

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO MENGGUNAKAN KINCIR AIR TIPE *PELTON* DAN GENERATOR MAGNET PERMANEN KECEPATAN RENDAH

Jatmiko¹, Hasyim Asy'ari², Ginanjar Suko Raharjo³

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

³Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura 57102 Telp 0271 717417

Email: jkintung@yahoo.com

Abstrak

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) merupakan teknologi yang handal dan ramah lingkungan. Peralatan yang digunakan relatif sederhana dan mudah dicari. Lahan yang dibutuhkan tidak luas, sehingga tidak perlu membuka hutan untuk membangun instalasinya. Penelitian ini menggunakan kincir air tipe Pelton untuk PLTMH dengan menggunakan generator magnet permanen tipe axial. Penelitian ini juga bermaksud untuk mengukur besar potensi alam suatu pemandian umum untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik secara permanen. Pengujian dalam penelitian ini menggunakan kincir air tipe Pelton 8 sudu. Kincir air ini mempunyai diameter sebesar 40 cm, panjang sudu kincir sebesar 15 cm dan diameter sudu sebesar 12 cm. Pada generator menggunakan magnet permanen yang terpasang pada rotor sebanyak 10 biji dengan ukuran 10 x 10 cm. Hasil penelitian pertama pada pipa penstock 1 menghasilkan aliran air dengan kecepatan sebesar 2,2 m/s dengan debit air sebesar 0,017427 (m³/s), daya kinetik sebesar 42,943 watt.. Pada jarak 0,5 cm menghasilkan tegangan AC sebesar 19 Volt dan juga tegangan DC sebesar 9,5 Volt tanpa beban dan 1,95 Volt DC berbeban pada 975 rpm. Sedangkan penelitian kedua pada pipa penstock 2 menghasilkan keluaran tegangan dan arus relatif lebih kecil, hal ini disebabkan oleh aliran air yang relatif lebih kecil dengan kecepatan sebesar 1,85 m/s, debit air sebesar 0,005229 (m³/s) dan daya kinetik sebesar 8,949 watt. Pada jarak 0,5 cm menghasilkan tegangan AC sebesar 19 Volt, tegangan DC sebesar 9 Volt tanpa beban dan 1,85 Volt DC berbeban pada 775 rpm. Jarak antara stator-rotor di ubah dari 0,5 cm; 1 cm; 1,5 cm; dan 2 cm menghasilkan tegangan keluaran AC dan DC tanpa beban dan berbeban yang berubah berbanding terbalik terhadap jarak.

Kata kunci : generator magnet permanen; kincir air Pelton; sumber energi

Pendahuluan

Mikrohidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) adalah suatu pembangkit listrik skala kecil yang menggunakan tenaga air sebagai tenaga penggerak seperti, saluran irigasi, sungai atau air terjun alam dengan cara memanfaatkan tinggi terjunan (*head*) dan jumlah debit air. Mikrohidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air. Secara teknis, mikrohidro memiliki tiga komponen utama yaitu air (sebagai sumber energi), turbin dan generator. Mikrohidro mendapatkan energi dari aliran air yang memiliki perbedaan ketinggian tertentu.

Mikrohidro pada dasarnya memanfaatkan energi potensial jatuhnya air (*head*). Semakin tinggi jatuhnya air, maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Relatif kecilnya energi yang dihasilkan mikrohidro dibandingkan dengan Pusat Listrik Tenaga Air (PLTA) yang berskala besar, berimplikasi pada relatif sederhananya peralatan serta kecilnya area yang diperlukan guna instalasi dan pengoperasian mikrohidro. Dengan demikian, sistem pembangkit mikrohidro cocok untuk menjangkau ketersediaan jaringan energi listrik di daerah-daerah terpencil dan pedesaan. Beberapa keuntungan yang terdapat pada pembangkit listrik tenaga listrik mikrohidro adalah sebagai berikut: dibandingkan dengan pembangkit listrik jenis yang lain, PLTMH ini cukup murah karena menggunakan energi alam, memiliki konstruksi yang sederhana dan dapat dioperasikan di daerah terpencil dengan tenaga terampil penduduk daerah setempat dengan sedikit latihan, tidak menimbulkan pencemaran dapat dipadukan dengan program lainnya seperti irigasi dan perikanan, dapat mendorong masyarakat agar dapat menjaga kelestarian hutan sehingga ketersediaan air terjamin.

