

Pengaruh Debit dan Head Terhadap Daya Mikro Hidro Pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) Papaloang Pulau Bacan

Tri Suyono¹, Lita A. Latief², Kifli Umar³, Fitra Putra Siko⁴
Universitas Khairun, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin, Indonesia
trisuyono@gmail.com

Abstract

Pengoperasian Instalasi Pengolahan Air tidak memerlukan energy listrik untuk menggerakkan sistem kimia yaitu pompa dosing dan mixer pengaduk bahan kimia serta lampu penerangan, pada IPA sitem gravitasi kebanyakan lokasinya berada jauh dari permukiman dan akses jalannya kebanyakan cukup sulit, dan tidak tersedia jaringan listrik dari PLN, sedangkan jika menggunakan genset penyediaan dan pengangkutan BBM tidak mudah, sehingga diperlukan solusi pengadaan energy yang tidak tergantung bahan bakar.

Sisa tekan air yang mengalir dari intake ke IPA rata-rata diatas 3 bar, atau setara dengan 30 meter kolom air, sehingga masih memiliki potensi untuk dimanfaatkan untuk menghasilkan energy listrik dengan mikro hidro dengan memasang mikro hidro diatas tangki V-note, sehingga air yang masuk dimanfaatkan uuntuk menggerakkan mikro hidro sebelum selanjutnya dimasukkan ke tangki V-note untuk dilakukan proses pengolahan sampai mencapai standar air minum yang disyaratkan. Selanjutnya dilakukan pengujian terhadap pengaruh debit dan head terhadap daya mikrohidro dengan melakukan variasi debit, hal tersebut untuk mengetahui performance dari mikro hidro.

Dari setiap variasi debit tersebut akan didapatkan data yang digunakan untuk perhitungan dalam mencari beberapa formula dasar, diperoleh hasil daya keluaran generator dan efisiensi total. Pada data hasil perhitungan dimana debit air (Q) = (0,01 – 0,02) m³/s menghasilkan daya keluaran generator (P_g) = (5,02 – 8,97) kW, Pada data penelitian dimana debit air (Q) = (0,01 – 0,02) m³/s menghasilkan daya keluaran generator (P_g) = (4,80 – 8,94) kW dengan efisiensi total (η_T) = (0,727 – 0,759). Maka dapat dinyatakan bahwa semakin besar debit air semakin besar pula daya keluaran dan efisiensi total yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh head, panjang dan diameter pipa pesat, serta kecepatan aliran air. Dengan demikian hasil perhitungan dengan hasil penelitian yang didapat sudah mendekati.

Kata kunci: Mikro Hidro, Debit, Head, Daya dan Efisiensi

PENDAHULUAN

Sistem Penyediaan Air Minum (SPAM) yang dibangun kebanyakan adalah sistem gravitasi dengan debit air antara 5 L/det (0,05 m³/det) sampai 100 L/det (0,1 m³/det) dengan beda tinggi (*head*) antara 25 sampai 100 meter, serta panjang pipa transmisi atau pipa pesat antara 700 meter sampai 12000 meter. (DITPAM PU, 2015)

Dari gambaran kondisi di atas maka ada potensi pemanfaatan sisa tekan air dari bendungan (*intake*) ke Instalasi Pengolahan Air (IPA) untuk menggerakkan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO) sebagai sumber energi listrik untuk keperluan IPA dan sekitarnya. Untuk itu perlu dilakukan analisa hidrolis pada pipa transmisi untuk mengetahui sisa tekan air atau *head* sebenarnya setelah melewati pipa transmisi pada jarak tertentu.

Instalasi Pengolahan Air (IPA) Kapasitas 20-30 L/det pada Sistem Penyediaan Air Minum Ibu Kota Kecamatan (SPAM IKK) Bacan, Kabupaten Halmahera Selatan, Propinsi Maluku Utara, memiliki lokasi yang cenderung jauh dari pemukiman dan jangkauan instalasi listrik dari PLN, sehingga dibangun MIKRO HIDRO sebagai sumber energi listrik, terutama untuk sistem pompa kimia dan penerangan.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO) yang terdapat pada lokasi SPAM IKK Bacan, memiliki jarak dari *intake* dengan lokasi IPA yang cukup jauh yaitu 1200 meter dengan beda tinggi (*head*) 70 meter, namun belum ada kajian mendalam tentang pengaruh debit terhadap daya keluaran pada MIKRO HIDRO.

