

MODEL FISIK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MINI-MIKROHIDRO (PLTM)

Rinaldi* dan Harmaini**

*) Staff Dosen Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau

***) Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Riau

ABSTRACT

The use of mini-microhydro electricity power generator is still conducted rarely. It needs to know its effectivity and efficiency. It needs special treatment by using new technology, so it could be especially in the rural areas those had water resources for that treatment. In this research physical model of mini-microhydro electricity power generator was made. The procedure of this research consist of three steps : the installation and adjustment of equipment (tank installation and pipe installation, dynamo and turbin restraint, turbin and dynamo intallation), the model test (water supply measurement, turbin angular velocity measurement), and running model (dynamo angular velocity measurement, and voltage measurement). The result of the research that was conducted, the maximum water supllly 5,513 l/s, average of dynamo angular velocity 548,6 rpm. The maximum voltage that is produced model 80 volt. On the model condition no energy is produced, because the voltage and angular velocity that was planned are not reached yet.

Keywords : *mini-microhydro, rural areas, model test, dynamo, turbin*

PENDAHULUAN

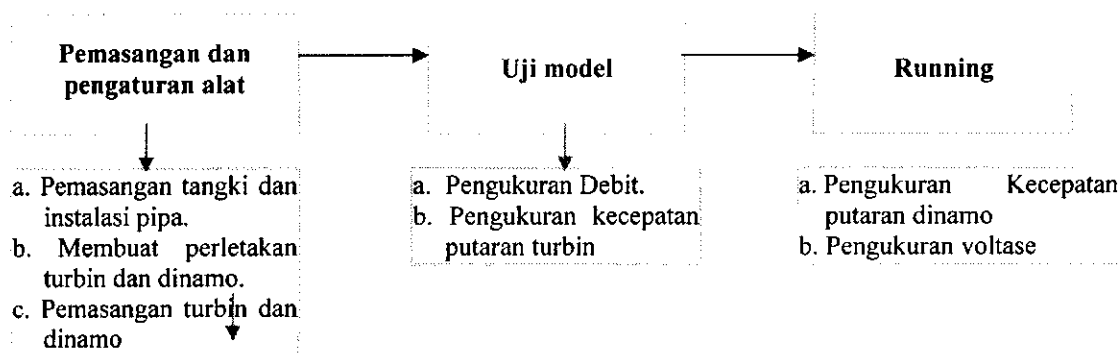
Sejak ditemukannya listrik pada abad ke-17 hingga kini penggunaan listrik telah mengakar disetiap aktivitas manusia. Sayangnya manusia modern sangat bergantung dengan adanya listrik, keberadaan listrik seringkali tidak disadari dan selalu dianggap remeh bagi orang yang awam. Mungkin karena sudah terbiasa selalu menikmati listrik selama 24 jam *nonstop* inilah manusia baru menyadari pentingnya listrik ketika tidak ada lagi aliran listrik yang bisa dimanfaatkan untuk mengoperasikan peralatan elektroniknya. Ketergantungan terhadap listrik ini menyebabkan pasokan listrik yang tersedia tidak mencukupi kebutuhan terhadap listrik tersebut.

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) pada saat ini sudah banyak digunakan sebagai salah satu alternatif sumber tenaga listrik.

Sedangkan penggunaan Pembangkit Listrik Tenaga Mini-mikrohidro (PLTM) masih sangat jarang digunakan dan untuk itu perlu dilakukan perlakuan khusus agar penggunaan Mini-mikrohidro dapat dijadikan sebagai salah satu sumber tenaga listrik pada masa yang akan datang.

Mini-mikrohidro adalah pembangkit listrik tenaga air skala kecil (bisa mencapai beberapa ratus kW). Relatif kecilnya energi yang dihasilkan Mini-mikrohidro (dibandingkan dengan PLTA skala besar) berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya areal tanah yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian Mini-mikrohidro. Teknologi Mini-mikrohidro sangat mudah digunakan dan cocok diterapkan di pedesaan yang belum terjangkau listrik dari PLN.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Skema prosedur penelitian

Uraian prosedur penelitian adalah sebagai berikut :

