Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listriktenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone Dengan Penambahan *Spillway Gate* Dan *Trash Rack*

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
pendidikan diploma empat (D-4) Program Studi Teknik Pembangkit Energi
Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Ujung Pandang

Muh Irsandi Adwianto	442 14 008
Felnitha Allo Langi'	442 14 026

PROGRAM STUDI D-4 TEKNIK PEMBANGKIT ENERGI
JURUSAN TEKNIK MESIN
POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG
MAKASSAR
2018

HALAMAN PENGESAHAN

Laporan skripsi ini dengan judul **Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone dengan Penambahan *Spillway Gate* dan *Trash Rack*** oleh Muh. Irsandi Adwianto NIM 442 14 008 dan Felnitha Allo Langi' NIM 442 14 026 telah diterima dan disahkan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Terapan pada Program Studi Teknik Pembangkit Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, 3 September 2018

Menyetujui,

Pembimbing I	Pembimbing II
Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D	**Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.**
NIP : 19600817 198903 1 002	**NIP : 19800820 200501 1 001**

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Ir. La Ode Musa, M.T.
NIP. 19601231 199003 1 021

HALAMAN PENERIMAAN

Pada hari ini, hari Senin tanggal 3 September 2018, Tim Penguji Ujian Sidang Tugas Akhir telah menerima skripsi mahasiswa: Muh Irsandi Adwianto 442 14 008 dan Felnitha Allo Langi' 442 14 026, dengan judul "**Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone dengan Penambahan *Spillway Gate* dan *Trash Rack***"

Makassar, 3 September 2018

Tim Ujian Sidang

1. Ir. Makmur Saini, M.Si., Ph.D.	(Ketua)	( )
2. A.M. Shiddiq Yunus, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D	(Sekretaris)	( )
3. Abdul Rahman, S.T., M.T.	(Anggota)	( )
4. Dr. Jamal, S.ST., M.T.	(Anggota)	( )
5. Ir. Muhammad Anshar, M.Si., Ph.D.	(Pembimbing I)	( )
6. Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T.	(Pembimbing II)	( )

KATA PENGANTAR

Puji syukur kami panjatkan kehadirat Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya, penulisan skrips iini yang berjudul ”**Optimalisasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone dengan Penambahan *Spillway Gate* dan *Trash Rack***” dapat diselesaikan dengan baik.

Skripsi ini merupakan hasil penelitian yang dilaksanakan mulai tanggal 1 Februari sampai dengan 30 Agustus tahun 2018 bertempat di Desa Pallawa Kabupaten Bone.

Kesempatan ini penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang Tua kami yang senantiasa memberikan semangat, dorongan, dan bantuan baik berupa materi maupun berupa doa, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Ir. Hamzah Yusuf, M.S. Selaku Direktur Politeknik Negeri Ujung Pandang;
3. Bapak Dr. Jamal, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
4. Bapak Ir. La Ode Musa, M.T. selaku Ketua Program Studi D-4 Teknik Pembangkit Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.
5. Bapak Ir. Muhammad Anshar., M. Si., Ph.D, sebagai pembimbing I dan Bapak Muh. Yusuf Yunus, S.ST., M.T, sebagai pembimbing II yang telah

mencurahkan perhatian dan kesempatannya untuk mengarahkan penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

6. Dosen dan tenaga kependidikan Jurusan Teknik Mesin Program Studi Teknik Pembangkit Energi yang telah membimbing kami selama perkuliahan sejak semester 1 hingga semester akhir. Semoga Allah membalas semua kebaikan dan ketulusan kalian;
7. Sahabat-sahabat kami yang banyak memberikan dorongan agar cepat selesai dan rekan-rekan lainnya yang tidak dapat kami sebutkan satu per satu pada kesempatan ini.
8. Seluruh teman-teman kuliah Teknik Pembangkit Energi 2014.

Penulis juga menyadari bahwa laporan tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu penulis sangat membutuhkan kritik dan saran yang sifatnya membangun untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan agar dimasa yang akan datang dapat lebih baik lagi.

Akhir kata, semoga laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat kepada kita semua.

Makassar, Agustus 2018

Penulis

DAFTAR ISI

hal

HALAMAN SAMPUL i

HALAMAN PENGESAHAN ..... **Error! Bookmark not defined.**

HALAMAN PENERIMAAN ..... **Error! Bookmark not defined.**

KATA PENGANTAR iv

DAFTAR ISI vi

DAFTAR GAMBAR ix

DAFTAR TABEL x

DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN SINGKATAN xi

DAFTAR LAMPIRAN xiii

SURAT PERNYATAAN ..... **Error! Bookmark not defined.**

RINGKASAN xvi

SUMMARY xvii

BAB I PENDAHULUAN 1

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Rumusan Masalah 4

1.3 Ruang Lingkup Penelitian 5

1.4 Tujuan Penelitian 5

1.5 Manfaat Penelitian 6

BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7

2.1 Pengertian PLTMH 7

2.2 Prinsip Kerja PLTMH 9

2.3 Bagian-bagian PLTMH 12

2.3.1 Bendungan (*Weir*) dan Bangunan Penyadap (*Intake*) 12

2.3.2 Penyaring (*Trash Rack*) 13
2.3.3 Saluran Pembawa (*Head Race*) 15
2.3.4 Kolam Pengendap 16
2.3.5 Bak Penenang (*Forebay*) 16
2.3.6 Saluran Pelimpah (*Spillway gate*) 16
2.3.7 Pipa Pesat (*Penstock*) 18
2.3.8 Pondasi dan Dudukan Pipa Pesat 19
2.3.9 Rumah Pembangkit (*Power House*) dan Saluran Lepas (*Tail race*) 19
2.3.10 Turbin 20
2.3.11 Generator 22
BAB III METODE PENELITIAN 25
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian 25
3.2 Alat dan Bahan 25
3.3 Diagram Alir Penelitian 27
3.4 Prosedur Perancangan dan Pembuatan 28
3.5 Metode Pembuatan 29
3.5.1 Pembuatan Rangka Utama *Trash Rack* 29
3.5.2 Pembuatan Pintu Pelimpah (*Spillway Gate*) 30
3.6 Perakitan 31
3.7 Metode Pengujian 31
3.8 Teknik Analisis Data 33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 35
4.1 Pemasangan *Spillway Gate* dan *Trash Rack* 35
4.2 Hasil Pengukuran 38
4.2.1 Pengukuran Sebelum Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* 38
4.2.2 Setelah Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* 41
4.3 Perhitungan debit, daya output/keluaran generator dan efisiensi 44
4.3.1 Sebelum Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* 44
4.3.2 Setelah Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* 48

4.4 Tabel Hasil Analisa 52
4.5 Grafik 53
BAB V PENUTUP 56
5.1 Kesimpulan 56
5.2 Saran 57
DAFTAR PUSTAKA 59
LAMPIRAN 62

POLITEKNIK NEGERI
UJUNG PANDANG

DAFTAR GAMBAR

hal

Gambar 1. Skema dan bagian-bagian PLTMH Pallawa 12

Gambar 2. Kondisi saat ini (a) *Trash Rack* sebelum bak penenang, (b) *Trash Rack* sebelum *penstock*.....15

