )

Penggunaan energi aliran air ini juga akan memberikan kesesuaian antara teknologi yang digunakan dengan sifat serta kondisi lingkungan dimana aliran air itu berada serta tingkat kemampuan masyarakat yang akan menggunakannya. Potensi energi aliran air yang sesuai untuk penggunaan itu banyak tersebar di seluruh Indonesia, diantaranya terdapat pada jaringan irigasi yang digunakan untuk pengairan. Pada jarak tertentu sesuai kontur daerah yang dilalui terdapat beberapa terjunan kecil dengan *head* berkisar antara 0,75 – 4,00 m (*head* rendah) yang berfungsi untuk mengurangi tekanan akibat kecepatan aliran dengan kapasitas sangat kecil hingga cukup besar sekitar 7 m<sup>3</sup>/detik

Tabel 1. Potensi Sumber Daya Energi Terbarukan Di Indonesia (Sumber : Kementerian ESDM )

ENERGI NON FOSIL	SUMBER DAYA	SETARA	KAPASITAS TERPASANG
Tenaga Air	845,00 juta BOE	75,67 GW	4,2 GW
Panas Bumi	219,00 juta BOE	27,00 GW	0,8 GW
Mini/Mikrohidro	0,45 GW	0,45 GW	0,084 GW
Biomass	49,81 GW	49,81 GW	0,3 GW
Tenaga Surya	-	4,80 kWh/m <sup>2</sup> /hari	0,008 GW
Tenaga Angin	9,29 GW	9,29 GW	0,0005 GW
Uranium (Nuklir)	24.112 ton* e.q. 3 GW untuk 11 tahun		

Oleh kerana itu, pemerintahpun memberi peluang landasan pengaturan untuk pengadaan pembangkit listrik skala kecil. Untuk itu, penggunaan teknologi yang bersifat tepat guna untuk pemanfaatan energi air diberbagai daerah di Indonesia masih sangat diperlukan. Hal ini juga akan memberikan kesesuaian antara teknologi yang digunakan dengan sifat serta kondisi lingkungan dimana aliran air itu berada serta tingkat kemampuan masyarakat yang akan menggunakannya.

#### Kincir Air

Kincir air dapat didefinisikan sebagai peralatan mekanis berbentuk roda (*wheel*) dengan sudu (*bucket* atau *vane*) pada sekeliling tepinya dan terkena aliran air. Berdasarkan cara atau prinsip air menggerakkan roda kincir, kincir air dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu ; berdasarkan gaya berat dari air (*gravity*), berdasarkan sebagian dari gaya berat air dan sebagian lain dari dorongan (*impulse*) dari air, dan berdasar dari dorongan air (*impulse*) saja. Berdasar pelaksanaan konstruksi cara mengalirkan air kedalam roda kincir, dikenal ada tiga tipe kincir, yaitu ; *overshoot wheel*, dimana air disalurkan ke roda kincir melalui bagian atas roda kincir. *breast wheel*, dimana air disalurkan ke roda kincir melalui bagian tengah (*breast*) roda kincir dan *undershoot wheel*, dimana air disalurkan ke roda kincir melalui bagian bawah roda kincir, Khurmi (2001). Untuk meningkatkan unjuk kerjanya, telah

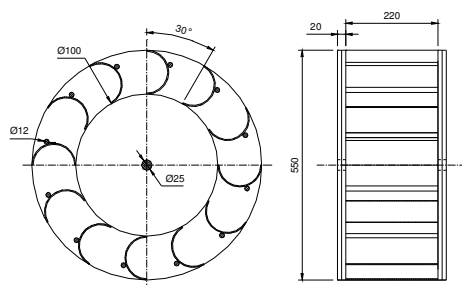
dilakukan modifikasi terhadap kincir tipe *undershoot wheel*, dengan mengganti sudu ,atau kadang juga dikenal dengan sel , yang semula berbentuk lurus menjadi sel yang berbentuk lengkung , dan diketahui sebagai kincir air *Poncelet*. Berbagai pelaksanaan di lapangan memberikan anjuran untuk memakai kincir air untuk daerah yang aliran airnya tidak tentu, berubah-ubah dan tinggi air jatuhnya kecil, Fritz Dietzel dan Dakso Sriyono (1990). Kincir air , sebagaimana turbin air, pada prinsipnya bekerja dengan memanfaatkan tinggi air jatuh,  $H$  , dan kapasitas air ,  $Q$  . Untuk proses konversi energinya, faktor yang harus diperhatikan pada kincir air selain dari energi potensial adalah pengaruh berat air yang mengalir masuk ke dalam sel-selnya. Kecepatan air yang mengalir ke dalam kincir diusahakan kecil, sebab bila kecepatannya terlalu besar saat melalui sel, air akan melimpah keluar dan dengan demikian efisiensinya turun. Air yang mengalir ke dalam dan ke luar kincir tidak mempunyai tekanan lebih, jadi hanya sama dengan tekanan atmosfer. Berbagai pengalaman juga memberikan , pemakaian kincir air adalah cukup baik pada pemanfaatan tinggi jatuh sekira 0,1 hingga 12 meter dan kapasitas air sekitar 0,05 hingga 5 m<sup>3</sup>/detik . Efisiensi kincir air sangat bervariasi berkisar antara 20 hingga 80 % , Fritz Dietzel dan Dakso Sriyono (1990).