1. Pemasangan dan pengaturan alat :
 - a. Pemasangan tangki dan instalasi pipa.
 - b. Membuat perletakan turbin dan dinamo.
Perletakan turbin dan dinamo dibuat dengan menggunakan besi siku-siku yang diletakkan pada dasar lantai flume dan dikunci dengan baut yang telah ditanamkan kedalam lantai flume. Perletakan harus benar-benar kuat menahan gaya yang diakibatkan oleh putaran turbin.
 - c. Pemasangan turbin dan dinamo.
Turbin dan dinamo dipasang dan diletakkan pada perletakannya.
2. Sebelum running dimulai, terlebih dahulu dilakukan uji model. Tujuan uji model adalah untuk mengetahui bahwa semua alat bekerja sesuai dengan fungsinya masing-masing. Uji model meliputi :
 - a. Pengukuran Debit.
Pengukuran debit bertujuan untuk mengetahui besar debit yang mengalir pada model (system). Langkah-langkah pengukuran debit adalah sebagai berikut.
 1. Pengaturan debit dilakukan dengan memutar stop kran
 2. Pemutaran stop kran dilakukan secara bertahap yaitu dimulai dari 4 (empat) putaran, 5 (lima) putaran, dan seterusnya hingga bukaan stop krannya full, sehingga diperoleh hubungan antara bukaan saluran pembawa dan debit.
 3. Debit dihitung dengan mengukur volume aliran dan waktu.

$$Q = \frac{V}{t}$$
 4. Pada saat prosedur ini dilakukan turbin dan dinamo belum difungsikan.
 - b. Pengukuran kecepatan putaran turbin
Pengukuran kecepatan putaran turbin bertujuan untuk mengetahui besar putaran yang dihasilkan oleh turbin. Pengukuran kecepatan putaran turbin dilakukan dengan menggunakan alat *Tachometer*. Pada saat pengukuran tersebut, dinamo tidak dihubungkan dengan turbin.
3. *Running*, semua alat diatur dan dioperasikan, diharapkan berfungsi dengan baik. Adapun langkah-langkah running adalah sebagai berikut :
 - a. Pastikan air di *reservoir* bawah terisi penuh.
 - b. *Stopkran* pada kondisi tertutup (*close*).

- c. Pompa air dihidupkan (*turn on*) sehingga air mengalir dari *reservoir* bawah menuju *reservoir* atas.
- d. Kondisi yang diinginkan adalah elevasi muka air di *reservoir* atas selalu konstan. Untuk memperoleh kondisi ini diperlukan saluran pelimpah. Pengambilan data bisa dilaksanakan jika kondisi muka air ini tercapai.
- e. *Stopkran* dibuka 4 (empat) putaran sehingga turbin akan berputar dan akan memutar *dinamo* sehingga menghasilkan *voltase* dan dibaca melalui alat *voltmeter*.
- f. Ukur kecepatan putaran yang terjadi pada *dinamo* dan *turbin*.
- g. Hal yang sama juga dilakukan untuk bukaan stopkran 5 (lima) putaran, 6 (enam) putaran, hingga bukaannya penuh (12 putaran).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimalisasi Model Pra Running

Sebelum *running* dimulai, dilakukan uji model. Pada saat uji model ini, model (sistem) tidak dihubungkan dengan dinamo. Tahapan yang dilakukan untuk uji model, yaitu :

a. Pengujian Awal

Pengujian awal dilakukan dengan cara semua alat yang telah diatur sesuai dengan skema difungsikan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja dari *turbin*. Dari pengujian tersebut diperoleh data kecepatan putaran *dinamo* dan *turbin*, seperti yang terlihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Kecepatan putaran *turbin* tanpa dihubungkan dengan *dinamo* pada kondisi bukaan Stopkran full (12 putaran)

| No | Kecepatan Putaran Pully Turbin (rpm) | Kecepatan Putaran Sumbu Turbin (rpm) |
|--------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 193,2 | 173,88 |
| 2 | 199,9 | 179,91 |
| 3 | 201,8 | 181,62 |
| 4 | 201,8 | 183,54 |
| 5 | 202,1 | 181,89 |
| Rerata | 199,76 | 180,17 |

Tabel 1. Kecepatan putaran turbin dan dinamo pada kondisi bukaan Stopkran full (12 putaran)

| No | Kecepatan putaran turbin (rpm) | | Kecepatan putaran dinamo (rpm) |
|--------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| | Pully turbin | Sumbu turbin | |
| 1 | 50,20 | 45,18 | 420 |
| 2 | 51,26 | 46,13 | 431 |
| 3 | 51,16 | 46,06 | 430 |
| 4 | 51,48 | 46,33 | 433,3 |
| 5 | 51,29 | 46,16 | 431,3 |
| Rerata | 51,08 | 45,97 | 429,12 |