Daerah pegunungan memiliki potensi pembangunan PLTMH lebih baik karena sebagian daerah pegunungan terdapat sumber mata air yang mengalir melalui sungai-sungai sepanjang tahun dan mempunyai ketinggian yang dapat dimanfaatkan sebagai PLTMH. Pemasangan peralatan dapat disesuaikan dengan kondisi alam yang ada dan desainnya dapat disesuaikan dengan ketersediaan debit air.

PLTMH memerlukan energi yang diperoleh dari air yang mengalir untuk dimanfaatkan sebagai energi mekanis atau penggerak. Air merupakan salah satu sumber energi yang relatif murah dan mudah karena air mempunyai energi potensial (pada air jatuh) dan energi kinetik (pada air mengalir). Potensi alam yang mendukung dengan adanya air terjun dan aliran sungai yang deras sehingga memungkinkan melakukan penelitian ini.

Besarnya tenaga air yang tersedia dari suatu sumber air bergantung pada besarnya *head* dan debit air. Dalam hubungan dengan *reservoir* air maka *head* adalah beda ketinggian antara muka air pada *reservoir* dengan muka air keluar dari kincir air. Total energi yang tersedia dari suatu *reservoir* air adalah merupakan energi potensial air yaitu:

$$E = mgh \quad (1)$$

dengan

m adalah massa air

h adalah *head* (m)

g adalah percepatan gravitasi $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

Daya merupakan energi tiap satuan waktu $\left(\frac{E}{t}\right)$, sehingga persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai:

$$\frac{E}{t} = \frac{m}{t} gh \quad (2)$$

Dengan mensubstitusikan P terhadap $\left(\frac{E}{t}\right)$ dan mensubstitusikan ρQ terhadap $\left(\frac{m}{t}\right)$ maka:

$$P = \rho Qgh \quad (3)$$

dengan

P adalah daya (watt) yaitu

Q adalah kapasitas aliran $\left(\frac{m^3}{s}\right)$

ρ adalah densitas air $\left(\frac{kg}{m^3}\right)$

Selain memanfaatkan air jatuh *hydropower* dapat diperoleh dari aliran air datar. Dalam hal ini energi yang tersedia merupakan energi kinetik:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

dengan v adalah kecepatan aliran air $\left(\frac{m}{s}\right)$

Daya air yang tersedia dinyatakan sebagai berikut:

$$P = \frac{1}{2}\rho Qv^2 \quad (5)$$

atau dengan menggunakan persamaan kontinuitas $Q = Av$ maka

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \quad (6)$$

dengan A adalah luas penampang aliran air $\left(m^2\right)$

Bahan dan Metode Penelitian

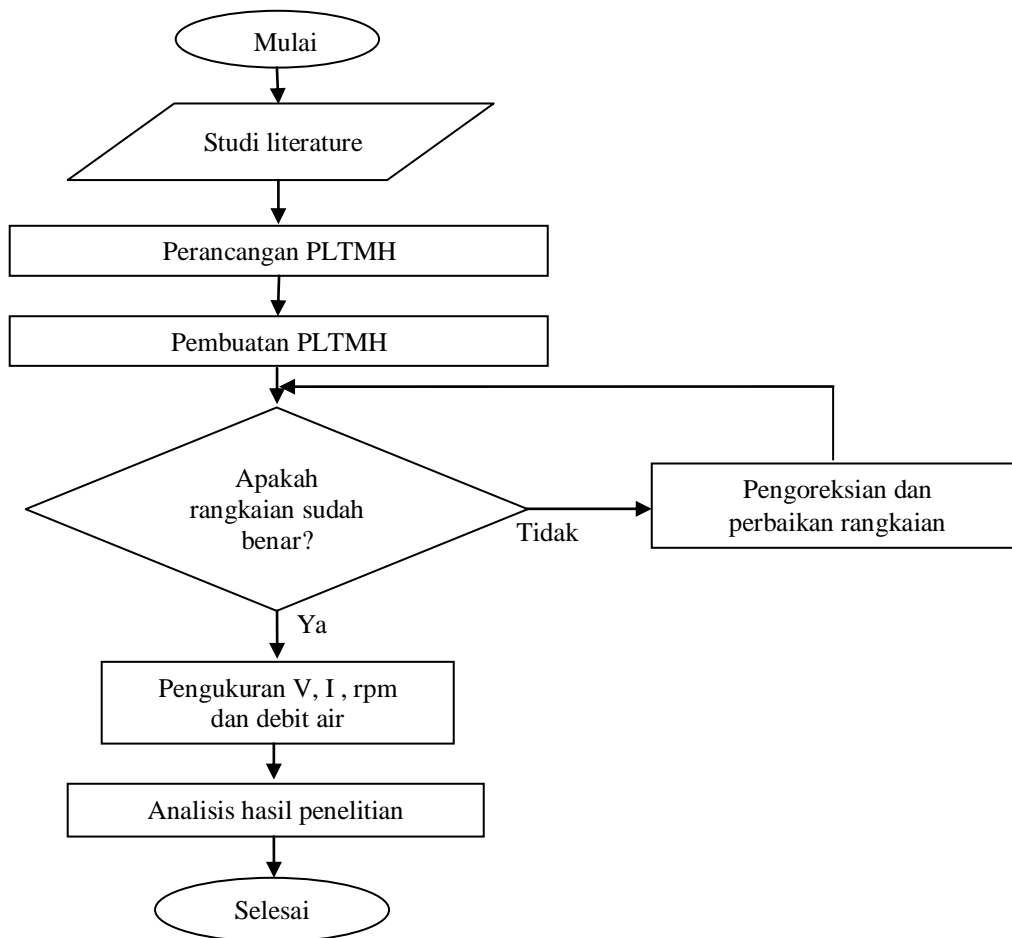
Tempat penelitian ini dilaksanakan di Pemandian Umum Jolotundo, Klaten, Jawa Tengah. Bahan yang diperlukan pada penelitian ini adalah:

1. Generator *axial* kecepatan rendah menggunakan magnet permanen.
2. Kincir air tipe *Pelton*.
3. Dioda *bridge* sebagai penyearah tegangan output AC generator.
4. 2 buah kipas DC.

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

1. Multimeter untuk mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan.
2. Tachometer untuk mengukur kecepatan rotor generator.
3. Tool Kit untuk melepas dan memasang rotor generator untuk mengubah jarak stator-rotor.

Data penelitian PLTMH yang menggunakan kincir air tipe *Pelton* antara lain : kecepatan putar kincir dan rotor generator, tegangan dan arus yang dihasilkan generator, dan debit air yang mengalir.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Hasil dan Pembahasan

Data pengujian diperoleh dari pengujian PLTMH yang menggunakan kincir air tipe *Pelton* dilakukan di Pemandian Umum Jolotundo, Klaten, Jawa Tengah. Penelitian ini menggunakan 2 pipa penstock yang berbeda, berikut ialah tabel perhitungan pipa *penstock 1* dan pipa *penstock 2*.

Tabel 1. Pengukuran pipa *penstock*

| No | Jenis Keterangan | Pipa <i>penstock 1</i> | Pipa <i>penstock 2</i> |
|----|-----------------------------------|------------------------|------------------------|
| 1 | Luas Penampang (m ²) | 0,00785 | 0,002827 |
| 2 | Kecepatan (m/s) | 2,22 | 1,85 |
| 3 | Densitas Air (kg/m ³) | 1000 | 1000 |
| 4 | Debit Air (m ³ /s) | 0,017427 | 0,005229 |
| 5 | Daya Kinetik Air (Watt) | 42,943 | 8,949 |

Percobaan pertama penelitian ini mengambil tegangan DC sebagai acuan perhitungan data. Tegangan DC di ambil dari generator yang sudah disearahkan dulu sebelumnya menggunakan *diode bridge*. Data pertama diambil dari pengujian pipa *penstock* 1 dengan kecepatan putar rotor sebesar 975 rpm.