Gambar 3. Saluran pelimpah pada PLTMH Pallawa.....18

Gambar 4. Kontruksi turbin *crossflow*..... 21

Gambar 5. Turbin *crossflow* pada PLTMH Pallawa 22

Gambar 6. Karakteristik turbin air..... 22

Gambar 7. Diagram alir penelitian 27

Gambar 8. Rancangan desain (a) *spillway Gate,* (b) *Trash Rack*..... 28

Gambar 9. Kondisi *spillway gate* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan 35

Gambar 10. Kondisi *trash rack* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan 36

Gambar 11. Kondisi *trash rack* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan 37

Gambar 12. Hubungan antara daya generator (watt) dan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=180 volt)…… ……...53

Gambar 13. Hubungan antara daya generator (wattdan efisiensi sistem (%)pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=200 volt)……...54

Gambar 14. Hubungan antara daya generator (wattdan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=220 volt)……55

DAFTAR TABEL

hal

Tabel 1. Klasifikasi PLTMH 8

Tabel 2. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator\ =180}$ V) 38

Tabel 3. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator\ =200}$ V)…… 39

Tabel 4. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator\ =200}$ V)…… 40

Tabel 5. Data-data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator\ =180}$ V)…….. 41

Tabel 6. Data-data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator\ =200}$ V)…….. 42

Tabel 7. Data-data pada tanggal 2 Mei 2018 ($V_{generator\ =220}$ V)…….. 43

Tabel 8. Data-data hasil Sebelum pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*.....52

Tabel 9. Data-data hasil Setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*… …..52

DAFTAR SIMBOL, SATUAN, DAN SINGKATAN

SIMBOL	SATUAN	KETERANGAN
v	m/s	Kecepatan Aliran
T	Nm	Torsi
N	Rpm	Putaran
F	N	Gaya
V	V	Tegangan
I	A	Arus
P	W	Daya
$\dot{m}$	kg/s	Laju Aliran
ρ	kg/m^3	Massa jenis air
η	%	Efisiensi
d	m	Diameter *penstock*
t	s	Waktu
s	m	Jarak saluran terukur
h	m	Tinggi saluran pembawa
L	m	Lebar saluran pembawa
A	m^2	Luas penampang
P_h	watt	Daya hidrolik
P_g	watt	Daya generator

P_t	watt	Daya turbin
g	m/s^2	Gaya grafitasi
Q	m^3/detik	Debit
H	m	Tinggi jatuh air
V	volt	Tegangan generator
$\cos\phi$		*Power factor*
p		Jumlah kutub pada generator
r	m	Jari-jari poros putar
f	Hz	Frekuensi generator

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

DAFTAR LAMPIRAN

hal

Lampiran 1. Pengambilan Data Awal dan Pengukuran …….……..80

Lampiran 2. Pembuatan dan Prakitan *spillway gate* dan *trash rack*……... 84

Lampiran 3. Pengujian dan Pengambilan Data…….. …….....87

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Muh Irsandi Adwianto

NIM : 44214008

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalan skripsi ini yang berjudul "OPTIMALISASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DESA PALLAWA KABUPATEN BONE DENGAN PENAMBAHAN *SPILLWAY GATE* DAN *TRASH RACK* " merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2018

METERAI TEMPEL

6000

Muh Irsandi Adwianto

NIM 44214 008

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Felnitha Allo Langi'

NIM : 44214026

menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa segala pernyataan dalan skripsi ini yang berjudul "OPTIMALISASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO DESA PALLAWA KABUPATEN BONE DENGAN PENAMBAHAN *SPILLWAY GATE* DAN *TRASH RACK* " merupakan gagasan dan hasil karya sendiri dengan arahan komisi pembimbing dan belum pernah diajukan dalam bentuk apa pun pada perguruan tinggi dan instansi mana pun.

Semua data dan informasi yang digunakan telah dinyatakan secara jelas dan dapat diperiksa kebenarannya. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya penulis lain telah disebutkan dalam naskah dan dicantumkan dalam skripsi ini.

Jika pernyataan saya tersebut di atas tidak benar, saya siap menanggung resiko yang ditetapkan oleh Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Makassar, September 2018

METERAI TEMPEL
C0987AFF278227063
6000
ENAM RIBU RUPIAH

Felnitha Allo Langi'
NIM 44214026

OPTIMALISASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DESA PALLAWA KABUPATEN BONE DENGAN PENAMBAHAN *SPILLWAY GATE* DAN *TRASH RACK*

RINGKASAN

Optimalisasi suatu sistem diperluan untuk memperbesar kemampuan suatu sistem, seperti sistem pada PLTMH. PLTMH merupakan suatu pembangkit listrik yang memanfaatkan energi bersih berupa air dalam membangkitkan listrik. PLTMH merupakan salah upaya untuk mewujudkan ketahanan energy nasional dan menurunkan tingkat emisi karbondioksida (CO_2), pemanfaatan sumber energy terbarukan untuk kepentingan ketenagalistrikan harus diutamankan. 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 m3/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 m3/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 %.

OPTIMALISASI KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO DESA PALLAWA KABUPATEN BONE DENGAN PENAMBAHAN *SPILLWAY GATE* DAN *TRASH RACK*

SUMMARY

Optimization of a system is needed to increase the ability of a system, such as a system in a PLTMH. PLTMH is a power plant that utilizes clean energy in the form of water in generating electricity. PLTMH is one of the efforts to realize national energy security and reduce the level of carbon dioxide (CO2) emissions, the utilization of renewable energy sources for electricity needs must be secured. One source of utilization energy that can be used water energy as PLTMH. Politeknik built a micro-hydro power plant with the capacity of 10 kW in Pallawa village to provide electricity services to the community. But in operations there are various obstacles such as the output power that is still very minimal. The instability of the output power generated due to the installation of a trash rack is still simple so that there is still garbage coming from the river into the penstock which affects the turbine rotation and has the potential to damage the turbine. Water is only the board which is supposed to use spillway gate.

This research was conducted to optimize the performance of micro-hydro power plants with trash rack or waste filter installation and manufacture of spillway gate or overflow channels. In this research done before and after the installation of trash rack and spillway gate. After that, an analysis is performed to determine the discharge, head, output power and system efficiency.

Result of this research found out that before the installation of trash rack and spillway gate discharge of 0,400 m^3/s, head of 3.90 m, output power of 5.845,32 watts –7.153,08 watts, and system efficiency of 38,20 % - 46,741 %, whereas afterinstallation of trash rack and spillway gate at 0,412 m^3/s, head of 4,18 m, output power of 6.467,04 watts –8.084,56 watts and system efficiency of 39,43 % - 49,29 %.

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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_2), 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 (Permen ESDM NO. 12, 2017).