Berdasarkan pada Tabel 1 dan Tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa kecepatan rata-rata putaran dinamo 429,12 rpm. Pada kondisi ini *dinamo* belum dapat berfungsi, oleh karena itu perlu dilakukan perubahan pada *pully turbin*. Diameter *pully turbin* diubah dari 21,33 cm menjadi 42 cm, hal ini bertujuan untuk memperbesar putaran yang terjadi pada *dinamo*. *Dinamo* akan berfungsi apabila kecepatan putarannya 1500 – 1800 rpm.

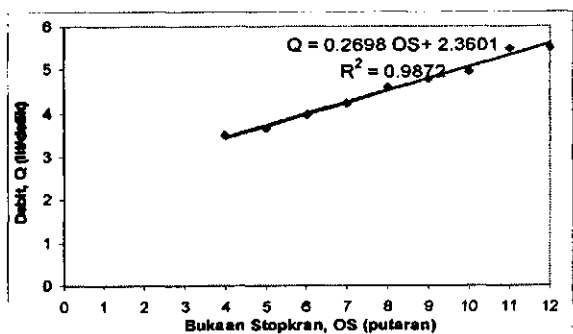
b. Pengukuran debit

Pengukuran debit dilakukan dengan cara mengukur volume yang keluar pada saluran pembawa dan waktu. Setelah didapat kedua data tersebut, debit dihitung dengan rumus

$$\text{debit } Q = \frac{\text{Vol}}{t}$$

Tabel 2. Data debit yang diukur pada saat uji model

| Bukaan (put.) | Vol (liter) | waktu (detik) | Debit (ltr/dt) | Q _{rerata} (ltr/dt) |
|---------------|-------------|---------------|----------------|------------------------------|
| 4 | 112,5 | 32,33 | 3,480 | 3,484 |
| | 100 | 29,32 | 3,411 | |
| | 90,5 | 25,42 | 3,560 | |
| 5 | 84 | 22,83 | 3,679 | 3,643 |
| | 100 | 26,98 | 3,706 | |
| | 72,5 | 20,46 | 3,543 | |
| 6 | 107,5 | 26,98 | 3,984 | 3,964 |
| | 95,5 | 24,87 | 3,840 | |
| | 121,5 | 29,86 | 4,069 | |
| 7 | 122 | 28,65 | 4,258 | 4,237 |
| | 110 | 25,46 | 4,321 | |
| | 125 | 30,26 | 4,131 | |
| 8 | 160,5 | 38,43 | 4,176 | 4,599 |
| | 151,5 | 30,56 | 4,957 | |
| | 156 | 33,45 | 4,664 | |
| 9 | 133,5 | 27,84 | 4,795 | 4,782 |
| | 129 | 26,76 | 4,821 | |
| | 140,25 | 29,65 | 4,730 | |
| 10 | 174 | 35,22 | 4,940 | 4,959 |
| | 160,5 | 32,25 | 4,977 | |
| | 151,5 | 30,55 | 4,959 | |
| 11 | 147 | 26,85 | 5,475 | 5,490 |
| | 165 | 29,82 | 5,533 | |
| | 156 | 28,56 | 5,462 | |
| 12 | 187,5 | 34,9 | 5,372 | 5,513 |
| | 174 | 31,25 | 5,568 | |
| | 187,5 | 33,5 | 5,597 | |



Gambar 2. Grafik hubungan antara bukaan *Stopkran* dengan debit

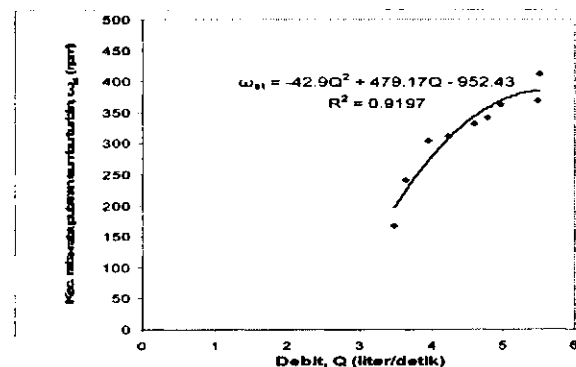
Trendline yang digunakan adalah linear, karena paling memenuhi syarat dalam persamaan regresi ($R^2 \approx 1$). Apabila R^2 makin mendekati 1 maka nilai data-data yang ada pada grafik akan semakin valid.