Tabel 2. Tabel pengukuran jarak stator-rotor, tegangan dan arus dengan beban 3 buah kipas 12 DCV menggunakan pipa *penstock* 1

| No | Jarak stator-rotor (cm) | Tegangan AC (VAC) | Tegangan DC (VDC) | | Arus akibat beban DC (A) | Keterangan |
|----|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------|--------------------------|------------------------|
| | | | Tanpa beban | Ada beban | | |
| 1 | 2 | 14.5 | 4.5 | 1.25 | 0.02 | 1 kipas berputar pelan |
| 2 | 1.5 | 16 | 6.5 | 1.4 | 0.02 | 1 kipas berputar pelan |
| 3 | 1 | 16.5 | 8 | 1.75 | 0.03 | 2 kipas berputar pelan |
| 4 | 0.5 | 19 | 9.5 | 1.95 | 0.03 | 2 kipas berputar cepat |

Percobaan kedua penelitian ini juga memicu pada tegangan DC sebagai acuan perhitungan data seperti pada penelitian *penstock* 1. Pada pipa *penstock* 2 ini memiliki debit air yang jauh lebih sedikit di dibandingkan dengan pipa *penstock* 1, sehingga tegangan maupun rpm yang didapat relatif lebih kecil di dibandingkan pada penelitian pertama. Data kedua diambil dari pengujian pipa *penstock* 2 dengan kecepatan putar rotor sebesar 775 rpm.

Tabel 3. Tabel pengukuran jarak stator-rotor, tegangan dan arus dengan beban 3 buah kipas 12 DCV menggunakan pipa *penstock* 2

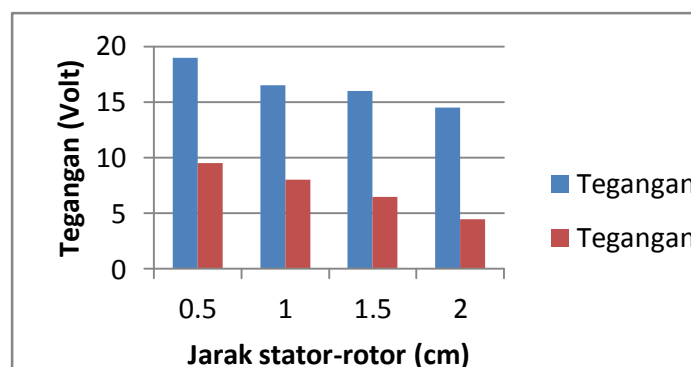
| No | Jarak stator-rotor (cm) | Tegangan AC (VAC) | Tegangan DC (VDC) | | Arus akibat beban DC (A) | Keterangan |
|----|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------|--------------------------|------------------------|
| | | | Tanpa beban | Ada beban | | |
| 1 | 2 | 14 | 4 | 1.15 | 0.01 | 1 kipas berputar pelan |
| 2 | 1.5 | 16 | 6.5 | 1.4 | 0.02 | 1 kipas berputar pelan |
| 3 | 1 | 16.5 | 8 | 1.75 | 0.03 | 2 kipas berputar pelan |
| 4 | 0.5 | 19 | 9 | 1.85 | 0.03 | 2 kipas berputar cepat |

Perhitungan RPM kipas diukur menggunakan tachometer dengan nilai yang berbeda antara pipa *penstock* 1 dan 2. RPM beban kipas penelitian dapat dilihat pada tabel 4 berikut.

Tabel 4. RPM kipas beban sesuai debit air masing-masing pipa *penstock*.