TINJAUAN PUSTAKA

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO)

Mikro hidro atau yang dimaksud dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO) 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. Mikro hidro merupakan sebuah istilah yang terdiri dari kata mikro yang berarti kecil dan hidro yang berarti air.

Mikro hidro adalah Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala kecil dengan batasan kapasitas antara 5 kW (Kilo Watt) – 1 MW (Mega Watt) per unit (Badan Litbang ESDM, 2012). Terdapat beberapa batasan daya lain untuk kategori Mikro hidro selain yang dinyatakan oleh Badan litbang ESDM, yaitu kapasitas maksimal 120 kW dan kurang dari 200 kW (Damastuti, A.P., 1997). Ada juga penggolongan lain yang memilah sistem PLTA skala kecil menjadi tiga, yaitu Minihidro dengan kapasitas antara 100 kW sampai dengan 1 MW, Mikro hidro dengan kapasitas antara 1 – 100 kW, dan Pikohidro dengan kapasitas dari beberapa Watt (W) sampai dengan 1000 Watt.

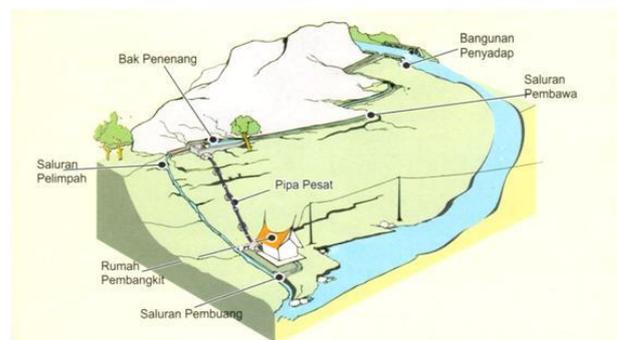
Beberapa komponen yang digunakan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO) baik komponen utama maupun bangunan penunjang, antara lain :

1. Dam/Bendungan Pengalih (*intake*). Dam pengalih berfungsi untuk mengalihkan air melalui sebuah pembuka di bagian sisi sungai ke dalam sebuah bak pengendap.
2. Bak Pengendap (*Settling Basin*). Bak pengendap digunakan untuk memindahkan partikel-partikel pasir dari air. Fungsi dari bak pengendap adalah sangat penting untuk melindungi komponen-komponen berikutnya dari dampak pasir.
3. Saluran Penghantar (*Headrace*). Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan.
4. Bak Penenang (*Forebay*). Bak penenang berada di ujung saluran pembawa yang berfungsi untuk

mecegah turbulensi air sebelum diterjunkan melalui pipa pesat.

5. Pipa Pesat (*Penstock*). *Penstock* dihubungkan pada sebuah elevasi yang lebih rendah ke sebuah roda air, dikenal sebagai sebuah turbin.
6. Turbin. Turbin berfungsi untuk mengkonversi energi aliran air menjadi energi putaran mekanis.
7. Pipa Hisap (*Draft Tube*). Pipa hisap berfungsi untuk menghisap air, mengembalikan tekanan aliran yang masih tinggi ke tekanan atmosfer.
8. Generator. Generator berfungsi untuk menghasilkan listrik dari putaran mekanis.
9. Panel kontrol. Panel kontrol berfungsi mengatur dan mengendalikan beban listrik yang menggunakan motor listrik sebagai penggerak.
10. Pengalih Beban (*Ballast load*). Pengalih beban berfungsi sebagai beban sekunder (*dummy*) ketika beban konsumen mengalami penurunan. Kinerja pengalih beban ini diatur oleh panel kontrol.

Penggunaan beberapa komponen disesuaikan dengan tempat instalasi (kondisi geografis, baik potensi aliran air serta ketinggian tempat) serta budaya masyarakat. Sehingga terdapat kemungkinan terjadi perbedaan desain MIKRO HIDRO serta komponen yang digunakan antara satu daerah dengan daerah yang lain.



Gambar 2.1 Skema Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (MIKRO HIDRO).

Prinsip Kerja MIKRO HIDRO

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (MIKRO HIDRO) pada prinsipnya memanfaatkan beda tinggi (*head*) dan jumlah debit air yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran air ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan menghasilkan listrik.