c. Pengukuran kecepatan putaran turbin

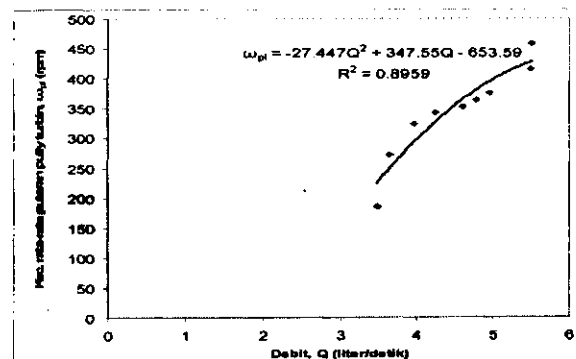
Pengukuran kecepatan putaran turbin dilakukan di dua tempat, yaitu di sumbu dan *pully turbin*. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan alat *Tachometer*. Hasilnya diunjukkan oleh Tabel 4, Gambar 3 dan Gambar 4.

Tabel 4. Kecepatan rata-rata putaran (rpm) turbin pada saat uji model (tanpa dihubungkan dengan dinamo)

| No | Bukaan Stopkran (put) | Debit (ltr/dt) | Kec. Putaran rerata Sumbu Turbin (rpm) | Kec. Putaran rata-rata Pully Turbin (rpm) |
|----|-----------------------|----------------|--|---|
| 1 | 4 | 3,484 | 167,10 | 185,65 |
| 2 | 5 | 3,643 | 240,55 | 271,7 |
| 3 | 6 | 3,964 | 304,00 | 324,00 |
| 4 | 7 | 4,237 | 311,85 | 343,00 |
| 5 | 8 | 4,599 | 332,05 | 351,95 |
| 6 | 9 | 4,782 | 342,35 | 363,20 |
| 7 | 10 | 4,959 | 363,20 | 374,70 |
| 8 | 11 | 5,490 | 369,20 | 414,35 |
| 9 | 12 | 5,513 | 411,45 | 458,15 |



Gambar 3. Grafik hubungan antara debit dan kec. rata-rata putaran sumbu turbin pada saat uji model



Gambar 4. Grafik hubungan antara debit dan kec. rata-rata putaran pully turbin pada saat uji model (tanpa dihubungkan dengan dinamo)

Running Model

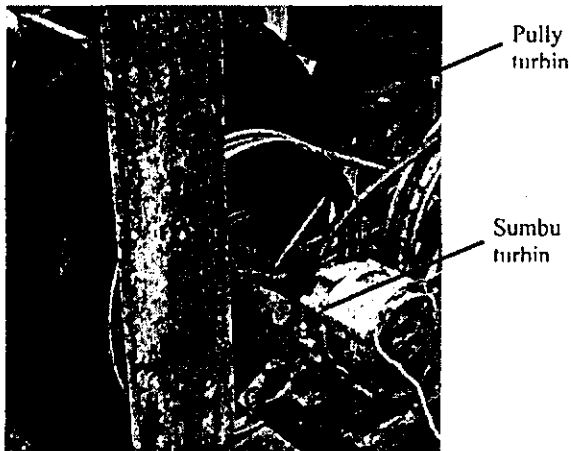
Pada *running* model dilakukan beberapa variasi debit, bukaan stopkran. Running model bertujuan untuk mengetahui voltase yang dapat dihasilkan model. Pengukuran yang dilakukan, yaitu pengukuran kecepatan putaran turbin, kecepatan putaran dinamo, dan voltase yang dihasilkan.

a. Running model menggunakan dinamo I (3000 Watt, 220 volt)

Running model dengan menggunakan dinamo I dilakukan setelah dilakukan perubahan pada pully turbin. *Running* ini bertujuan untuk mengetahui kinerja turbin setelah dilakukan perubahan pada diameter pully turbin.

