

# Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Desa Pallawa Kabupaten Bone Dengan Penambahan Spillway Gate dan Trash Rack

Muhammad Anshar<sup>1\*</sup>, Muh. Yusuf Yunus<sup>1</sup>, Muh Irsandi Adwianto<sup>1</sup>, Felnitha Allo Langi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia  
\*muh\_anshar@poliupg.ac.id

**Abstract:** Optimization of a system is needed to increase the ability of a system, such as the system in Micro Hydro Power Plant. Micro Hydro Power Plant is one of the efforts to realize national energy security and reduce carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emission levels, the use of renewable energy sources for the benefit of electricity must be prioritized. One of the renewable energy sources that can be utilized is water energy which can be used as a MHP. The Polytechnic built a 10 kW micro hydro power plant in Pallawa village to provide electricity services for the community. However, in its operation there are various obstacles such as the output power which is still very minimal. The instability of the output power produced is due to the installation of a simple trash rack so that there is still garbage from the river entering the penstock which affects the turbine rotation and has the potential to damage the turbine. In addition to the trash rack which is still very simple, in the spillway that is used to hold water only boards that should use a spillway gate. This research was conducted to optimize the performance of a micro hydro power plant by installing a trash rack or garbage filter and making a spillway gate or spillway. In this study, data was collected before and after the installation of the trash rack and spillway gate. After that, an analysis was carried out to determine the discharge, head, power output and system efficiency. The results obtained before the installation of the trash rack and spillway gate, the discharge was 0.400 m<sup>3</sup>/s, the head was 3.90 m, the output power was 5.845.32 watts – 7153.08 watts, and the system efficiency was 38.20% - 46.741%, while after the installation of the trash rack and spillway gate of 0.412 m<sup>3</sup>/s, the head of 4.18 m, the output power of 6,467.04 watts – 8,084.56 watts and the system efficiency of 39.43% - 49.29%.

**Keywords:** Micro Hydro Power Plant; Spillway Gate; Trash Rack, Power Plant Performance Optimization

**Abstrak:** Optimalisasi suatu sistem diperlukan untuk memperbesar kemampuan suatu sistem, seperti sistem pada PLTMH. PLTMH merupakan salah upaya untuk mewujudkan ketahanan energy nasional dan menurunkan tingkat emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), pemanfaatan sumber energy terbarukan untuk kepentingan ketenagalistrikan harus diutamakan. Salah satu sumber energy terbarukan yang dapat dimanfaatkan yaitu energy air yang dapat dijadikan PLTMH. Politeknik membangun pembangkit Mikrohidro dengan kapasitas 10 kW di desa Pallawa untuk memberikan pelayanan listrik bagi masyarakat. Namun dalam operasionalnya terdapat berbagai kendala seperti daya *output* yang masih sangat minim. Ketidak stabilan daya *output* yang dihasilkan dikarenakan pemasangan *trash rack* yang masih sederhana sehingga masih ada sampah-sampah yang berasal dari sungai masuk ke *penstock* yang mempengaruhi putaran turbin dan berpotensi merusak turbin. Selain *trash rack* yang masih sangat sederhana, pada saluran pelimpah yang digunakan untuk menahan air hanya papan yang seharusnya menggunakan *spillway gate*. Penelitian ini dilakukan untuk mengoptimalkan kinerja pembangkit listrik tenaga mikrohidro dengan pemasangan *trash rack* atau saringan sampah dan pembuatan *spillway gate* atau saluran pelimpah. Pada penelitian ini dilakukan pengambilan data sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate*. Setelah itu dilakukan analisa untuk mengetahui debit, *head*, daya output dan efisiensi sistem. Hasil penelitian didapatkan sebelum pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* debit sebesar 0,400 m<sup>3</sup>/s, head sebesar 3,90 m, daya output sebesar 5.845,32 watt – 7.153,08 watt, dan efisiensi sistem sebesar 38,20 % - 46,741 %, sedangkan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* sebesar 0,412 m<sup>3</sup>/s, head sebesar 4,18 m, daya output sebesar 6.467,04 watt – 8.084,56 watt dan efisiensi sistem sebesar 39,43 % - 49,29 %.