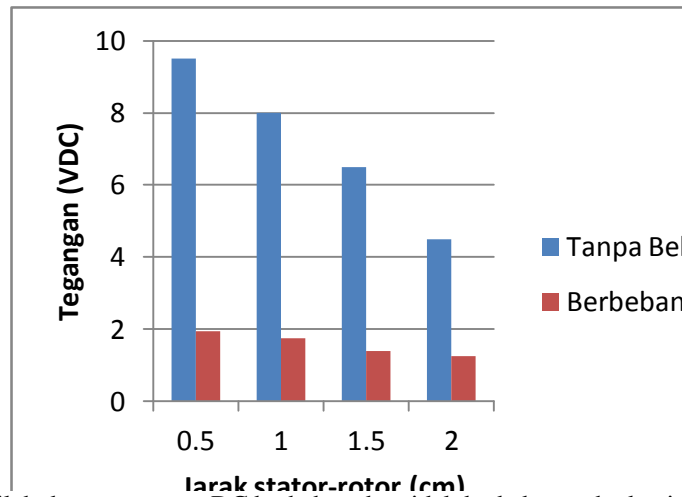
| No | Jarak stator-rotor (cm) | RPM kipas (pipa <i>penstock</i> 1) | | | RPM kipas (pipa <i>penstock</i> 2) | | |
|----|-------------------------|------------------------------------|---------|---------|------------------------------------|---------|---------|
| | | Kipas 1 | Kipas 2 | Kipas 3 | Kipas 1 | Kipas 2 | Kipas 3 |
| 1 | 0,5 | 915 | 345 | 0 | 765 | 341 | 0 |
| 2 | 1 | 890 | 320 | 0 | 685 | 312 | 0 |
| 3 | 1,5 | 830 | 0 | 0 | 590 | 0 | 0 |
| 4 | 2 | 800 | 0 | 0 | 550 | 0 | 0 |

Analisis percobaan pertama dapat dilihat pada gambar 2 yang menunjukkan nilai tegangan AC dan DC pembangkit pada kecepatan putar rotor sebesar 975 rpm. Percobaan pertama ini menggunakan pipa *penstock* 1.



Gambar 2. Grafik hubungan output AC dan DC terhadap jarak stator-rotor pada pipa *penstock* 1

Gambar 2 menunjukkan pada saat kecepatan putar rotor sebesar 975 rpm, rata-rata output AC pada jarak 0,5 cm sebesar 19 AC Volt dan pada output DC sebesar 9,5 DC Volt. Semakin bertambahnya jarak antara stator-rotor akan membuat kecilnya tegangan yang dihasilkan, maka dari itu output tegangan DC dipilih karena pada output tegangan AC generator tidak mencapai target yang diharapkan.



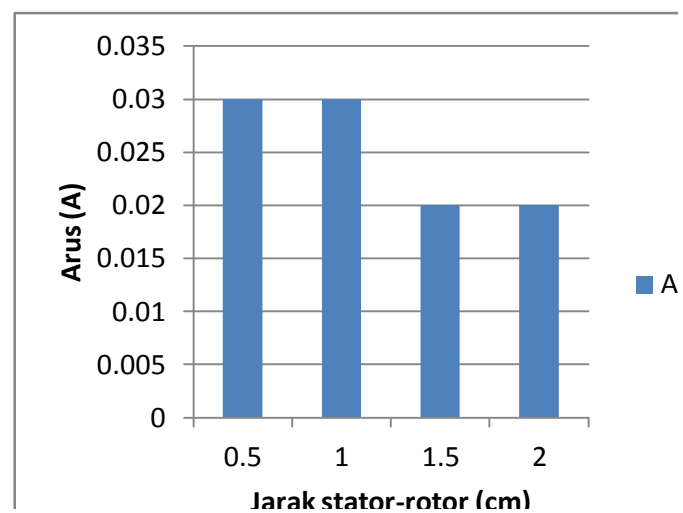
Gambar 3. Grafik hubungan output DC berbeban dan tidak berbeban terhadap jarak stator-rotor.

Gambar 3. menunjukkan pada kecepatan putar rotor sebesar 975 rpm, menghasilkan output sebesar 9,5 Volt DC dan menurun menjadi 1,95 Volt DC saat diberi beban 3 buah kipas angin. Pada jarak stator-rotor diubah menjadi 2 cm, tegangan output turun drastis menjadi 4,5 Volt DC saat tidak berbeban dan 1,25 Volt DC saat berbeban. Hal ini menandakan adanya drop tegangan yang cukup signifikan saat proses pembebanan, drop tegangan dapat di amati pada tabel 5.