Pembangunan MIKRO HIDRO perlu diawali dengan pembangunan bendungan untuk mengatur aliran air yang akan dimanfaatkan sebagai tenaga penggerak MIKRO HIDRO. Bendungan ini dapat berupa bendungan beton atau bendungan beronjong. Bendungan perlu dilengkapi dengan pintu air dan saringan sampah untuk mencegah masuknya kotoran atau endapan lumpur. Bendungan sebaiknya dibangun pada dasar sungai yang stabil dan aman terhadap banjir.

Di dekat bendungan dibangun bangunan pengalih (*intake*). Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan bak pengendap (*settling basin*) yang berfungsi untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih. Setelah itu dibangun saluran penghantar (*headrace*) yang berfungsi mengalirkan air dari *intake*. Saluran ini dilengkapi dengan saluran pelimpah pada setiap jarak tertentu untuk mengeluarkan air yang berlebih. Saluran ini dapat berupa saluran terbuka atau tertutup.

Bak penenang (*forebay*) juga dibangun untuk menenangkan aliran air dan mencegah turbulensi air sebelum diterjunkan ke pipa pesat (*penstock*). Saluran ini dibuat dengan konstruksi beton dan berjarak sedekat mungkin ke rumah turbin untuk menghemat pipa pesat.

Pipa pesat berfungsi mengalirkan air sebelum masuk ke turbin. Dalam pipa ini, energi potensial air di bak penenang diubah menjadi energi kinetik yang akan memutar roda turbin. Biasanya terbuat dari pipa baja yang dirol, lalu dilas. Untuk sambungan antar pipa digunakan *flens*. Pipa ini harus didukung oleh pondasi yang mampu menahan beban statis dan dinamisnya. Pondasi dan dudukan ini diusahakan selurus mungkin, karena itu perlu dirancang sesuai dengan kondisi tanah.

Setelah keluar dari pipa pesat, air akan memasuki turbin pada bagian *inlet*. Di

dalamnya terdapat *guided vane* untuk mengatur pembukaan dan penutupan turbin serta mengatur jumlah air yang masuk ke *runner blade*/bilah (komponen utama turbin). *Runner* terbuat dari baja dengan kekuatan tarik tinggi yang dilas pada dua buah piringan sejajar. Aliran air akan memutar *runner* dan menghasilkan energi kinetik yang akan memutar poros turbin.

Energi yang timbul akibat putaran poros kemudian ditransmisikan ke generator. Seluruh sistem ini harus seimbang. Turbin perlu dilengkapi *casing* yang berfungsi mengarahkan air ke *runner*. Pada bagian bawah *casing* terdapat pengunci turbin. Bantalan (*bearing*) terdapat pada sebelah kiri dan kanan poros dan berfungsi untuk menyangga poros agar dapat berputar dengan lancar.

Turbin, generator dan sistem kontrol masing-masing diletakkan dalam sebuah rumah yang terpisah. Pondasi turbin-generator juga harus dipisahkan dari pondasi rumahnya. Tujuannya adalah untuk menghindari masalah akibat getaran. Rumah turbin harus dirancang sedemikian agar memudahkan perawatan dan pemeriksaan.

Pendapat pertama yang dikemukakan oleh Pudjanarsa menyatakan bahwa turbin air secara luas, sedangkan pendapat keduanya menyatakan secara spesifik tentang cara kerja turbin hidrolis, untuk pernyataan ketiga lebih spesifik dengan membagi prinsip kerja *impuls* dan reaksi.

Daya yang dibangkitkan turbin

Dari kapasitas air Q dan tinggi air jatuh H diperoleh daya keluaran turbin. Daya keluaran turbin dihitung menggunakan persamaan :

$$P_a = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \dots \dots \dots (1)$$

dimana :

- P_a = Daya air (kW)
- Q = Kapasitas air (m^3/s)
- ρ = Massa jenis air (kg/m^3)
- g = Gaya gravitasi (m/s^2)
- H = Tinggi air jatuh (m)

dan efisiensi turbin :

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_a} \dots \dots \dots (2)$$

maka daya turbin diperoleh :

$$P_t = P_a \cdot \eta_t \dots \dots \dots (3)$$

$$P_t = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \dots \dots \dots (4)$$

dimana :

P_t = Daya turbin (kW)

η_t = Efisiensi turbin

Secara sederhana dapat dinyatakan bahwa semakin tinggi jatuh air, dengan kapasitas aliran sama, akan mempunyai energi potensial yang lebih besar dibandingkan dengan tinggi jatuh air yang lebih rendah.