**Kata kunci :** PLTMH, *Spillway Gate*, *Trash Rack*, Optimasi Kinerja Pembangkit

## I. PENDAHULUAN

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia Optimalisasi adalah berasal dari kata dasar optimal yang berarti terbaik, tertinggi, paling menguntungkan, menjadikan paling baik, menjadikan paling

tinggi, pengoptimalan proses, cara, perbuatan mengoptimalkan (menjadikan paling baik, paling tinggi, dan sebagainya) sehingga optimalisasi adalah suatu tindakan, proses, atau metodologi untuk membuat sesuatu (sebagai sebuah desain, sistem, atau keputusan) menjadi lebih atau sepenuhnya sempurna, fungsional, atau lebih efektif.

Dalam rangka mewujudkan ketahanan energy nasional dan menurunkan tingkat emisi karbondioksida (CO<sub>2</sub>), pemanfaatan sumber energy terbarukan untuk kepentingan ketenagalistrikan harus diutamakan. Sumber energy terbarukan adalah sumber energy yang dihasilkan dari sumber daya energy yang berkelanjutan jika dikelola dengan baik, antara lain panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta pergerakan dan perbedaan suhu lapisan laut [1].

Berdasarkan data dari Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), Indonesia mempunyai potensial tenaga air sebesar 75.000 MW dan saat itu baru 13,5% potensi tersebut dimanfaatkan [2]. Rasio elektrifikasi di Indonesia baru mencapai rata-rata 72% yang berarti masih ada sekitar 28% masyarakat yang belum menggunakan listrik, terutama di daerah pedesaan [3]. Hal ini menunjukkan bahwa masih ada sekitar 28% masyarakat yang belum menggunakan listrik. Pada tahun 2010 Tim Politeknik membangun pembangkit Mikrohidro dengan kapasitas 10 kW di desa Pallawa untuk memberikan pelayanan listrik bagi masyarakat [4]. Desa tersebut berada sekitar 60 km dari kota Kabupaten Bone dan sekitar 130 km dari Makassar. Walaupun tidak terlalu jauh jaraknya tetapi belum terjangkau listrik PLN karena terletak di bawah kaki gunung Latoli. Pemanfaatan potensi tersebut merupakan aplikasi pemanfaatan energi baru dan terbarukan untuk menghasilkan listrik. Mata pencaharian masyarakat umumnya petani. Tingkat pendidikan masyarakat tersebut umumnya hanya tamat SD, sebagian kecil yang tamat SMP. Penerangan yang digunakan masyarakat di daerah tersebut sebelum ada Mikro hidro, umumnya menggunakan lampu minyak tanah, hanya sebagian kecil masyarakat yang mampu menggunakan genset. Tingkat ekonomi masyarakat tersebut umumnya di bawah rata-rata.

Kelebihan yang dimiliki daerah tersebut yaitu terdapat bendungan Unyi untuk pengairan sawah di Kabupaten Soppeng. Aliran pengairan tersebut melintasi sebagian masyarakat di desa Pallawa sekitar 40 rumah tangga. Pengairan tersebut terdapat potensi Mikrohidro untuk pembangkit listrik skala mikro. Sehingga pada tahun 2010 atas kerjasama Tim Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan masyarakat setempat membangun Pembangkit Listrik Mikrohidro dengan kapasitas 10 kW yang dapat melayani 27 rumah tangga (KK) yang berada disekitar pembangkit Mikrohidro tersebut. Pembangkit Mikrohidro ini mulai beroperasi pada bulan juni 2010 dengan pemanfaatan utama listrik untuk penerangan dan keperluan rumah tangga lainnya, keperluan telah dimanfaatkan untuk kegiatan sosial dan kebutuhan *home industry* seperti pertukangan kayu dan perbengkelan.