1. Pengukuran kecepatan putaran turbin

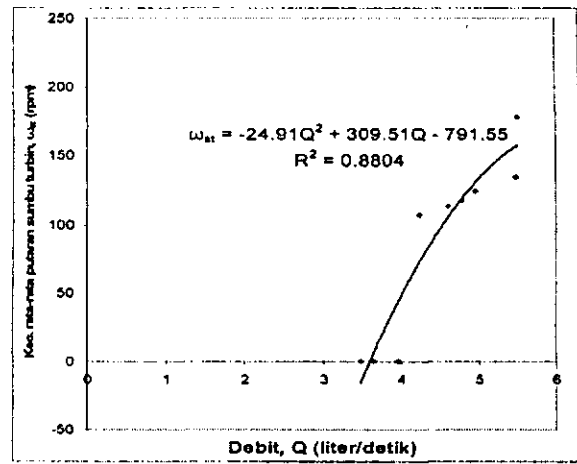
Proses pengukuran kecepatan putaran turbin pada saat *running* model sama dengan pengukuran kecepatan turbin pada saat uji model. Pengukuran dilakukan di dua tempat yaitu di sumbu dan pully turbin. Tempat pengukuran dapat dilihat pada Gambar 5 :



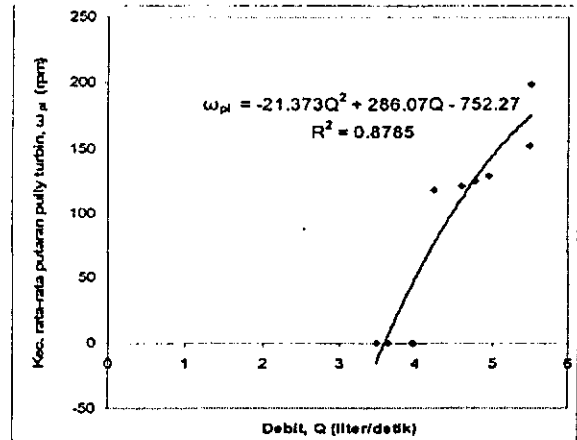
Gambar 5. Sumbu dan pully turbin

Tabel 5. Kecepatan putaran (*rpm*) rata-rata turbin pada saat *running* model

| No | Bukaan Stop kran (put) | Debit (l/d) | Kec. rerata Putaran Sumbu Turbin (rpm) | Kec. rata-rata Putaran Pully Turbin (rpm) |
|----|------------------------|-------------|--|---|
| 1 | 4 | 3,484 | 0,00 | 0,00 |
| 2 | 5 | 3,643 | 0,00 | 0,00 |
| 3 | 6 | 3,964 | 0,00 | 0,00 |
| 4 | 7 | 4,237 | 106,90 | 117,55 |
| 5 | 8 | 4,599 | 113,75 | 120,65 |
| 6 | 9 | 4,782 | 117,50 | 124,55 |
| 7 | 10 | 4,959 | 124,50 | 128,60 |
| 8 | 11 | 5,490 | 134,90 | 151,80 |
| 9 | 12 | 5,513 | 178,25 | 198,60 |



Gambar 6. Grafik hubungan antara debit dan kec. putaran rata-rata sumbu turbin pada saat *running* model



Gambar 7. Grafik hubungan antara debit dan kec. putaran rata-rata pully turbin pada saat *running* model

2. Efisiensi turbin

Berdasarkan Tabel 4. dan Tabel 5 terdapat perbedaan nilai kecepatan putaran yang terjadi pada sumbu turbin. Hal ini disebabkan karena pengaruh dari pembebanan oleh dinamo. Dari nilai kedua tabel tersebut dapat dihitung efisiensi dari turbin yaitu :

$$\frac{178,25}{411,45} \times 100\% = 43,32\%$$

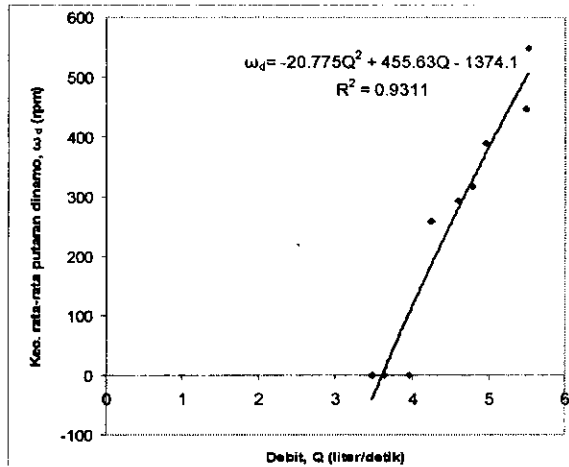
Maka efisiensi turbin tersebut adalah 43,32 %. Berdasarkan nilai tersebut turbin belum cukup efisien untuk digunakan. Oleh karena itu turbin perlu dimodifikasi agar turbin dapat berfungsi lebih sempurna, sehingga dapat menghasilkan kecepatan putaran yang diinginkan.