## PERANCANGAN KINCIR AIR

### Pemilihan Jenis Kincir Air

Dalam pemilihan jenis kincir air yang bersifat tepat guna, perlu adanya pertimbangan terhadap berbagai aspek, antara lain ketersediaan material dan peralatan pembuat turbin, teknologi yang tersedia, dan juga penguasaan teknologi masyarakat di sekitar unit instalasi kincir air yang umumnya dijadikan sebagai operator. Untuk itu, dipilih kincir air yang memasukkan dan memanfaatkan dorongan air pada bagian tengah kincir yang disertai berat air yang masuk ke dalam selnya akan memutar roda kincir. Dasar pemilihan material pembuat jenis kincir air tersebut adalah mudah didapat (kayu dan pipa PVC), mudah diproses, tahan terhadap lingkungan sekitar dan harganya relatif murah. Proses pembuatannya dirancang dengan menggunakan peralatan sederhana yang umumnya dimiliki masyarakat.

Pemilihan konstruksi kincir air (*water wheel*) tersebut dapat dikategorikan sebagai jenis *breast wheel*, yang dirancang untuk mengoptimalkan penggunaan energi aliran air pada sistem irigasi yang sudah ada dengan menggunakan material yang mudah didapat. Material sudu atau sel yang berfungsi juga sebagai tampungan (*bucket*) terbuat dari pipa PVC yang dibelah dua dan selanjutnya terpasang secara dijepit diantara dua plat papan beralur dimana belahan pipa tersebut dapat duduk secara pas di dalamnya, membentuk roda kincir. Prinsip konstruksi ini diberikan juga pada *DIY Projects* (2008). Putaran roda kincir diteruskan ke generator dengan menggunakan susunan roda dan ban mesin. Keseluruhan komponen utama, roda kincir , roda ban mesin dan generator terpasang pada konstruksi rangka agar mudah ditempatkan dan dipindahkan pada berbagai kondisi saluran yang ada.



Gambar 2. Rancangan sudu atau sel kincir air yang berfungsi sebagai *bucket*

Konversi energi aliran air menjadi energi mekanikal dilakukan berdasar pada gaya berat (*gravity*) dari air yang tertampung dalam *bucket*, dan tumbukan (*impulse*) pada sudu / sel atau bucket itu sendiri.

### Perhitungan

Prosedur perencanaan, adalah prosedur standar yang umumnya digunakan untuk merancang instalasi tenaga air kecil (*microhydro*). Persamaan umum untuk power suatu konversi energi air digunakan sebagai titik awal untuk merancang bagian-bagian yang lain

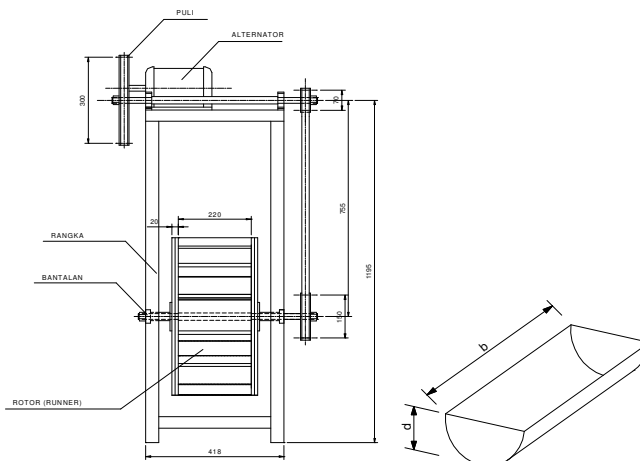
$$P = \rho . g . Q . H . \eta \quad (1)$$