Pembangkit Mikrohidro tersebut selain memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena Mikrohidro tersebut sering dijadikan tempat praktek dan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Mikrohidro di daerah ini merupakan mikrohidro yang paling efektif beroperasi dan paling dekat dengan perguruan tinggi di Makassar. Sejak adanya pembangkit ini, masyarakat sudah menggunakan listrik penerangan sehingga anak sekolah termotivasi belajar setiap malam, masyarakat meningkatkan wawasan dan mendapatkan hiburan dan informasi melalui TV, bisa menggunakan kulkas dan berbagai keperluan lainnya. Keberadaan mikrohidro dapat meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi masyarakat [5], sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan.

Pembangkit Mikrohidro tersebut sudah 8 tahun beroperasi secara kontinyu dan belum pernah dilakukan perbaikan secara keseluruhan (*Overhaul*), sehingga wajar kalau sekarang ini sering terjadi gangguan dan kerusakan yang mengakibatkan pembangkit Mikrohidro tersebut tidak bisa beroperasi secara maksimal. Kerusakan turbin dan generator merupakan kerusakan yang fatal karena Mikro hidro tidak dapat berfungsi membangkitkan listrik. Secara fisik, gangguan pada generator dapat dideteksi dengan memperhatikan suhu, suara dan getaran generator yang tidak normal [6]. Pengoperasian dan perawatan yang baik akan menghasilkan listrik dengan kualitas yang baik [7]. Namun dalam

operasionalnya terdapat berbagai kendala seperti daya *output* yang masih sangat minim. Ketidak stabilan daya *output* yang dihasilkan dikarenakan pemasangan *trash rack* yang masih sederhana sehingga masih ada sampah-sampah yang berasal dari sungai masuk ke *penstock* yang mempengaruhi putaran turbin dan berpotensi merusak turbin. Selain *trash rack* yang masih sangat sederhana, pada saluran pelimpah yang digunakan untuk menahan air hanya papan yang seharusnya menggunakan *spillway gate*.

Berdasarkan permasalahan tersebut diatas perlu diadakan studi tentang daya *output*, efisiensi sistem dan pengoptimalan kinerja pembangkit listrik tenaga Mikro hidro dengan memasang *trash rack* atau saringan sampah, dan pembuatan *spillway gate* saluran pelimpah pada saluran pembawa agar debit yang masuk pada bagian bak penenang dapat divariasikan dan daya yang dihasilkan dapat optimal pada pembangkit Mikrohidro Desa Pallawa Kabupaten Bone.

### A. Pengertian PLTMH

Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) adalah pembangkit listrik berskala kecil (kurang dari 100 kW), yang memanfaatkan tenaga (aliran) air sebagai sumber penghasil energi. PLTMH termasuk sumber energi terbarukan dan layak disebut *clean energy* karena ramah lingkungan. Tenaga air berasal dari aliran sungai kecil atau danau yang dibendung dan kemudian dari ketinggian tertentu dan memiliki debit yang sesuai akan menggerakkan turbin yang dihubungkan dengan generator listrik. Semakin tinggi jatuhnya air maka semakin besar energi potensial air yang dapat diubah menjadi energi listrik. Pembangkit tenaga air merupakan suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator. Bentuk pembangkit tenaga Mikrohidro bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: “Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)” [8].

### B. Prinsip Kerja PLTMH

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah debit per detik yang ada pada aliran air saluran irigasi, sungai atau air terjun. Aliran ini akan memutar poros turbin sehingga menghasilkan energi mekanik. Energi ini selanjutnya menggerakkan generator dan generator menghasilkan listrik [9].

Secara teknis, mikrohidro mempunyai tiga komponen utama yaitu air sumber energi, turbin dan generator. Air yang mengalir dengan kapasitas tertentu disalurkan dengan ketinggian tertentu melalui pipa pesat menuju rumah instalasi (*power house*). Di rumah instalasi, air tersebut akan menumbuk turbin sehingga akan menghasilkan energi mekanik berupa berputarnya poros turbin. Putaran poros turbin ini akan memutar generator sehingga dihasilkan energi listrik [10].