3. Pengukuran kecepatan putaran (*rpm*) dinamo I (3000 Watt, 220 volt)

Pengukuran ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan putaran yang terjadi pada dinamo. Pengukuran kecepatan putaran (*rpm*) dilakukan pada sumbu dinamo, yaitu dengan menggunakan tachometer. Untuk 1 (satu) putaran bukaan stopkran dilakukan 20 (dua puluh) kali pengambilan data.

Tabel 6. Kecepatan putaran (rpm) rata-rata dinamo pada saat running model menggunakan dinamo I

| No | Bukaan Stop kran (put) | Debit (l/dt) | Kec. Putaran rata-rata dinamo (rpm) |
|----|------------------------|--------------|-------------------------------------|
| 1 | 4 | 3,484 | 0,00 |
| 2 | 5 | 3,643 | 0,00 |
| 3 | 6 | 3,964 | 0,00 |
| 4 | 7 | 4,237 | 257,90 |
| 5 | 8 | 4,599 | 292,25 |
| 6 | 9 | 4,782 | 318,10 |
| 7 | 10 | 4,959 | 390,25 |
| 8 | 11 | 5,490 | 446,65 |
| 9 | 12 | 5,513 | 548,60 |



Gambar 8. Grafik hubungan antara debit dan kec. rata-rata putaran dinamo pada saat running model.

4. Pengukuran Voltase

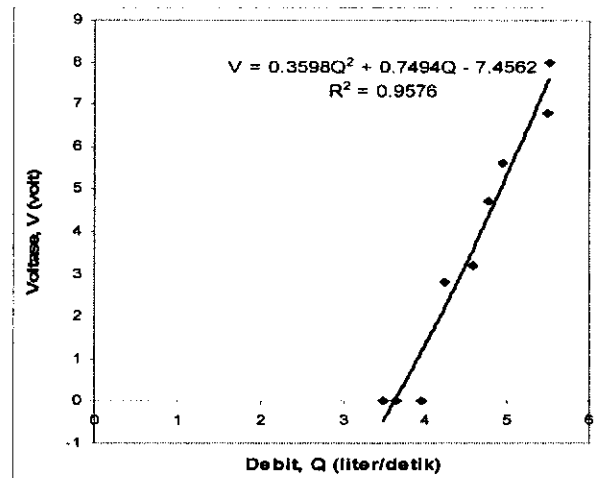
Pengukuran voltase bertujuan untuk mengetahui voltase yang dihasilkan model. Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan Voltmeter.



Gambar 9. Pengukuran voltase

Tabel 7. Voltase yang dihasilkan pada saat running menggunakan dinamo I (3 kW)

| No | Bukaan Stop kran (put) | Debit (l/dt) | Kec. rerata Putaran Sumbu Turbin (rpm) | Kec. rerata Putaran Pully Turbin (rpm) | Kec. rerata putaran dinamo (rpm) | Voltase (volt) |
|----|------------------------|--------------|--|--|----------------------------------|----------------|
| 1 | 4 | 3,484 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 2 | 5 | 3,643 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 3 | 6 | 3,964 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0 |
| 4 | 7 | 4,237 | 106,90 | 117,55 | 257,90 | 2,8 |
| 5 | 8 | 4,599 | 113,75 | 120,65 | 292,25 | 3,2 |
| 6 | 9 | 4,782 | 117,50 | 124,55 | 318,10 | 4,7 |
| 7 | 10 | 4,959 | 124,50 | 128,60 | 390,25 | 5,6 |
| 8 | 11 | 5,490 | 134,90 | 151,80 | 446,65 | 6,8 |
| 9 | 12 | 5,513 | 178,25 | 198,60 | 548,60 | 8 |



Gambar 10. Grafik hubungan antara debit dan voltase.

b. Running model menggunakan dinamo II (300 watt, 110 volt)

Sebelum dilakukan running dengan menggunakan dinamo II, terlebih dahulu dilakukan perubahan diameter pada pully operan. Hal ini bertujuan untuk memperbesar putaran yang terjadi pada dinamo. Diameter pully diperbesar dari 21,33 cm menjadi 42 cm.