Tabel 5. Drop tegangan percobaan pertama pada pipa *penstock* 1.

| No | Jarak stator-rotor (cm) | Volt DC | | Arus akibat beban DC (A) | Drop tegangan (Volt) |
|----|-------------------------|-------------|----------|--------------------------|----------------------|
| | | Tanpa beban | Berbeban | | |
| 1 | 2 | 4,5 | 1,25 | 0,02 | 3,25 |
| 2 | 1,5 | 6,5 | 1,4 | 0,02 | 5,1 |
| 3 | 1 | 8 | 1,75 | 0,03 | 6,25 |
| 4 | 0,5 | 9,5 | 1,95 | 0,03 | 7,55 |

Pada kondisi 975 rpm dibebani kipas dengan daya 9 watt menghasilkan drop tegangan sebesar 72 % pada jarak stator-rotor 2 cm. Drop tegangan mengalami perubahan ketika jarak antara stator-rotor diubah, drop tegangan mengalami kenaikan 4,25 Volt yang mana kondisi drop tegangannya berubah menjadi 80%.



Gambar 4. Grafik arus berbeban pada pipa *penstock* 1.

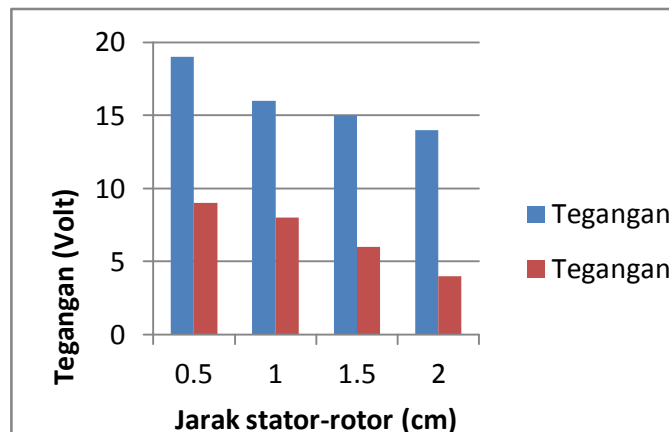
Gambar 4 menunjukkan kenaikan arus yang ditarik beban yang sebanding dengan berkurangnya jarak antara stator-rotor pada generator. Hasil percobaan menunjukkan arus yang berbeda dari jarak 0,5 cm menjadi 2 cm adalah 0,03 A berubah menjadi 0,02 A. Berdasarkan percobaan pertama diperoleh nilai daya output (P_{out}) dan nilai efisiensi dari debit air pada pipa *penstock* 1.

Tabel 6. Efisiensi daya pada percobaan pertama pada pipa *penstock* 1

| No | Jarak stator-rotor (cm) | Tegangan DC (V) | | Arus akibat beban DC (A) | Daya input sistem (Watt) | Daya output sistem (Watt) | Efisiensi daya (%) |
|----|-------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|
| | | Tanpa beban | Ada beban | | | | |
| 1 | 2 | 4,5 | 1,25 | 0,02 | 42.943 | 0,028 | 0,8 |
| 2 | 1,5 | 6,5 | 1,4 | 0,02 | 42.943 | 0,038 | 0,10 |
| 3 | 1 | 8 | 1,75 | 0,03 | 42.943 | 0,052 | 0,12 |
| 4 | 0,5 | 9.5 | 1,85 | 0,03 | 42.943 | 0,055 | 0,14 |

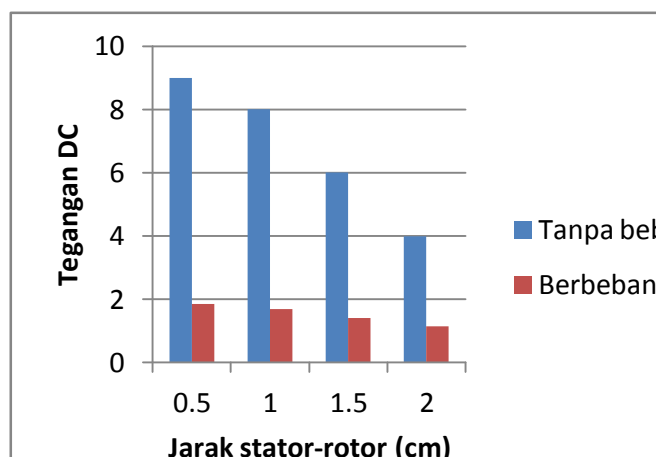
Dari tabel 6 terlihat bahwa efisiensi semakin meningkat seiring berkurangnya jarak antara stator-rotor, meski penambahan dari efisiensi sangatlah kecil hanya 0,2 % saja namun dapat dijadikan tolak ukur keberhasilan pada percobaan pertama.