dengan  $\rho$  adalah massa jenis air ,  $\text{kg/m}^3$ ,  $g$  adalah percepatan gravitasi ,  $\text{m/dtk}^2$ .  $Q$  adalah kapasitas air,  $\text{m}^3/\text{detik}$ ,  $H$  tinggi jatuh ,  $\text{m}$ , dan  $\eta$  adalah efisiensi kincir air yang diperkirakan pada awalnya. Selanjutnya, dimensi *bucket* dapat dihitung dengan persamaan (2) sesuai dengan pendekatan Khurmi (2001)

$$Q = k . b . d . \frac{\omega . D}{2} \quad (2)$$

dengan,  $k$  adalah perkiraan bagian atau fraksi air yang dapat tertampung di dalam *bucket*,  $b$  adalah panjang *bucket*, dan  $d$  adalah kedalaman *bucket*, sedang  $\omega$  adalah kecepatan sudut dari roda kincir. Untuk merancang kekuatan bagian-bagian dari kincir, seperti poros , *bearing* , *pulley*, rangka dan sebagainya, didasarkan pada torsi

$$T = 9,74 . 10^5 . \frac{P}{n} \quad (3)$$



Gambar 3. Rancangan konstruksi unit kincir air.

### Pembuatan

Bagian pokok dari roda kincir air adalah sudu / bucket yang terbuat dari pipa PVC serta rim roda yang terbuat dari papan kayu seperti terlihat pada Gambar 4. Diameter pipa dipilih sesuai dengan kapasitas yang diperhitungkan juga terhadap panjang yang disesuaikan dengan saluran irigasi yang ada.



Gambar 4. Bahan pembuatan rotor (*runner*).

Pipa PVC dipotong sesuai ukuran yang dikehendaki, selanjutnya dibelah menjadi dua bagian untuk mendapatkan sudu-sudu / *buckets* rotor.



Gambar 5. Sudu (*bucket*) dari pipa PVC dan roda (rim) dari kayu / papan

Papan disatukan untuk mendapatkan lebar yang diinginkan, untuk itu dibuat menjadi 4 (empat) lembar. Lembar bagian dalam, dua lembar untuk bagian kiri dan kanan, diberikan pemotongan sesuai jejari pipa PVC sebagai bentuk *bucket*, kemudian disatukan dengan lembar bagian luar, sehingga membentuk alur-alur sebagai kedudukan *bucket* sebagaimana terlihat pada Gambar 5. *Bucket* dipaskan dengan alur, kemudian pada bagian belakangnya dipasang batangan besi yang diperkuat dengan baut, agar kedudukan bucket kuat terpasang pada lembaran serta berfungsi sebagai penguat bucket menahan beban air. Demikain seterusnya hingga seluruh *bucket* terpasang dan membentuk roda kincir Gambar 6.



Gambar 6. Roda kincir lengkap.

Setelah seluruh bagian-bagian pembangkit selesai, selanjutnya dirangkai menjadi satu sehingga masing-masing bagian terpasang pada posisi masing-masing, seperti terlihat pada Gambar 7. Penerusan daya dari roda kincir ke generator dilakukan dengan menggunakan *pulley* dan ban mesin dengan perbandingan putaran untuk memperoleh putaran rated generator. Rangka penopang keseluruhan unit adalah besi siku yang dilas nantinya dengan ukuran sesuai dimensi saluran irigasi. Proteksi terhadap karat dilakukan dengan pengecatan.



Gambar 7. Rangka dengan rotor (*runner*).

a). Hubungan generator dengan *pulley* c). Penerusan putaran roda ke *pulley* d) Konstruksi lengkap

## 2. Pengujian

### Lokasi dan Alat Uji

Pengujian dilakukan pada saluran irigasi Bendung Kali Mruwe, Dusun Kadipolo, Desa Sendang Tirto, Kecamatan Berbah, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu dengan memanfaatkan saluran pembuang. Beda tinggi muka air (*head*) adalah sekitar 0,5 m. Pintu pelepasan dapat diatur untuk mendapatkan variasi debit dan tinggi air pada saluran pembuang. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi alat-alat ukur yang digunakan untuk pengukuran besaran-besaran pokok unjuk kerja, yaitu : *Pengukur panjang*, selang plastik bening atau *water pass*, *theodolite* atau *auto level instrument*, *stop watch* dan *rectangular weir*, pengukur kecepatan arus, *tachometer*, dan digital multimeter untuk listrik.