Berdasarkan data dari Departemen Energi dan Sumber Daya Meneral (ESDM), Indonesia mempunyai potensial tenaga air sebesar 75.000 MW dan saat itu baru 13,5% potensi tersebut termanfaatkan (Suwigyo. 2012). Rasio elektrifikasi di Indonesia baru mencapai rata-rata 72% yang berarti masih ada sekitar 28% masyarakat yang belum menggunakan listrik, terutama di daerah pedesaan (statistik PLN 2014). Hal ini menunjukkan bahwa masih ada sekitar 28% masyarakat yang belum menggunakan listrik. Pada tahun 2010 Tim

Politeknik membangun pembangkit Mikro hidro dengan kapasitas 10 kW di desa Pallawa untuk memberikan pelayanan listrik bagi masyarakat. 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 Mikrohidro, 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 Mikro hidro untuk pembangkit listrik skala mikro. Sehingga pada tahun 2010 atas kerjasama Tim Politeknik Negeri Ujung Pandang dengan masyarakat setempat membangun Pembangkit Listrik Mikro hidro dengan kapasitas 10 kW yang dapat melayani 27 rumah tangga (KK) yang berada disekitar pembangkit Mikrohidro tersebut. Pembangkit Mikro hidro 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 Mikro hidro tersebut selain memberikan kontribusi kepada masyarakat setempat, juga memberikan kontribusi terhadap dunia pendidikan karena Mikro hidro tersebut sering dijadikan tempat praktek dan tempat kunjungan industri bagi mahasiswa Politeknik Negeri Ujung Pandang dan beberapa perguruan tinggi lainnya. Mikro hidro di daerah ini merupakan mikro hidro 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 mikro hidro dapat meningkatkan kesejahteraan dan ekonomi masyarakat sebagaimana harapan Pemerintah Daerah Provinsi Sulawesi Selatan (2004).

Pembangkit Mikro hidro 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 Mikro hidro 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 (Sentanu, 2013). Pengoperasian dan perawatan yang baik akan menghasilkan listrik dengan kualitas yang baik

(Muhammad Irfan dkk., 2015). 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,* efisisensi 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 Mikro hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu seberapa besar pengaruh sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack* terhadap kinerja PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Berapa besar kapasitas debit dan *head* sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* serta *trash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone?
2. Berapa besar daya *output* sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* serta*t rash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone?

3. Berapa besar efisiensi sistem sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* serta *trash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone?

1.3 Ruang Lingkup Penelitian

Pada skripsi ini penulis membatasi ruang lingkup pada PLTMH tentang daya *output,* efisiensi sistem dan pengoptimalan kinerja pembangkit listrik tenaga Mikro hidro dengan memasang *trash rack* atau saringan sampah sesuai standar dan memasang *spillway gate* pada saluran pelimpahpada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian ini yakni dengan mengetahui berapa besar pengaruh pemasangan *spillway gate* serta *trash rack* terhadap kinerja PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone yang dijabarkan sebagai berikut:

1. Menghitung berapa besar debit sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* serta *trash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone.
2. Menghitung berapa besar daya output sebelum dan setelah pemasangan *spillway gate*serta *trash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone.
3. Menghitung berapa besar efisiensi sistemsebelum dan setelah pemasangan *spillway gate* serta *trash rack* pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Untuk menambah pengetahuan dan wawasan yang berkaitan dengan sistem Pembangkit Listrik Mikro hidro baik bagi penulis, maupun bagi masyarakat setempat.
2. Sebagai bahan perbandingan antara teori yang diperoleh di bangku kuliah dengan kenyataan yang sebenarnya terjadi di lapangan.
3. Sebagai bahan masukan bagi masyarakat setempat tentang bagaimana keadaan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro hidro yang ada pada daerah tersebut.
4. Sebagai bahan bacaan dan informasi di lembaga perguruan tinggi Politeknik Negeri Ujung Pandang Pada jurusan Teknik Mesin secara umum dan Program Studi Teknik Pembangkit Energi
5. Sebagai penunjang kegiatan praktikum Program Studi Teknik Energi Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 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 jatuhan 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 Mikro hidro bervariasi, tetapi prinsip kerjanya adalah sama, yaitu: "Perubahan tenaga potensial menjadi tenaga elektrik (listrik)" (Very Dwiyanto, 2016).

Pengertian PLTMH adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga air sebagai media utama untuk penggerak turbin dan generator.Tenaga Mikro hidro, dengan skala daya yang dapat dibangkitkan 5 KW hingga 50 KW. Pada PLTMH proses perubahan energy kinetik berupa (kecepatan dan tekanan air), yang digunakan untuk menggerakan turbin air dan generator listrik hingga menghasilkan energi listrik (M. Hariansyah, 2010).

Berdasarkan kapasitas keluarannya, Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) dapat diklasifikasikan sebagai berikut :

Tabel 1. Klasifikasi PLTMH

NO	Jenis PLTA	Kapasitas
1	PLTA besar	>100 MW
2	PLTA menengah	15 -100 MW
3	PLTA kecil	1 – 15 MW
4	PLTM (mini hidro)	100 kW – 1 MW
5	PLTMH (mikro hidro)	5 kW – 100 Kw
6	Pico hidro	< 5 kW

Sumber : (Prayogo. 2003)

Indonesia dialiri oleh banyak sungai dan belum dimanfaatkan secara optimal.Lokasi sungai-sungai ini juga kebanyakan terletak di desa-desa dan dareah terpencil. Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro merupakan pembangkit listrik tenaga air yang dayanya <100 kW.Pembangkitan tenaga air adalah suatu bentuk perubahan tenaga dari tenaga air dengan ketinggian dan debit tertentu menjadi tenaga listrik, dengan menggunakan turbin air dan generator.PLTMH adalah instrument yang tepat untuk memanfaatkan sungai-sungai di daerah yang belum dialiri listrik (Sultan, 2015).

Dari segi teknologi, PLTMH dipilih karena konstruksinya sederhana, mudah dioperasikan, serta mudah dalam perawatan dan penyediaan suku cadang. Secara ekonomi, biaya operasi dan perawatannya relatif murah, sedangkan biaya investasinya cukup bersaing dengan pembangkit listrik lainnya. Secara sosial,

PLTMH mudah diterima masyarakat luas (bandingkan misalnya dengan Pembangkit Listrik Tenaga Nuklir). PLTMH biasanya dibuat dalam skala desa di daerah-daerah terpencil yang belum mendapatkan listrik dari PLN (Dimyati, 2015).

Pemanfaatannya sebagai PLTMH diharapkan dapat membantu masyarakat sekitar untuk meningkatkan keadaan ekonomi dan memenuhi kebutuhan konsumsi listrik di daerah (Rizky Primacrizti Ryantira Pongdatu, 2012).

Biasanya Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro dibangun berdasarkan adanya air yang mengalir di suatu daerah dengan kapasitas dan ketinggian yang memadai. Istilah kapasitas mengacu kepada jumlah volume aliran air persatuan waktu *(flow capacity)* sedangan beda ketinggian daerah aliran sampai ke instalasi dikenal dengan istilah *head*. Dengan perkembangan teknologi sekarang maka energi aliran air beserta energi dari pengaruh perbedaan ketinggian dengan daerah tertentu (tempat instalasi yang akan dibangun) akan dapat diubah menjadi energi listrik (Muhammad Uday, 2010).

2.2 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 (Febriananda Mulya Pratama, 2014).

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 (*powerhouse*). 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. (Sri Sukamta dan Adhi Kusmantoro, 2013)

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 (Muhammad Uday, 2010).