Tabel 2.3 Nilai efisiensi turbin

Jenis Turbin	Nilai Efisiensi (η_t)
<i>Pelton</i>	0,8 – 0,85
<i>Francis</i>	0,8 – 0,9
<i>Cross-Flow</i>	0,7 – 0,8
<i>Kaplan/Propeller</i>	0,8 – 0,9

METODOLOGI

Tempat Pelaksanaan Penelitian

Lokasi penelitian dilaksanakan di Instalasi Pengolahan Air (IPA) pada Sumber Penyediaan Air Minum Ibu Kota Kecamatan (SPAM IKK) Bacan, Kabupaten Halmahera Selatan, Propinsi Maluku Utara.

Alat

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini, diantaranya :

1. Mikro hidro

Mikro hidro memiliki 3 komponen utama, yaitu Air sebagai sumber energi

Turbin yang digunakan pada penelitian ini adalah Turbin *Cros-Flow*

Generator berkapasitas 12,5 kW, 230/389 Volt, 50/60 Hz, 3 Phase



Gambar 1 Mikro hidro yang terdapat pada Instalasi Pengolahan Air (IPA) SPAM IKK Bacan

2. Panel kontrol untuk mengatur tegangan dan mengendalikan beban listrik.



Gambar 2 Panel Kontrol yang terpasang pada mikro hidro di Instalasi Pengolahan Air (IPA) SPAM IKK Bacan

3. Tachometer

Tachometer berfungsi untuk mengukur putaran dari sebuah objek, khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah poros dalam satu satuan waktu.



Gambar 3.3 Tachometer

Teknik Analisis

Jenis analisis data menggunakan pendekatan kuantitatif, dimana peneliti akan bekerja dengan

angka-angka sebagai perwujudan gejala yang diamati.

Tahapan Penelitian

Adapun tahapan-tahapan penelitian yang dilaksanakan yaitu sebagai berikut:

1. Survei lokasi tempat pelaksanaan penelitian

Survei lokasi tempat pelaksanaan penelitian dilakukan terlebih dahulu agar mempermudah proses penelitian.

2. Persiapan alat-alat yang akan digunakan

Menyiapkan dan melengkapi alat sebelum penelitian dilakukan agar mempermudah dalam pengambilan data pada saat penelitian, alat yang digunakan antara lain:

- Tachometer untuk mengukur putaran turbin
3. Pengujian dan pengambilan data di lokasi penelitian

Data-data yang diambil yaitu meliputi data pengukuran variasi debit, daya, kapasitas dan peta/gambar jaringan instalasi pipa dari intake sampai ke MIKRO HIDRO

4. Tahap analisis dan perhitungan data penelitian

Dalam tahap analisis dan perhitungan data menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

1. Perhitungan kecepatan aliran

$$V = \frac{Q}{1/4 \cdot \pi \cdot D^2} \quad (m/s)$$

2. Perhitungan reynolds number

$$Re = \frac{V \cdot D \cdot \rho}{\mu} = \frac{V \cdot D}{\nu}$$

3. Perhitungan major losses

$$H_f = f \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (m)$$

4. Perhitungan minor losses

$$H_{fm} = K \frac{V^2}{2 \cdot g} \quad (m)$$

5. Perhitungan total head bersih

$$H_{net} = H_{gross} - Losses \quad (m)$$

6. Perhitungan daya turbin

$$P_t = Q \cdot \rho \cdot g \cdot H \cdot \eta_t \quad (kW)$$

7. Perhitungan daya generator

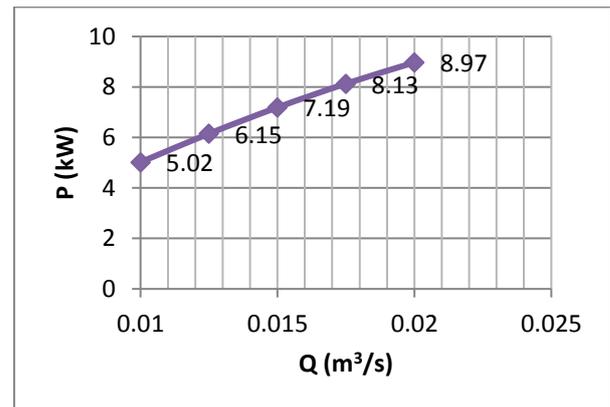
$$P_g = \eta_g \cdot P_t \quad (kW)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil perhitungan

Pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil perhitungan

Grafik pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil perhitungan menjelaskan bahwa semakin besar debit air semakin besar pula daya yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.1 dimana debit (0,01) m³/s daya yang dihasilkan sebesar (5,02) kW, debit (0,0125) m³/s daya yang dihasilkan sebesar (6,15) kW, debit (0,015) m³/s daya yang dihasilkan sebesar (7,19) kW, debit (0,0175) m³/s daya yang dihasilkan sebesar (8,13) kW, dan pada debit (0,02) m³/s daya yang dihasilkan sebesar (8,97) kW.