PLTMH pada prinsipnya memanfaatkan beda ketinggian dan jumlah air yang jatuh (debit) perdetik yang ada pada saluran air terjun. Energi ini selanjutnya menggerakkan turbin, kemudian turbin kita hubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik. Selanjutnya listrik yang dihasilkan oleh generator ini dialirkan ke rumah-rumah dengan memasang pengaman (sekring). Yang perlu diperhatikan dalam merancang sebuah PLTMH adalah menyesuaikan antara debit air yang tersedia dengan besarnya generator yang digunakan. Jangan sampai generator yang dipakai terlalu besar atau terlalu kecil dari debit air yang ada [11].

Untuk mengetahui debit air, pertama kita harus mengetahui luas penampang saluran (A) yang diperoleh dengan menggunakan rumus bangun datar sesuai dengan bentuk saluran airnya misalnya berbentuk lingkaran. Debit (Q), dalam hal ini yang diukur adalah debit yang ada pada *Penstock*, dengan persamaan [12]:

$$Q = A \cdot v \text{ (m}^2\text{/s)} \dots\dots\dots(1)$$

Dimana:

$$A = \frac{1}{4} \pi d^2 \dots\dots\dots(2)$$

dan

$$v = \sqrt{2} \cdot g \cdot h \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- A = Luas penampang (m<sup>2</sup>)
- v = Kecepatan (m/s)
- L = Lebar saluran pembawa (m)
- H = Tinggi saluran pembawa (m)
- s = Jarak saluran yang terukur (m)
- t = Waktu (s)
- d = Diameter *Penstock*

Adapun daya yang dihasilkan dapat dihitung berdasarkan rumus [13]:

$$P_h = \rho \times g \times Q \times H \text{ (watt)} \dots \dots \dots (4)$$

$$P_g = V \times I \times \cos \phi \text{ (watt)} \dots \dots \dots (5)$$

$$P_t = g \times \eta_t \times Q \times H \text{ (watt)} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan:

- P<sub>h</sub> = Daya hidrolis (watt)
- P<sub>g</sub> = Daya generator (watt)
- P<sub>t</sub> = Daya turbin (watt)
- g = Gaya grafitasi (m/s<sup>2</sup>)
- Q = Debit air (m<sup>3</sup>/detik)
- H = Tinggi jatuh air (m)
- ρ = massa jenis air (kg/m<sup>3</sup>)
- V = Tegangan generator (Volt)
- I = Arus generator (Ampere)
- cos φ = *Power factor*

Untuk menentukan efisiensi aktual sistem turbin air PLTMH dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut [14]:

$$\eta_{\text{sistem}} = \frac{P_g}{P_h} \times 100 \% \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan:

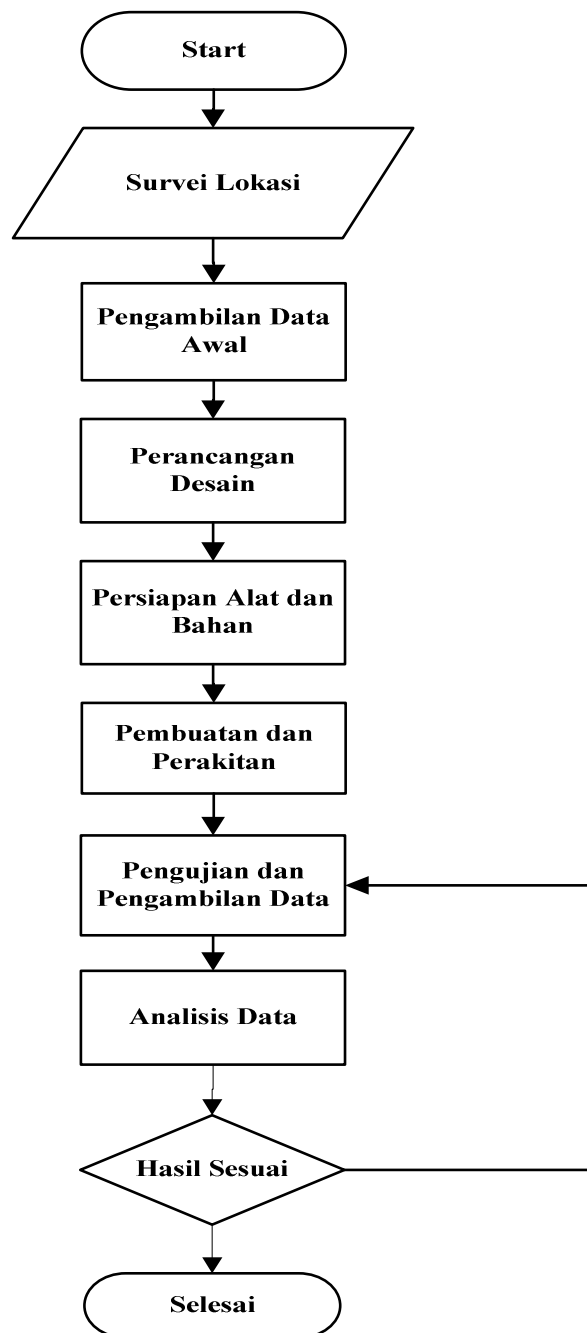
- P<sub>h</sub> = Daya hidrolis (watt)
- P<sub>g</sub> = Daya generator (watt)