### Jalannya Penelitian



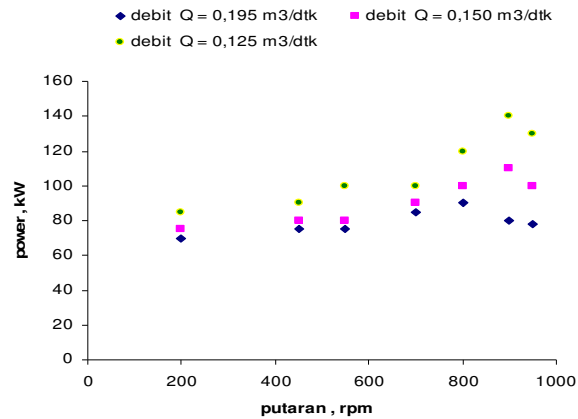
Gambar 8. Kegiatan Pengujian.

- a). Saluran irigasi untuk pengujian
- b) Pintu air sebagai kontrol aliran
- c). Penyiapan instrumen uji
- d). Penempatan unit
- e). dan f) Proses pengujian dan pengukuran

Pertama dilakukan pengujian hubungan antara power keluaran menggunakan pembebanan berupa beban pemanas sebagai dummy load dengan putaran untuk tinggi jatuh yang tetap, dengan variasi kapasitas aliran melalui variasi pembukaan pintu air. Selanjutnya dihitung efisiensi menggunakan perbandingan power yang terukur dari keluaran arus dan tegangan dengan power yang dimiliki oleh aliran air,  $\rho \cdot g \cdot Q \cdot H$  kW, pada berbagai debit. Selanjutnya, untuk mengetahui efisiensi tertinggi yang dapat dicapai, digunakan hubungan antara power dan efisiensi untuk nilai berbagai tinggi air dan putaran yang konstan. Dengan demikian, data yang dicatat adalah ; putaran, power keluaran, catu aliran (*flow rate*), sedang data yang dihitung adalah power yang dimiliki aliran air (*water power*) serta efisiensi.

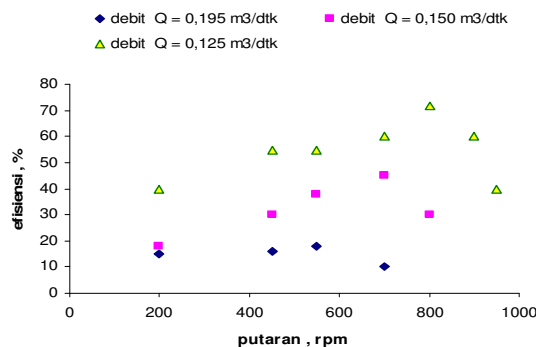
### 3. Hasil dan Pembahasan

Penambahan power atau beban yang diberikan pada generator untuk suatu debit aliran air dihubungkan dengan pengukuran putaran yang ditransmisikan ke generator, dapat dilihat pada Gambar 9. Ada tiga kondisi debit yang diberikan yaitu 0,125 , 0,150 dan 0,195 m<sup>3</sup>/dtk.

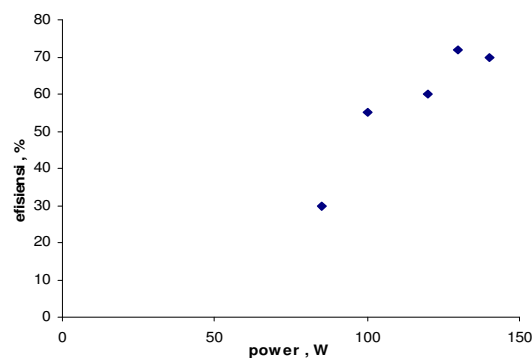


Gambar 9. Hubungan antara power dengan putaran untuk berbagai debit aliran air.

Terlihat bahwa power meningkat dengan debit yang bertambah. Terdapat optimum power pada suatu debit yang diberikan. Selanjutnya, perhitungan pada efisiensi untuk berbagai debit yang diberikan untuk tinggi jatuh yang dibuat tetap, digambarkan terhadap putaran kincir pada Gambar 10. Terlihat juga bahwa efisiensi akan meningkat dengan naiknya debit yang diberikan. Terdapat juga efisiensi yang terlihat menurun mulai pada putaran tertentu dan memberikan efisiensi yang optimum.