Untuk mengetahui debit air, pertama kita harus mengetahui luas penampang saluran (A) yang diperoleh dengan meggunakan rumus bangun datar sesuai dengan bentuk saluran airnya misalnya berbantuk lingkaran. Debit (Q), dalam hal ini yang diukur adalah debit yang ada pada *Penstock*, dengan persamaan (Sulaeman, 2014) :

$$Q = A.v\ (m^2/s) \quad (1)$$

Dimana :

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

dan

$$v = \sqrt{2} \, . \, g \, . \, h \quad \text{.....} \quad (3)$$

Keterangan :

A = Luas penampang (m^2)

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 (Arismunandar, 2004) :

$P_h = \rho \times g \times Q \times H$ (watt).....(4)

$P_g = V \times I \times \cos\phi$ (watt).....(5)

$P_t = g \times \eta_t \times Q \times H$ (watt).....(6)

Keterangan:

P_h=Daya hidrolis (watt)

P_g=Daya generator (watt)

P_t= Daya turbin (watt)

g = Gaya grafitasi (m/s^2)

Q =Debit air (m^3/detik)

H= Tinggi jatuh air (m)

ρ= massa jenis air (kg/m^3)

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 (M. Hariansyah, 2010):

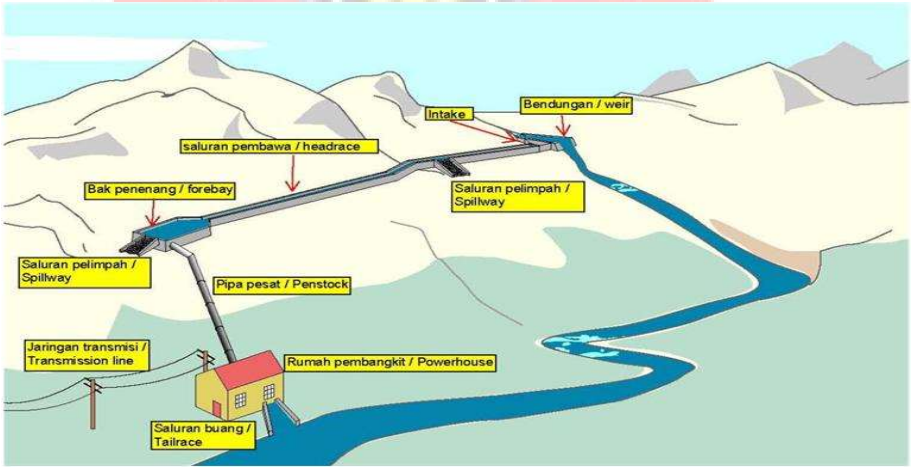
$$\eta_{sistem} = \frac{P_g}{P_h} x\ 100\ \% \quad (7)$$

Keterangan :

P_h = Daya hidrolis (watt)

P_g= Daya generator (watt)

2.3 Bagian-bagian PLTMH



Gambar 1. Skema dan bagian-bagian PLTMH (Alifi Yunar, 2009)

2.3.1 Bendungan (*Weir*) dan Bangunan Penyadap (*Intake*)

Bendung adalah pembatas yang dibangun melintas sungai yang dibangun untuk mengubah karakteristik aliran sungai. Bendung merupakan sebuah kontruksi yang lebih kecil dari bendungan yang menyebabkan air menggenang

membentuk kolam tetapi mampu melewati bagian atas bendung. Bendung mengizinkan air meluap melewati bagian atasnya sehingga aliran air tetap ada dan dalam debit yang sama bahkan sebelum sungai dibendung (Very Dwiyanto, 2016).

Intake berfungsi sebagai penampung air yang nantinya akan digunakan/disalurkan ke turbin melalui pipa *penstock*. Bangunan *intake* didesain sedemikian sehingga dapat menjamin debit aliran air ke sistem mikro hidro sesuai dengan debit yang dibutuhkan. Tergantung dari kualitas fisik air, suatu unit penyaring air berupa *gravel trap* atau *trash rack* mungkin dibutuhkan dalam bangunan *intak*e untuk menghindari tersumbatnya turbin air pada sistem PLTMH. Demikian juga, intake perlu dilengkapi dengan sistem pelimpah untuk menghindari berlebihnya kapasitas air, serta dilengkapi dengan sistem penguras untuk sewaktu-waktu membersihkan *intake* dari endapan yang terjadi dalam suatu periode tertentu (Dewa Ngakan Ketut Putra Negara, 2009).

2.3.2 Penyaring (*Trash Rack*)

Saringan ini dipasang didepan pintu pengambilan air, berguna untuk menyaring kotoran–kotoran atau sampah yang terbawa sehingga air menjadi bersih dan tidak mengganggu operasimesin PLTMH (Very Dwiyanto, 2016).

Perbandingan *Trash rack* besi dengan kayu (Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2012):

a. *Trash rack* tidak boleh terbuat dari bambu atau kayu dan *trash rack* harus dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan diameter paling sedikit 4 mm

atau besi plat dengan ketebalan paling sedikit 3 mm dan pengelasan harus kuat dan rapi dengan menggunakan las listrik.

b. *Trash rack* harus dilindungi dari korosi dengan melakukan pengecetan.

c. *Trash rack* harus mampu menahan tekanan air karena adanya penyumbatan pada kondisi air penuh.

d. *Trash rack* dipasang dengan kemiringan sekitar 70º dari garis horisontal.

e. *Trash rack* harus dapat dilepas dari struktur sipil untuk akses perbaikan dan pembersihan.

f. untuk pabrikasi *trash rack,* dapat mengacu kepada bagian pabrikasi peralatan hidro mekanik.

g. *Trash rack* untuk *intake* dan saluran pembawa paling tidak memiliki celah selebar 5 cm atau lebih lebar.

h. *Trash rack* untuk *inlet* pipa pesat harus memiliki celah yang lebih kecil dari *trash rack* di *intake* dengan ukuran celah tidak boleh lebih besar dari ½ (setengah) kali jarak antar *runner blades* (baik *propeller* maupun *cross flow)* atau ½ (setengah) kali diameter *nozzle* untuk pelton sedangkan untuk turbin tipe lain disesuaikan dengan ukuran sampah kecil yang sering terbawa dalam air.

(a) **(b)**

Gambar 2. Kondisi saat ini (a) *Trash rack* sebelum bak penenang, (b) *Trash rack* sebelum *penstock*

2.3.3 Saluran Pembawa (*Head Race*)

Saluran Pembawa (*head race*). Saluran pembawa mengikuti kontur dari sisi bukit untuk menjaga elevasi dari air yang disalurkan. Saluran ini biasanya mempunyai kemiringan relative kecil. Tipe saluran pembawa biasanya sangat tergantung pada kondisi topografi geologi daerah yang dilewati, dan dapat berupa saluran terbuka, pipa ataupun terowongan, baik bertekanan ataupun tidak bertekanan. Konstruksi saluran penghantar dapat berupa pasangan batu kali atau hanya berupa tanah yang digali. Pada saluran penghantar yang panjang perlu dilengkapi dengan saluran pelimpah untuk setiap jarak tertentu. Jika terjadi banjir pada saluran tersebut, kelebihan air akan terbuang melalui saluran pelimpah (Rompas, 2011).

2.3.4 Kolam Pengendap

Bangunan pengendap digunakan untuk menangkap sedimen yang melalui saluran. Bangunan pengendap sedimen dapat direncanakan bentuknya, bahan pembuatnya, serta penempatan posisinya berdasarkan keadaan saluran pembawanya. Fungsinya untuk mengendapkan pasir dan menyaring kotoran yang hanyut, sehingga air yang masuk ke turbin relatif bersih (Nurkhaerani Fatma, 2016).

2.3.5 Bak Penenang (*Forebay*)

Bak penenang berfungsi untuk mengontrol perbedaan debit dalam pipa pesat dan saluran pembawa karena fluktuasi beban, disamping itu juga sebagai tempat penenang air, pengendapan akhir, dan penyaring sampah terakhir benda-benda yang masih terbawa dalam saluran air (Purnomo Hery, 2014).