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian dan pengujian alat dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone selama 6 bulan dari bulan Februari sampai bulan Agustus 2018.

Penelitian ini terbagi atas beberapa tahap mulai dari tahap persiapan dan observasi, perancangan sistem dan komponen, pembuatan, perakitan, penyetelan, pengujian, analisa hasil sampai pembuatan laporan hasil. Tahap persiapan dan observasi dilakukan di PLTMH desa pallawa kabupaten bone untuk mencari data awal ukuran dari *spillway gete* dan *trash rack*. Kemudian dilanjutkan dengan tahap pembuatan dan perakitan alat *spillway gate* dan *trash rack* dari data yang diperoleh. Kemudian akan dilakukan pengambilan data kinerja PLTMH sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* dan akan di bandingkan dan dianalisis.

Tahapan-tahapan penelitian ini lebih jelasnya dapat dilihat pada flow char pada gambar 1.

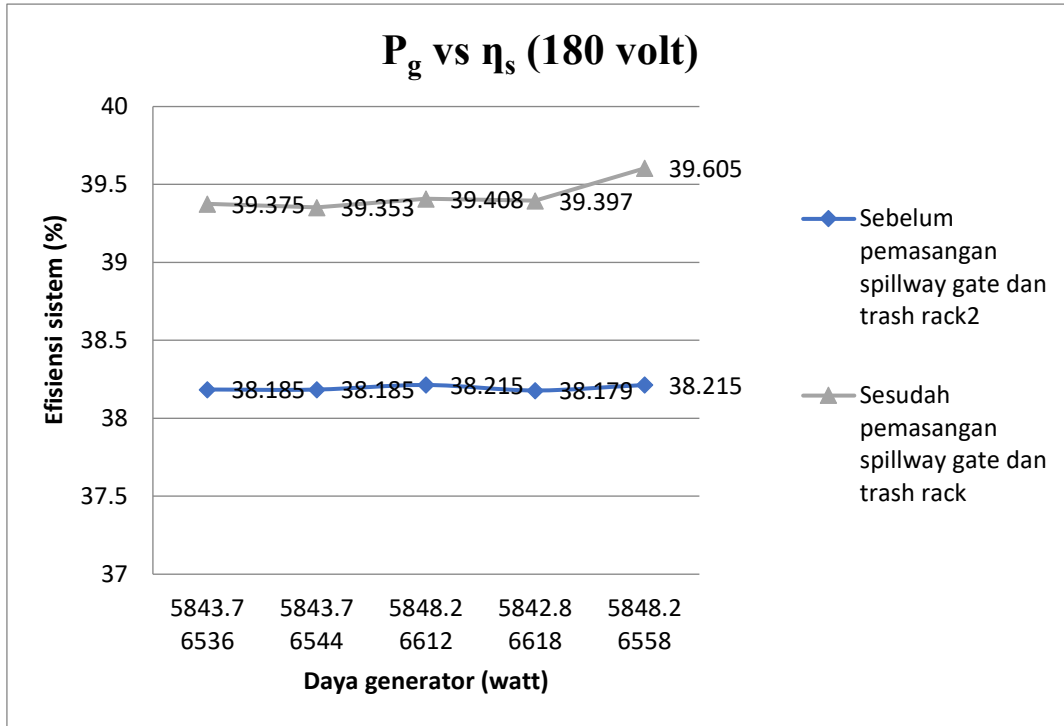


Gambar 1. Diagram alir penelitian

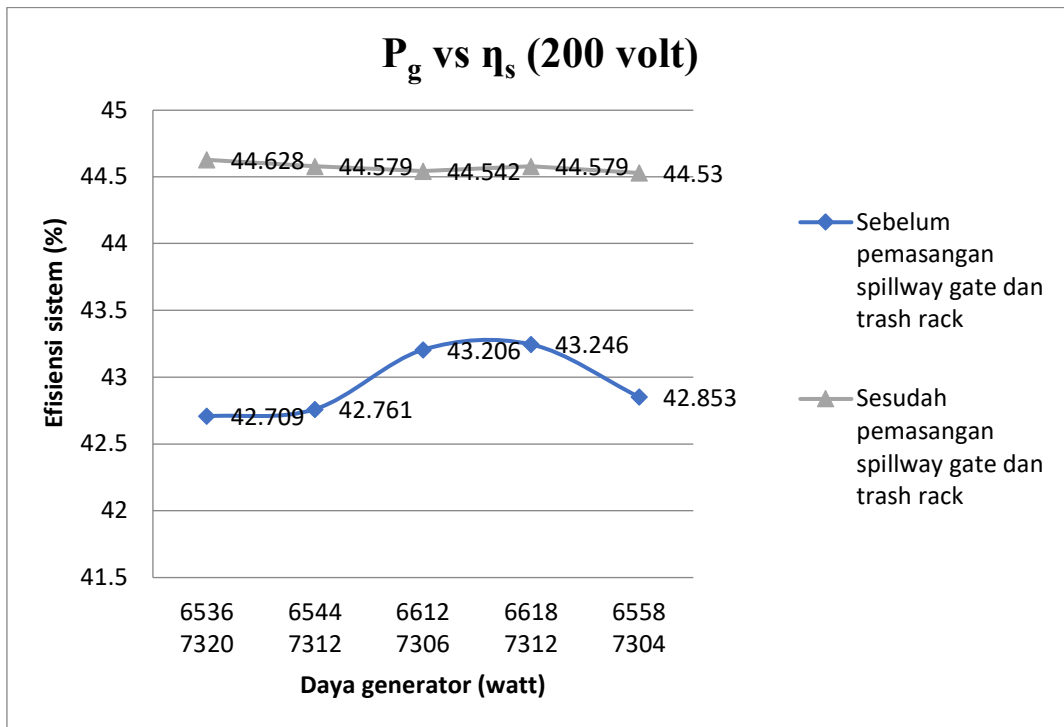
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari grafik pada Gambar 2 terlihat daya generator (watt) dan efisiensi generator (%) sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* dengan nilai tegangan (V) = 180 volt. Sebelum pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 5.842,8 watt – 5.848,2 watt dan efisiensi sistem (%) berada di antara 38,179 % – 38,215 %, sedangkan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 6.536 watt – 6.618 watt dan efisiensi sistem (%)

berada di antara 39,353 % – 39,605 %. Dari grafik juga terlihat terjadi peningkatan nilai daya generator dan efisiensi generator sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*.