Analisis percobaan kedua dapat dilihat pada gambar 5 yang menunjukkan nilai tegangan AC dan DC yang dihasilkan generator. Percobaan kedua menggunakan pipa *penstock* 2. Berikut grafik gambar hasil percobaan kedua.



Gambar 5. Grafik hubungan output AC dan DC terhadap jarak stator-rotor pada pipa *penstock* 2.

Gambar 5 menunjukkan pada saat kecepatan putar rotor sebesar 775 rpm, rata-rata output AC pada jarak 0,5 cm sebesar 19 AC Volt dan pada output DC sebesar 9 DC Volt. Semakin bertambahnya jarak antara stator-rotor akan membuat kecilnya tegangan yang dihasilkan, maka dari itu output tegangan DC dipilih karena pada output tegangan AC generator tidak mencapai target yang diharapkan.



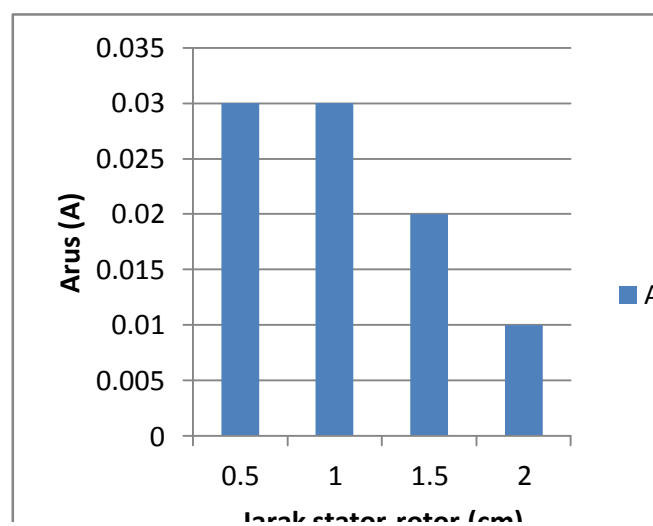
Gambar 6. Grafik hubungan output DC berbeban dan tidak berbeban terhadap jarak stator-rotor.

Gambar 6. menjelaskan bahwa pada kecepatan putar rotor sebesar 775 rpm, diperoleh output sebesar 9 Volt DC dan menurun secara drastis menjadi 1,85 Volt DC saat diberi beban 3 buah kipas angin. Pada jarak stator-rotor diubah menjadi 2 cm, tegangan output turun drastis menjadi 4 Volt DC saat tidak berbeban dan ketika dibebani menjadi 1,15 Volt DC. Hal ini menandakan adanya drop tegangan yang cukup signifikan saat proses pembebanan, drop tegangan dapat di amati pada tabel 7.

Tabel 7. Drop tegangan percobaan kedua pada pipa *penstock* 2.

| No | Jarak stator-rotor (cm) | Volt DC | | Arus akibat beban DC (A) | Drop tegangan (Volt) |
|----|-------------------------|-------------|----------|--------------------------|----------------------|
| | | Tanpa beban | Berbeban | | |
| 1 | 2 | 4 | 1,15 | 0,02 | 2,85 |
| 2 | 1,5 | 6 | 1,4 | 0,02 | 5,6 |
| 3 | 1 | 8 | 1,7 | 0,03 | 6,3 |
| 4 | 0,5 | 9 | 1.85 | 0,03 | 7,15 |

Tabel 7 menunjukkan pada saat kondisi 775 rpm dibebani kipas dengan daya 9 watt menghasilkan drop tegangan sebesar 71 % pada jarak stator- rotor 2 cm. Perubahan juga terjadi seperti pada percobaan pertama ketika jarak stator-rotor diubah, maka drop tegangannya juga mengalami perubahan. Drop tegangan mengalami perubahan ketika jarak antara stator-rotor diubah menjadi 0,5 cm, drop tegangan mengalami kenaikan 4,3 Volt yang mana kondisi drop tegangannya berubah menjadi 79%.