Bak penenang (*forebay*) terletak diujung saluran pembawa. Fungsi bak penenang secara kasar ada dua jenis (Syahrial dan Prayudi, Azis. 2016).

a. Mengontrol perbedaan debit dalam *penstock* dan sebuah saluran pembawa karena fluktuasi beban.
b. Pemindahan sampah terakhir (tanah dan pasir, kayu yang mengapung, dll.)

2.3.6 Saluran Pelimpah (*Spillway gate*)

Berfungsi untuk mencegah aliran air berlebih yang tidak terkontrol dengan cara mengembalikan kelebihan air dalam saluran ke sungai melalui saluran pelimpah. Kelebihan air terjadi ketika debit air di dalam saluran melebihi batas atau saringan di dalam bak penenang tersumbat sampah. *Spillway gate* kemungkinan terletak pada bak pengendap, saluran pembawa, dan bak penenang.

Dengan adanya sistem pelimpah air dapat mencegah erosi dan tanah longsor pada sistem saluran air yang diakibatkan air meluber kemana-mana (Windarti Menik, 2014).

Saluran pelimpah (*Spillway Gate*)(Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2012):

a. Ukuran pintu air disesuaikan dengan ukuran saluran yang akan dilayani.
b. Menggunakan alat bantu pemutar sehingga memudahkan operasi.
c. Pintu air harus mampu menahan tekanan pada kondisi air penuh.
d. Penggunaan pintu air dengan *stop log* hanya diperbolehkan untuk PLTMH dengan kapasitas lebih kecil dari 5 kW.
e. Katup pengaman turbin harus mampu menahan tekanan static maupun tekanan surja serta *water hammer.*
f. Katup pengaman sebaiknya dipasang pada sistem PLTMHdengan kapasitas 15 kW sampai 120 kW yang menggunakan *turbin impuls (cross flow* atau *pelton).*
g. Pintu air harus dibuat dari besi dengan ketebalan plat paling sedikit 3 mm.
h. Pintu air harus dilindungi dari karat menggunakan cat atau *galvanisasi,* dan pengecetan dilakukan setelah proses *sand blasting* untuk menghilangkan karat atau dengan proses lain dengan ketentuan pengecatan dilakukan dengan cat dasar besi kemudian dicat anti karat paling sedikit dua kali pengecatan.
i. Pintu air harus menggunakan alat bantu untuk memudahkan operasi buka dan tutup dan mekanisme atau tipe alat bantu tidak dibatasi.

j. Pengelasan harus rapi dan kuat dan tidak memberikan kesempatan kepada kebocoran.

Gambar 3. Saluran pelimpah pada PLTMH Pallawa.

2.3.7 Pipa Pesat (*Penstock*)

Penstock adalah pipa yang terdapat di atas maupun di bawah permukaan tanah sesuai dengan keperluan dan keadaan geografis maupun geologi dimana pipa tersebut ditempatkan (Permatasari, 2008).*Penstock* dibuat dengan teliti agar mampu menahan air bertekanan tinggi dari *reservoir* sehingga ketika *control gate* ataupun *valve* ditutup secara tiba-tiba tidak menyebabkan kerusakan pada *penstock*. Fenomena ini yang sering disebut dengan *water hammer.Water hammer* adalah fenomena yang terjadi saat suatu aliran fluida dihentikan secara tiba-tiba, baik itu disengaja atau tidak (Subekti dan Susatyo, 2009).

Adapun parameter yang dapat diukur pada *penstock* menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$v = \frac{4 . Q}{\pi . d^2} \quad (8)$$

Keterangan :

v = kecepatan aliran (m/s)

d = diameter *penstock* (m)

2.3.8 Pondasi dan Dudukan Pipa Pesat

Dudukan pipa pesat harus mampu menahan beban statis dan dinamis dari pipa pesat dan air yang mengalir di dalamnya. Untuk itu, harus dihindari belokan-belokan karena akan mengakibatkan gaya yang cukup besar bila gaya ini tak dapat ditahan oleh tanah (misalnya karena luas penampang dudukan pipa pesat terlalu kecil), maka pipa pesat akan terdorong-bergeser dan rusak. Untuk itu, perencanaan dimensi dudukan pipa pesat ini harus dilakukan secara matang, tentu saja berdasarkan kondisi tanah yang ada pada lokasi Mikro Hidro (Windarti Menik, 2014).

2.3.9 Rumah Pembangkit (*Power House*) dan Saluran Lepas (*Tai l race*)

Rumah pembangkit adalah rumah tempat semua peralatan mekanik dan elektrik PLTMH. Peralatan Mekanik seperti Turbin dan Generator berada dalam Rumah Pembangkit, demikian pula peralatan elektrik seperti kontroler. Dalam desain *power house*, pondasi turbin-generator harus dipisahkan dari pondasi bangunan *power house*. Di samping itu perlu dipikirkan keleluasaan bongkar pasang turbin dan generator. Persoalan ini masih ditambah lagi dengan perlunya saluran pembuang di dalam sampai keluar *power house* (Very Dwiyanto, 2016).

Tail race adalah kanal untuk mengarahkan aliran air kembali ke saluran irigasi/sungai untuk pemanfaatan lebih lanjut (Putra Negara, 2009).

Beberapa instalasi PLTMH dalam rumah pembangkit (Very Dwiyanto, 2016) :

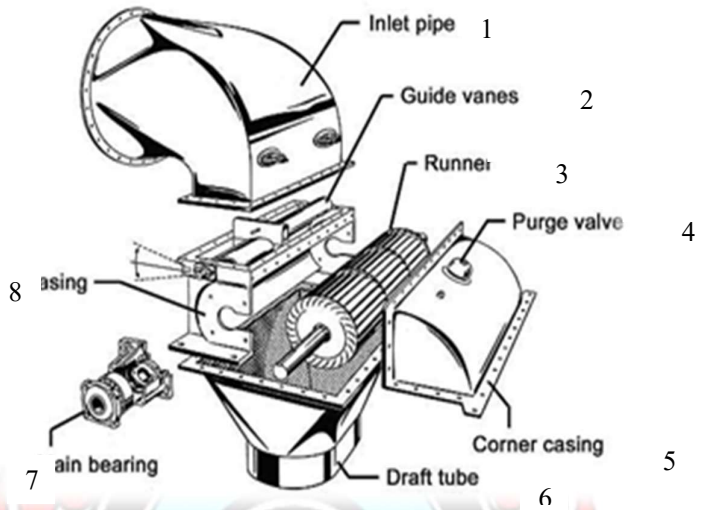
a. Turbin, merupakan salah satu bagian penting dalam PLTMH yang menerima energi potensial air dan mengubahnya menjadi putaran (energi mekanis). Putaran turbin dihubungkan dengan generator untuk menghasilkan listrik.
b. Generator yang digunakan adalah generator pembangkit listrik AC. Untuk memilih kemampuan generator dalam menghasilkan energi listrik disesuaikan dengan perhitungan daya dari data hasil survei. Kemampuan generator dalam menghasilkan listrik biasanya dinyatakan dalam Volt Ampere (VA) atau dalam kilo Volt Ampere (kVA).
c. Penghubung turbin dengan generator, penghubung turbin dengan generator atau sistem transmisi energi mekanik ini dapat digunakan sabuk atau puli, roda gerigi atau dihubungkan langsung pada porosnya.