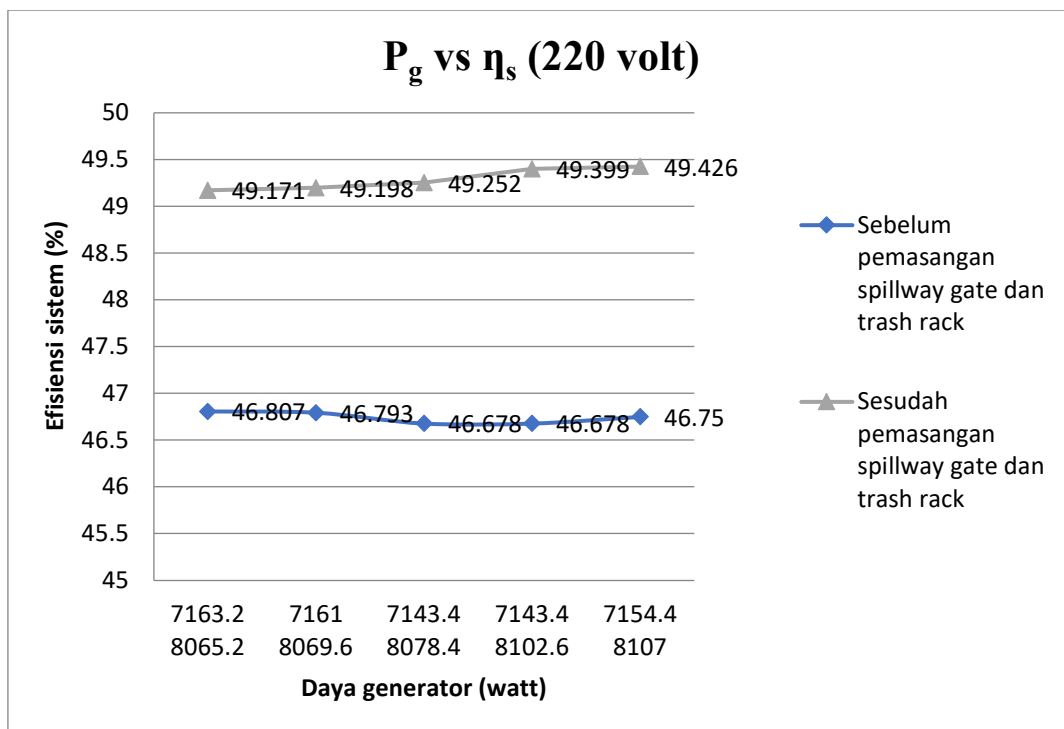


Gambar 2. Hubungan antara daya generator (watt) dan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone ( $V=180$  volt).



Gambar 3. Hubungan antara daya generator (watt) dan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=200 volt).

Dari grafik pada Gambar 3 terlihat daya generator (watt) dan efisiensi generator (%) sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* dengan nilai tegangan (V) = 200 volt. Sebelum pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 6.536 watt – 6.618 watt dan efisiensi sistem (%) berada di antara 42,709 % – 43,246 %, sedangkan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 7.304 watt – 7.320 watt dan efisiensi sistem (%) berada di antara 44,53 % – 44,628 %. Dari grafik juga terlihat terjadi peningkatan nilai daya generator dan efisiensi generator sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*.



Gambar 4. Hubungan antara daya generator (watt) dan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=220 volt).

Dari grafik pada Gambar 4 terlihat daya generator (watt) dan efisiensi generator (%) sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* dengan nilai tegangan (V) = 220 volt. Sebelum pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 7.161 watt – 7.163,2 watt dan efisiensi sistem (%) berada di antara 46,678 % – 46,807 %, sedangkan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* daya generator berada di antara 8.065,2 watt – 8.107 watt dan efisiensi sistem (%) berada di antara 49,171 % – 49,426 %. Dari grafik juga terlihat terjadi peningkatan nilai daya generator dan efisiensi generator sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*.