Gambar 10. Hubungan antara efisiensi terhadap putaran untuk berbagai debit aliran air



Gambar 11. Hubungan antara efisiensi terhadap power untuk debit aliran air 0,195 m<sup>3</sup>/dtk

Gambar 11. memberikan hubungan antara efisiensi dari kincir terhadap power untuk berbagai debit yang diberikan pada ketinggian air dan putaran yang konstan. Terlihat bahwa efisiensi naik dengan bertambahnya power. Terdapat optimum efisiensi pada sekitar 70%. Pada berbagai kondisi debit, putaran roda kincir berkisar antara 200 – 950 rpm. Putaran tertinggi terjadi pada debit sekitar 0,2 m<sup>3</sup>/dt. Variasi ketinggian muka air masing-masing adalah 0,26 m, 0,27 m dan 0,28 m. Dari berbagai karakteristik hubungan besaran-besaran yang diperoleh, terlihat bahwa kincir air yang telah dikonstruksi menunjukkan sifat mendekati turbin impuls. Ini berarti bahwa tumbukan kecepatan aliran air terhadap *buckets* mempunyai pengaruh yang cukup *significant* disamping pengaruh berat air pada *buckets*. Peningkatan unjuk kerja perlu dilakukan terutama pada penggunaan generatornya yaitu menggunakan jenis generator putaran rendah mengingat pencapaian putaran yang diperoleh. Pada saat ini pengembangan jenis generator ini sudah cukup baik dan dapat diandalkan dengan harga yang relatif murah.

### Keekonomian

Analisis ekonomi untuk pembangunan unit instalasi kincir air ini dilakukan berdasar perbandingan pendapatan (*benefit*) terhadap biaya (*cost*) yang dikeluarkan untuk membangun, dengan asumsi : Tingkat suku bunga (*interest*) sebesar 10 % pertahun , biaya operasional pertahun sebesar dan biaya perawatan pertahun termasuk biaya perbaikan dan penggantian komponen-komponen yang rusak pembangkit dapat membangkit daya maksimal sebesar 120 W. Pembangkit beroperasi selama 24 jam perhari, 360 hari pertahun Harga listrik per-kWh sebesar Rp 450,- dan usia ekonomis pembangkit diperkirakan 15 tahun. Depresiasi digunakan untuk menghitung jumlah setiap pembayaran yang sama ( $A = Annual$ ) yang dilakukan pada setiap akhir periode ke- $n$  (tahunan) untuk mengakumulasi nilai mendatang ( $F = Future$ ) pada setiap akhir periode ke- $n$  dengan tingkat suku bunga  $i$ , yaitu  $i / (1 + i)^n - 1$ , atau diperoleh dari *Sinking Fund Factor (SFF)* dimana  $A = F [i / (1 + i)^n - 1]$ . Besarnya faktor pengali dapat dirujuk dari tabel pemajemukan diskret untuk tingkat suku bunga 10 % yang banyak tersedia. Diperoleh perbandingan benefit cost B/C sekitar 1,2 > 1 yang berarti cukup layak.

### 4. Kesimpulan

Berdasar pada perancangan, proses pembuatan dan hasil pengukuran serta karakteristik keluaran kincir air yang telah dilakukan , maka dapat disimpulkan bahwa

- Aliran air irigasi yang banyak tersebar di Indonesia memiliki potensi yang cukup baik untuk dimanfaatkan guna pembangkitan listrik skala kecil / mikro
- Unit pembangkit listrik dengan jenis *breastwheel* terbuat dari material yang mudah didapat dan konstruksi yang relatif sederhana menunjukkan unjuk kerja (*performance*) yang cukup baik untuk pemanfaatan aliran air irigasi.
- Keekonomian unit pembangkit cukup layak dipakai sebagai dasar pengembangan skema listrik mandiri dengan modal bergulir dari pemerintah / swasta bagi masyarakat.

### Daftar Pustaka

- Anonim , (2007), Kementerian ESDM, , . *Seminar Nasional "Menyikapi Krisis Energi dan Perkembangan Energi Alternatif di Indonesia"*, Jurusan T. Geologi FT-UGM Yogyakarta tanggal 28 April 2007).
- Anonim ,(2008), DIY Projects, [www.BuildItSolar.com](http://www.BuildItSolar.com)
- Dietzel, Fritz., Dakso Sriyono , (1990), *Turbin, Pompa dan Kompresor* , Penerbit Erlangga, pp.14-15
- Khurmi, R.S., (2001), *A Text Book Of Hydraulic, Fluid Mechanics and Hydraulic Machines*, S. Chand & Company LTD.