2.3.10 Turbin

Turbin berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi putar/mekanis atau daya poros. Air mengalir memiliki energi hidrolis dialirkan ke turbin yang terdiri dari runner. Runner dihubungkan dengan poros yang berfungsi untuk mengubah energi potensial air menjadi energi mekanis atau daya poros. Ke generator, turbin bisa dihubungkan secara langsung atau bisa juga melalui roda-gigi atau *belt* dan *pulley*, tergantung pada putaran turbin (Putra Negara, 2009).

Menurut Michael-Donat Banki serta perusahaan di Nepal dan Swiss dalam penelitiannya mengenai prestasi dari turbin *crossflow* dibuat dalam hubungannya dengan kapasitas tenaga (daya) dan efisiensi serta hasilnya (*output*) dibandingkan

dengan turbin komersial yang mempunyai nilai rendah. Efisiensi turbin *Crossflow* rata-rata berkisar 65% - 75% dan bisa mencapai >80% (Subandono, Agus. 2008).



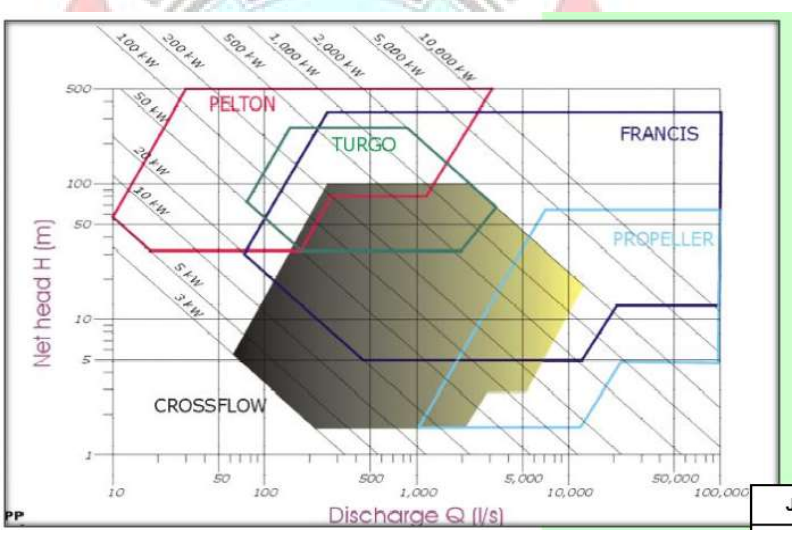
Gambar 4. Kontruksi turbin *crossflow* (www.crayonpedia.org)

Konstruksi turbin terdiri dari komponen utama yaitu:

1. *Inlet valve*
2. *Guide vane*
3. *Runner*
4. *Purge valve*
5. *Corner casing*
6. *Draft tube*
7. *Main bearing*
8. *Casing*

Gambar 5.Turbin *crossflow* pada PLTMH Pallawa

Adapun karesteristik masing-masing turbin sebagai berikut (Suwigyo, 2012):



Gambar 6. Karakteristik turbin air (Suwigyo, 2012)

2.3.11 Generator

Generator berfungsi untuk mengubah energy mekanis dari turbin menjadi energy listrik. Komponen utama dari generator adalah rotor dan stator. Rotor adalah bagian yang berputar, yang dikopel dengan poros turbin sebagai tenaga pemutarnya. Dengan memberi penguatan atau magnetisasi kepada rotor tersebut,

tegangan akan ditimbulkan ke bagian generator yang tidak bergerak, yang disebut stator. Generator merupakan komponen yang berfungsi merubah energy mekanik berupa putaran menjadi energy listrik. Generator yang digunakan biasanya jenis arus bolak balik (AC) dengan frekuensi 50 hz pada putaran 1500 rpm. Energy listrik yang dihasilkan dapat berupa 1 fasa (2 kabel) atau 3 fasa (4 kabel) dengan tegangan 220/380 Volt. Generator diputar oleh turbin melalui kopel langsung atau melalui pulley dan sabuk (belt). Ada dua jenis generator yang banyak digunakan untuk PLTMH yaitu generator sinkron dan motor induksi sebagai generator (Windarti Menik, 2014).

Berikut ini cara perawatan generator *Mikro Hidro* agar berfungsi dengan baik;

1) Jangan menyentuh koneksi listrik saat generator beroperasi
2) Cek kekuatan mur dan baut generator
3) Cek bila temperature generator tidak normal dan saat ada *noise* tidak wajar
4) Bersihkan ventilasi dan kipas generator dari debu apabila tidak beroperasi.

Adapun persamaan yang digunakan untuk mengetahui frekuensi generator, yakni :

$$n = \frac{120 \cdot f}{p} \quad \text{.....(9)}$$

$$f = \frac{p \cdot n}{120} \quad \text{.....(10)}$$

Keterangan :

n = putaran generator (rpm)

p = jumlah kutub pada generator

f = frekuensi generator (Hz)

Menghitung torsi turbin (T) menggunakan persamaan:

$$T = \frac{P_t \times 60}{2\pi N} \quad \text{.....(11)}$$

Keterangan :

T = Torsi (Nm)

Pt = Daya turbin (watt)

N = Putaran turbin (rpm)

POLITEKNIK NEGERI UJUNG PANDANG

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Waktu pelaksanaan penelitian akan dilaksanakan selama 6 bulan mulai dari Februari sampai bulan Agustus 2018 dengan kegiatan yang dimulai dari tahap persiapan dan observasi, perancangan sistem dan komponen, pembuatan, perakitan, penyetelan, pengujian, analisa hasil sampai pembuatan laporan hasil. Kegiatan penelitian dan pengujian alat dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone.

3.2 Alat dan Bahan

Dalam pembuatan *Trash rack* dan pintu pelimpahini diperlukan beberapa alat dan bahan berikut ini :

a. Peralatan yang dugunakan dalam pembuatan

1) Mesin bubut
2) Mesin Las
3) Mesin Gerinda
4) Mesin Bor
5) Mesin Gergaji
6) Meteran
7) Peralatan kerja bangku seperti : Palu, kikir, ragum, dan lainnya.
8) Mistar Baja
9) Gergaji Besi
10) Palu