#### IV. KESIMPULAN

##### A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan:

1. Debit pada pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone dari hasil pengukuran sebelum pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 13 Mei yaitu 0,400 m<sup>3</sup>/s dan setelah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 2 Juni yaitu 0,412 m<sup>3</sup>/s. *Head* pada pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone dari hasil pengukuran sebelum pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 13 Mei yaitu 3,90 m dan setelah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 2 Juni yaitu 4,18 m.
2. Daya *output* yang diperoleh pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Pallawa Kabupaten Bone dari hasil pengukuran sebelum pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 13 Mei yaitu berada diantara 5.845,32 watt – 7.153 watt dan setelah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 2 Juni yaitu berada diantara 6.467,04 watt – 8.084,566 watt. Sedangkan daya yang terpasang sebesar 10.000 watt, berkurangnya nilai tersebut karena PLTMH ini sudah terbilang cukup lama karena sudah beroperasi sejak pada tahun 2010.
3. Efisiensi sistem pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone sangat kecil, sebelum pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 13 Mei yaitu berada diantara 38,20 % - 46,741 % dan setelah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 2 Juni yaitu berada diantara 39,43 % - 49,29 %. Dari efisiensi dapat dilihat bahwa pada PLTMH ada pengoptimalan setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*.

#### B. Saran

Dengan hasil penelitian pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone, maka ada beberapa saran yang mungkin dapat dilaksanakan diantaranya:

1. Sebaiknya pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone dilakukan maintenance secara rutin agar turbin dan generator dapat berfungsi sebagaimana mestinya dan dapat bertahan lama.
2. Melakukan *cleaning* (pembersihan) yang rutin pada bak penenang, karena pada saat penelitian kami melihat pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone pada bak penenang banyak sampah dan sedimen pasir yang berpotensi mengurangi keoptimalan kinerja dari PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone.
3. Sebaiknya kapasitas generator dinaikkan menjadi 15 kW karena dari hasil penelitian yang kami lakukan debit (Q) yang terukur masih mampu untuk membangkitkan daya lebih dari 10 kW.
4. Sebaiknya alat kontrol pada *Power House* diganti atau diperbaiki karena alat kontrol untuk daya yang tidak terpakai saat ini tidak berfungsi sebagaimana mestinya (rusak).

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. Peraturan Menteri Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia Nomor: 12 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan Untuk Penyediaan Tenaga Listrik, 2017.
- [2] Suwigyo. Pembangkit Mikrohidro : Teknologi, Survey & Desain, Implementasi Konstruksi dan Peluang Pengembangan. Jurusan Teknik Sipil-FT UMM, Malang, 2012.
- [3] PLN. Statistik PLN 2014. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), Jakarta, 2014.
- [4] Anshar, Muhammad dan Sonong. Optimalisasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Mikrohidro Aliran Irigasi. Prosiding Seminar Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M). Makassar, 2017.
- [5] Hariansyah, M. Peranan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Pedesaan Sebagai Solusi Krisis Energi Listrik di Pedesaan. Akademi Teknologi Bogor, 2010, Vol. 9 No. 1.
- [6] Sultan dan Nurlita Rista. Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Ulu Wai Kabupaten Tana Toraja. Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2015.
- [7] Syamsudarmin dan Latifah, Ali. Perakitan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2017.



- 201 *Muhammad Anshar, Muh. Yusuf Yunus, Muh Irsandi Adwianto, Felnitha Allo Langi. Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Desa Pallawa Kabupaten Bone Dengan Penambahan Spillway Gate dan Trash Rack*
- [8] Dwiyanto, Very. Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai). Skripsi. Bandar Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung, 2016.
- [9] Pratama, Febriananda Mulya. Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Banta pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo. Publikasi Jurnal Skripsi. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya, 2014.
- [10] Srisukamta, Kusmantoro. Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur. Teknik Elektro Universitas Negeri Semarang, 2013, Vol. 5 No. 2.
- [11] Uday, Muhammad. Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh, 2010.
- [12] Sulaeman dan Ramu, Adi Jaya. Perencanaan Pembangunan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kanali Pasaman Barat. Padang: Jurusan Teknik Mesin Institute Teknologi Padang, 2014.
- [13] Arismunandar, A dan S, Kuwahara. Teknik Tenaga Listrik jilid I. Paradya Paramita, Jakarta, 2004.
- [14] Syahrial dan Prayudi, Azis. Analisa Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, 2016.