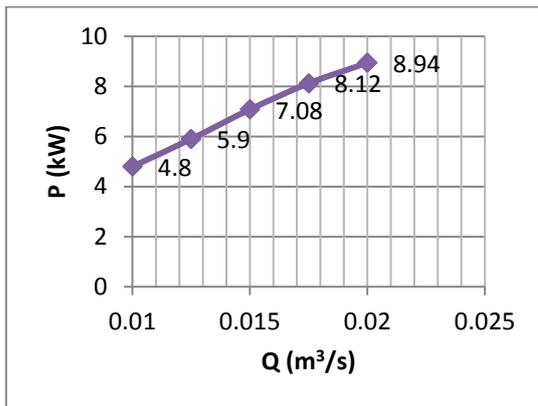


Gambar 4.1 Grafik pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil perhitungan

Data hasil penelitian

Pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil penelitian

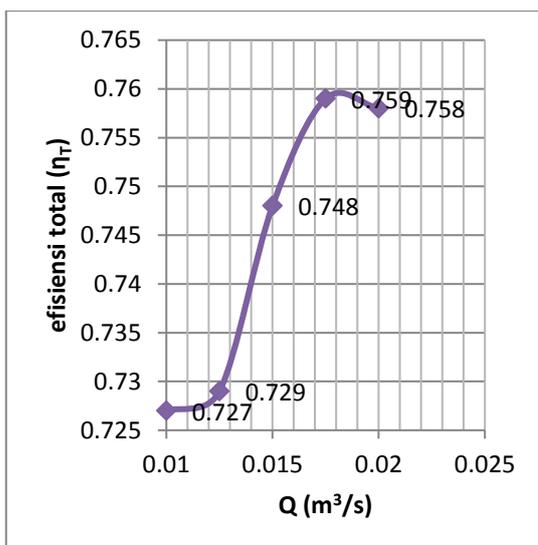
Grafik pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil penelitian menjelaskan bahwa semakin besar debit air semakin besar pula daya yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.2 dimana debit (0,01) m³/s daya berada pada (4,80) kW, debit dinaikan menjadi (0,0125) m³/s daya pun naik menjadi (5,90) kW, lalu debit dinaikan menjadi (0,015) m³/s daya pun naik menjadi (7,08) kW, kemudian debit dinaikan lagi menjadi (0,0175) m³/s daya pun naik menjadi (8,12) kW, samapai pada debit (0,02) m³/s daya pun naik menjadi (8,94) kW.



Gambar 4.2 Grafik pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) pada data hasil penelitian

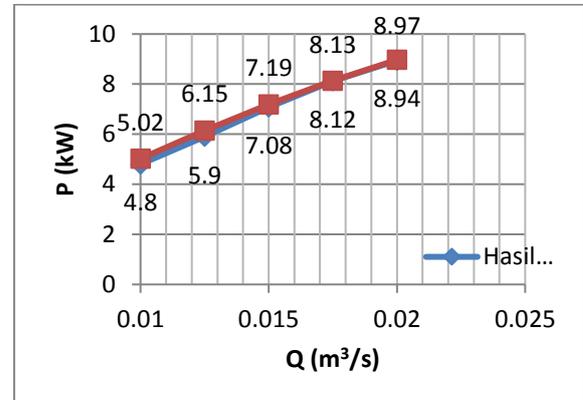
Pengaruh debit (Q) terhadap efisiensi total (η_T) pada data hasil penelitian

Grafik pengaruh debit (Q) terhadap efisiensi total (η_T) pada data hasil penelitian menjelaskan bahwa semakin besar debit air efisiensi total pun cenderung naik. Hal ini dapat dilihat pada gambar 4.3 dimana debit (0,01) m³/s efisiensi total (0,727), debit (0,0125) m³/s efisiensi total naik menjadi (0,729), debit (0,015) m³/s efisiensi total naik lagi menjadi (0,748), debit (0,0175) m³/s efisiensi total naik menjadi (0,759), namun pada debit (0,02) m³/s efisiensi total sedikit turun menjadi (0,758).