11) Multimeter

12) Tang Ampere

13) Voltmeter

14) Tachometer

15) Torsi meter

b. Bahan-bahan yang akan digunakan untuk perancangan

1) Besi Siku Profil L 40 x 40 mm dan 30 x 30 mm

2) Besi siku super 5 x 5 cm

3) Besi poros

4) Baut dan Ring

5) Kawat Besi

6) Besi Plat 5 mm

7) Besi ulir poros

8) Baut dan kunci poros

9) Cat minyak

10) Kuas

11) Tinner

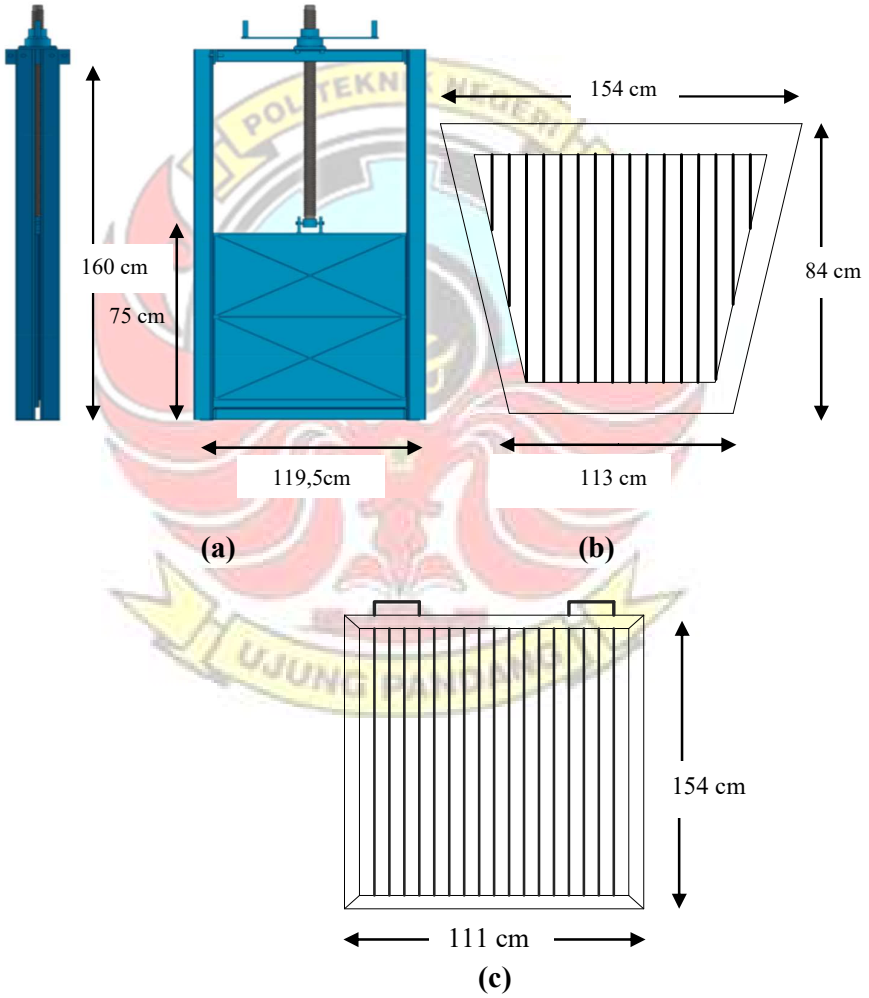
12) Elektroda

3.3 Diagram Alir Penelitian

Gambar 7. Diagram alir penelitian

3.4 Prosedur Perancangan dan Pembuatan

Perancangan dan pembuatan *spillway gate* dan *trash rack* dimulai dengan observasi dan wawancara dengan operator dari PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone. Setelah melakukan observasi dan wawancara, kami mendapatkan ukuran *spillway gate* dan *trash rack* yang akan kami buat yang dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rancangan desain (a) S*pillway Gate,* (b) *Trash Rack sebelum bak penenang,* (c) *Trash Rack sebelum penstock.* (http://www.rajapintuair.com)

3.5 Metode Pembuatan

3.5.1 Pembuatan Rangka Utama *Trash Rack*

Rangka utama yang sekaligus berfungsi sebagai tempat dipasangnya jarring-jaring yang terbuat dari kawat besi sebagai saringan sampah pada *Trash Rack.* Konstruksi rangka menggunakan besi siku profil L berukuran 30 x 30 mm, sedangkan rangka pada bagian tengah digunakan besi poros ukuran kecil dengan diameter 12,5 mm. Proses pembuatannya secara rinci dapat dijelaskan sebagai berikut :

a. Menyiapkan besi siku jenis profil L berukuran 30 x 30 mm dan beberapa besi poros ukuran 12,5 mm sesuai kebutuhan yang diperlukan.
b. Memotong besi siku untuk setiap bagian-bagian rangka sesuai dengan ukuran yang telah di rencanakan.
c. Memotong lembar besi poros pada setiap bagian-bagian lintasan sesuai dengan ukuran yang telah direncanakan.
d. Memotong kawat weldled galvanis dengan ukuran yang sudah di tentukan pada pemasangan *trash rack* sebagai lapisan ke tiga bagian *trash rack*.
e. Lembaran besi poros ukuran 12,5 mm yang telah di potong sesuai dengan ukuran yang telah ditentukan kemudian digabung dengan besi siku ukuran 30 x 30 mm dengan cara pengelasan listrik.
f. Besi siku yang telah digabung kemudian disambung satu sama lain pada rangka lain dengan pengelasan listrik dan penyambungan menggunakan baut hingga terbentuk rangka utama.

3.5.2 Pembuatan Pintu Pelimpah (*Spillway Gate*)

Rangka utama sekaligus berfungsi sebagai tempat lintasan penampang plat dan juga sebagai landasan poros penggerak penampang saluran pelimpah. Kontruksi rangka menggunakan besi siku super profil L berukuran 5 x 5 cm, sedangkan rangka pada bagian tengah penampang menggunakan besi siku L berukuran 30 x 30 mm, besi plat berukuran 1 x 1 meter, besi ulir poros berukuran diameter 3,6 cm

a. Menyiapkan besi siku super berukuran 5 x 5 cm dan beberapa besi siku profil L berukuran 30 x 30 mm, besi plat berukuran 1 x 1 meter, besi ulir poros berukuran diameter 3,6 cm sesuai yang diperlukan.
b. Memotong besi siku super L berukuran 5 x 5 cm untuk setiap bagian yang sudah di tentukan panjang dan lebarnya.
c. Memotong besi siku profil L ukuran 30 x 30 mm sesuai dengan ukuran yang telah di rencanakan panjangnnya.
d. Memotong besi plat ukuran 5 cm berdasarkan ukuran yang telah di tentukan pada pengukuran.
e. Menetukan panjang besi poros ulir dan dudukan baut dengan bearing.
f. Kemudian memulai pengelasan pada besi siku super ukuran 5 cm sesuai yang telah di tentukan pada titik pengelasan dengan membuat cela atau lintasan besi plat sebagai penampang aliran.
g. Kemudian pada besi plat tersebut di gabungkan dengan besi siku ukuran 30 x 30 mm sebagai penopang atau penahan plat dengan pengelasan.

h. Kemudian menggabungkan poros tersebut dengan besi plat yang telah digabungkan terlebih dahulu dengan besi siku ukuran 30 x 30 mm, kemudian meletakkan landasan pada stand poros ulir dengan cara pengelasan sesuai titik yang telah di tentukan.

3.6 Perakitan

a. Memasang alat yang sudah dirancang (*Spillway gate*) pada saluran pelimpahsebagai pintu pengoperasian variasi bukaan pintu terhadap daya yang optimal.

b. Memasang *trash rack* yang pertama sebelum masuk ke bak penenang sebagai saringan sampah dan ranting-ranting pohon.

c. Memasang alat yang sudah dirancang tersebut pada pintu yang kedua pada bak penenang sebelum masuk kedalam pipa pesat/pipa *penstock*.

3.7 Metode Pengujian

Tahap prosedur pengujian bertujuan untuk menguji *trash rack* dan *spillway gate* pada saluran pembawa yang telah dirakit untuk mengetahui kinerja alat dan pembangkit listrik tenaga mikro hirdo tersebut. Adapun tahap metode pengujian yaitu, sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* pintu pelimpah terhadap kinerja PLTMH.

Adapun metode pengujian yang sama sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*, yaitu sebagai berikut ;

a. Mengkalibrasi alat ukur yang digunakan.

b. Memeriksa apakah semua alat dalam kondisi baik.

c. Menyiapkan tabel pengamatan.