Setelah dilakukan perubahan pada diameter pully, maka dilakukan running model. Pada saat running dilakukan pengukuran voltase. Voltase maksimum yang diperoleh dari hasil pengukuran adalah 80 volt. Pada kondisi ini lampu belum dapat menyala, karena voltase dan kecepatan putaran yang diinginkan belum tercapai. Lampu akan menyala apabila voltase mencapai 110 volt dan kecepatan putarannya 1500 rpm.

Hubungan antara Penghitungan Daya secara Teori dan Daya yang Dihasilkan pada saat Penelitian

Secara teoritis daya yang dapat dihasilkan model ini dengan spesifikasi debit yang mengalir pada model adalah 5,513 liter/detik, efisiensi turbin adalah 43,32 %, dan tinggi

jatuh air adalah 4,7 m dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$P = 9,8 \eta Q H$$

Jadi :

$$\begin{aligned} P &= 9,8 \times 0,4332 \times 0,005513 \times 4,7 \\ &= 0,11 \text{ kW} \\ &= 110 \text{ watt} \end{aligned}$$

Secara teoritis didapat bahwa daya yang dihasilkan adalah 110 watt. Sedangkan yang terjadi pada saat penelitian adalah daya belum dapat terukur karena tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari spesifikasi dinamo. Hal ini disebabkan karena beberapa hal :

1. Debit yang mengalir pada model belum dapat memutar turbin secara maksimal. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan pada diameter pipa pembawa menjadi lebih besar. Hal ini bertujuan untuk memperbesar debit yang mengalir pada model.
2. Turbin yang digunakan belum cukup efisien untuk digunakan. Oleh karena itu, turbin perlu dimodifikasi. Hal ini diharapkan agar kecepatan putaran yang terjadi pada turbin sesuai yang diinginkan.

KESIMPULAN

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Secara umum turbin yang didesain pada penelitian ini dapat berfungsi dengan baik.
2. Debit rata-rata pada saat bukaan Stopkran maksimum adalah 5,513 liter/detik. Debit maksimum ini belum dapat menghasilkan kecepatan putaran dinamo yang diinginkan yaitu 1500 - 1800 rpm. Sehingga dinamo belum dapat menghasilkan daya. Dinamo akan menghasilkan daya apabila kecepatan putarannya mencapai 1500 - 1800 rpm.
3. Kecepatan putaran rata-rata dinamo I adalah 548,60 rpm.
4. Voltase maksimum yang dihasilkan dari running model dengan menggunakan dinamo I (3000 Watt, 220 volt) adalah 8 volt. Sedangkan running dengan menggunakan dinamo II (300 watt, 110 volt) voltase maksimum yang dihasilkan adalah 80 volt.

5. Secara teoritis daya yang dapat dihasilkan model adalah 110 watt, tetapi hasil penelitian belum dapat menghasilkan daya seperti yang diharapkan. Hal ini disebabkan karena :
 - a. Debit yang mengalir pada model belum dapat memutar turbin secara maksimal.
 - b. Kecepatan putaran yang terjadi dinamo lebih kecil dari spesifikasi dinamo.
 - c. Turbin yang digunakan belum cukup efisien untuk digunakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim.** *Program Pelatihan Dan Panduan Perancangan Hidraulika Waterway*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta 1994.
- Anonim.** *Small Hydro Power*, Alternate Hydro Energy Center, University of Roorkee, India 1999.
- Anonim.** *DJLPE, Statistik Ketenagalistrikan dan Energi Tahun 2000*, Jakarta, Oktober 2001.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Air.** 2003. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTM) di Jaringan Irigasi*. [online]. Champaign, Illinois : Project Gutenberg. Available at : <URL: http://www.wwf.or.id/powerswitch/suara_komunitas/cinta_mekar/> [Accessed date 20 Desember 2006]
- LIPI.** 2003. *Tenaga Air*. [online]. Champaign, Illinois : Project Gutenberg. Available at : <URL : http://www.kalteng.go.id/INDO/Pertambangan_Energi.htm > [Accessed date 20 Desember 2006]
- Mawardi. E & Memed. M.** 2000. *Pembangunan pembangkit listrik tenaga mikrohidro tipe MdCCF di saluran irigasi*. [online]. Champaign, Illinois : Project Gutenberg. Available at : <URL : http://www.pusair-pu.go.id/dete/final-pedoman-teknik/bandung/stengah_final-erman_m/isi.doc > [Accessed date 20 Desember 2006]