Gambar 4.3 Grafik pengaruh debit (Q) terhadap efisiensi total (η_T) pada data hasil penelitian

Perbandingan antara data hasil penelitian dengan data hasil perhitungan



Gambar 4.4 Grafik perbandingan pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) antara data hasil penelitian dengan data hasil perhitungan

Grafik perbandingan pengaruh debit (Q) terhadap daya (P) antara data hasil penelitian dengan data hasil perhitungan dapat dilihat pada gambar 4.4. Dimana pada gambar tersebut menjelaskan bahwa hasil perhitungan memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan data penelitian namun tidak terlalu jauh. Angkanya dapat dilihat pada gambar 4.1 dan gambar 4.2.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa :

1. Pada data hasil perhitungan semakin besar debit air maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Dimana debit air (Q) = (0,01 – 0,02) m³/s menghasilkan daya keluaran generator (P_g) sebesar (5,02 – 8,97) kW.
2. Pada data hasil penelitian terlihat semakin besar debit air maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Dimana debit air (Q) = (0,01 – 0,02) m³/s menghasilkan daya keluaran generator (P_g) sebesar (4,80 – 8,94) kW.
3. Pada data hasil penelitian terlihat semakin besar debit air maka semakin besar pula efisiensi total yang didapatkan. Dimana debit air (Q) = (0,01 – 0,02) m³/s, efisiensi total (η_T) yang didapatkan sebesar (0,727 – 0,759). Dari ketiga penjelasan di atas maka dapat dinyatakan bahwa semakin besar debit air semakin besar pula daya keluaran dan efisiensi total yang dihasilkan. Hal ini dipengaruhi oleh *head*, panjang dan diameter pipa pesat, serta kecepatan aliran air. Dengan demikian perbandingan data hasil perhitungan dengan

data hasil penelitian yang didapat sudah mendekati.

5.2 Saran

Sebagai upaya untuk menjamin kontinuitas pengoperasian Instalasi Pengolahan Air (IPA) dengan sistem gravitasi yang penyediaan energy listriknya cukup sulit, maka disarankan untuk menggunakan mikro hidro sebagai sumber energy dengan memanfaatkan sisa tekan dari air yang mengalir ke IPA, hal tersebut mampu meminimalisir biaya operasional IPA yang berkaitan dengan energy listrik.

DAFTAR PUSTAKA

- Astu Pudjanarsa., dan Djati Nursuhud. 2006. *Mesin Konversi Energi*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Badan Litbang Energi dan Sumberdaya Mineral. 2012. *Mikrohidro*. (Online). (http://www.litbang.esdm.go.id/index.php?option=com_content&view=article&id=79:mikrohidro&catid=80:ketenagalistrikan-dan-ebtke&Itemid=93)
- Barlian M., Made Mara., dan Yesung A.P. 2013. *Perancangan Pipa Pesat, Dan Daya Keluaran Pembangkit Listrik Tenaga Air Kokok Putih Desa Bilok Petung Kecamatan Sembalun Kabupaten Lombok Timur*. *Dinamika Teknik Mesin*, (Online), Vol. 3, No. 2. (<http://download.portalgaruda.org/article.php/>)
- Damastuti, A.P. 1997. *Teknologi: Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro*. Wacana. (Online), Vol. 8, Mei-Juni 1997. (http://www.elsppat.or.id/download/file/w8_a6.pdf)
- Hunggul Y.S.H.N., dan M. Kudeng Sallata. 2015. *MIKRO HIDRO (Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro)*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Kifly Umar. 2012. *Penuntun Praktikum Fenomena Dasar Mesin*. Universitas Khairun. Ternate
- PT. Kusuma Wardana Group. 2015. *Installation, Operation and Maintenance Instructions of Microhydro (Radial-Flow Hydroelectric Generator)*. Ternate
- <http://adesalbg.wordpress.com/tag/penstock/>
http://id.m.wikipedia.org/wiki/generator_listrik
<http://id.m.wikipedia.org/wiki/mikrohidro>
<http://insyaansori.blogspot.co.id/2014/02/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html>
<http://www.engineeringtoolbox.com>

www.cink-hydro-energy.com/sites/default/files/image/vertical.gif
www.danielnugroho.com/science/apakah-Mikro-Hidro-itu/2/
www.darwin1797.wordpress.com
www.hydropowerplantstpln.blogspot.com/2012/02/pelatihan-di-bandung.html
www.nzdl.org/gsdmod