Gambar 7. Grafik arus berbeban pada pipa *penstock* 2.

Gambar 7 menunjukkan kenaikan arus yang ditarik beban yang sebanding dengan berkurangnya jarak antara stator-rotor pada generator. Hasil percobaan menunjukkan arus yang berbeda dari jarak 0,5 cm menjadi 2 cm adalah 0,03 A berubah menjadi 0,01 A. Berdasarkan percobaan kedua tersebut juga diperoleh nilai daya output (P_{out}) dan nilai efisiensi dari debit air yang digunakan (seperti pada percobaan pertama) pada pipa *penstock* 2.

Tabel 8. Efisiensi daya pada percobaan kedua pada pipa *penstock* 2.

| No | Jarak stator-rotor (cm) | Tegangan DC (V) | | Arus akibat beban DC (A) | Daya input sistem (Watt) | Daya output sistem (Watt) | Efisiensi daya (%) |
|----|-------------------------|-----------------|-----------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------|
| | | Tanpa beban | Ada beban | | | | |
| 1 | 2 | 4 | 1,15 | 0,01 | 8,949 | 0,015 | 0,016 |
| 2 | 1,5 | 6 | 1,4 | 0,02 | 8,949 | 0,028 | 0,031 |
| 3 | 1 | 8 | 1,7 | 0,03 | 8,949 | 0,052 | 0,058 |
| 4 | 0,5 | 9 | 1,85 | 0,03 | 8,949 | 0,055 | 0,061 |

Dari tabel 8 terlihat bahwa efisiensi juga semakin meningkat seiring berkurangnya jarak antar stator-rotor seperti yang dilakukan pada percobaan pertama, percobaan kedua ini peningkatan efisiensi sangatlah kecil dikarenakan debit air pipa *penstock* 2 lebih kecil daripada debit air pipa *penstock* 1.

Kesimpulan

1. Berdasarkan penelitian dan analisa pipa *penstock* 1 diperoleh data dengan kecepatan aliran air sebesar 2,22 m/s dengan aliran debit air sebesar 0,017427 m³/s, tegangan AC dan DC diperoleh dari generator dengan kecepatan perputaran rotor sebesar 975 rpm. Pada jarak 0,5 cm menghasilkan tegangan AC sebesar 19 Volt dan juga tegangan DC sebesar 9,5 Volt tanpa beban dan 1,95 Volt DC saat berbeban.
2. Penelitian pipa *penstock* 2 memperoleh data hasil pengujian sebesar 775 rpm pada perputaran rotor. Penelitian kedua ini menghasilkan tegangan AC dan DC. Pada jarak 0,5 cm menghasilkan tegangan AC sebesar 19 Volt, tegangan DC sebesar 9 Volt tanpa beban dan 1,85 Volt DC berbeban.

Daftar Pustaka

- Asy'ari, H., (2010), "*Bahan ajar Sistem Pembangkit*", Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hariansyah, M.,, "*Rencana Peningkatan Kapasitas Daya Listrik pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*".
- Nafis, Subhan., (2008), "*Pemilihan Tipe Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*". Sumber: http://www.ccitonline.com/mekanikal/tiki-read_article.php?articleId=29
- Notosudjono, D., (2002), "*Perencanaan PLTMH di Indonesia*", BPPT.
- Thoyib, M., (1999), "*Filsafat Ilmu dan Perkembangannya*", Muhammadiyah University Press, Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- <http://febri-fisika.blogspot.com/2011/11/energi-air.html>
- <http://niningf43.blogspot.com/2011/02/pltmh.html>
- <http://mrratkey.blogspot.com/2012/09/normal-0-false-false-false-in-x-none-x.html>