Metode pengujian sebelum pemasangan dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saluran pelimpah dengan membandingkan hasil pengukuran. Adapun metode pengujian yang sama sebelum dan sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*, yaitu sebagai berikut ;

a. Mengukur Debit (Q), dalam hal ini yang akan diukur adalah debit yang ada pada pipa *penstock* dengan mengambil parameter-parameter, yaitu luas penampang, laju aliran, lebar saluran pembawa, tinggi saluran pembawa, jarak saluran yang terukur, waktu dan diameter *penstock.*
b. Mengukur ketinggian (*H*) dengan mengukur ketinggian antara rumah pembangkit sampai ke permukaan air pada bak penenang.
c. Mengukur level air pada permukaan bak penenang hampir sama dengan langkah yang kedua di atas hanya perbedaanya terletak pada sesudah pemasangan pintu pelimpah (*spillway gate*) dimana kita dapat mengatur level air (*H*) pada bak penenang sesuai bukaan pintu pelimpah (*spillway gate*).
d. Mengukur arus (I) pada keluaran generator dengan menggunakan tang ampere meter.
e. Mengukur tegangan (V) keluaran generator dengan menggunakan voltmeter.
f. Menghitung torsi (T) dimana pada pengukuran ini dilakukan sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saluran pelimpah dengan dengan mengambil parameter-parameter yaitu, daya generator dan putaran generator, sehingga kita dapat mengetahui perbandingan data sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saluran pelimpah.

g. Menghitung daya hidrolis (P_h) dengan mengambil parameter-parameter yaitu, seperti ; massa air, gaya grafitasi, debit air dan tinggi jatuh air sehingga kita dapat mendapatkan daya hidrolis (P_h).

h. Meghitung daya generator (P_g) dengan mengambil parameter-parameter yaitu, seperti; tegangan keluaran pada generator, arus, dan *power factor* ($\cos\phi$) sehingga kita dapat mendapatkan daya generator.

i. Menghitung efisiensi sistem (η_{sistem}) dengan mengambil parameter-parameter yaitu, seperti daya hidrolis dan daya generator sehingga kita dapat mendapatkan efisiensi sistem.

j. Langkah selanjutnya yaitu mengolah data yang telah diperoleh melalui pengukuran, dimana pengukuran yang dilakukan sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saluran pelimpah.

k. Membandingkan data sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saluran pelimpah.

3.8 Teknik Analisis Data

Adapun Teknik Analisa Data yang digunakan yakni analisa deskriptif. Analisa ini memberikan penjelasan atau gambaran tentang keadaan dari Pembangkit yang diteliti sebelum dan sesudah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* mulai dari perhitungan :

a) Daya Hidrolik (Ph) $=\rho$. Q. g. H

b) Daya Turbin (Ps) = g x η_t x Q x H

c) Kecepatan rotor (n) = 120.f / p

d) Frekuensi Generator (f) = p.n/120

e) Daya generator (Pg) = V. I. cos ϕ

f) Efisiensi Generator (Ηg) = Pg / Pt x 100%

g) Efisiensi Sistem (Ηs) = Pg / Ph x 100%

h) Torsi (T) = F. r

Dari data yang diperoleh maka akan ditentukan hubungan antara :

a) Debit (m^3/s) dan daya generator (Watt)

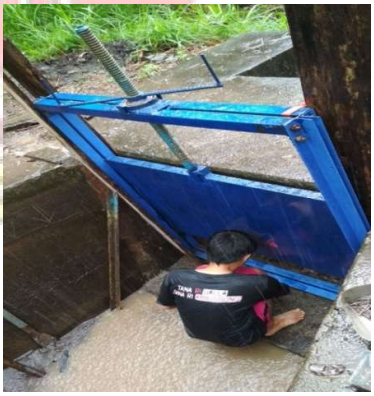
b) Daya Generator dan Efisiensi sistem (%)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemasangan *Spillway Gate* dan *Trash Rack*

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone. Terlihat pada gambar 9a, yaitu pemasangan *Spillway gate* yang masih sangat sederhana dengan bahan papan kayu yang disusun bertingkat ke atas untuk menahan debit air yang ada pada saluran bak penenang dan ketinggian pada permukaan air bak penenang namun dari konstruksi *spillway gate* yang masih terbuat dari kayu tersebut masih sangat kurang efektif pada PLTMH karena penggunaan yang tidak bertahan lama dan air yang masih bisa lewat melalui celah-celah pada papan dibandingkan pada Gambar 9b sehingga debit air yang masuk pada bak penenang tidak optimal, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 9a dan 9b.

(a)



(b)

Gambar 9. Kondisi *Spillway gate* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone. Terlihat pada gambar 10a, yaitu pemasangan *Trash rack* yang masih sangat sederhana dengan bahan utama kayu dan bambu dimana potongan bambu di susun ke atas dengan celah-celah penyaring sampah, namun dalam penggunaannya masih sangat tidak efektif penggunaanya dan tidak memenuhi standar pada PLTMH. Dibandingkan dengan gambar 10b yang sudah memenuhi standar penggunaan pada *Trash rack* dengan bahan yang digunakan yaitu besi strip sehingga sangat efektif digunakan pada PLTMH dan umur penggunaanya juga sangat lama dibandingkan dari gambar 10a, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 10a dan 10b.

(a) **(b)**

Gambar 10. Kondisi *Trash Rack* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan

Pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Pallawa Kabupaten Bone. Terlihat pada gambar 11a, yaitu *Trash rack* yang sudah tidak optimal lagi digunakan karena besinya yang sudah banyak rapuh dan jarak antar besi tulangannya yang terlalu lebar sehingga kami membuat *trash rack* seperti pada Gambar 11b dengan jarak antar besi tulangannya 2 cm. Dengan jarak yang seperti ini meminimalisir sampah yang dapat lolos masuk ke turbin dan dengan *trash rack* seperti pada Gambar 11b dapat mengoptimalkan kinerja turbin, untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 11a dan 11b.

(a) **(b)**

Gambar 11. Kondisi *Trash Rack* (a) Sebelum pemasangan, (b) Sesudah pemasangan

4.2 Hasil Pengukuran

Adapun hasil pengukuran pada PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone:

4.2.1 Pengukuran Sebelum Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

Tabel 2. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator}$ = 180 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	Pengukuran Pada Generator			PengukuranPada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	H	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	17	29	29,5	39,75	42							1258		32,465	209,6
2	17,25	29,2	32	41	42,25							1250		32,465	208,3
3	17,75	29,5	31,75	41,25	43,75							1252		32,49	208,6
4	24	32,75	33,5	42,75	43,75	0,85	0,88	0,74	**0,823**	2,19	3,90	1260	180	32,46	210
5	25	34,75	36	43,75	44,25							1256		32,49	209,10
Rata-rata	**20,2**	**31,05**	**32,55**	**41,7**	**43,2**							**1255,2**		**32,474**	**209,12**

Tabel 3. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator}$ = 200 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	Pengukuran Pada Generator			Pengukuran Pada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	H	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	17	29	29,5	39,75	42							1337		32,68	222,8
2	17,25	29,2	32	41	42,25							1338		32,72	223
3	17,75	29,5	31,75	41,25	43,75	0,85	0,88	0,74	**0,823**	2,19	3,90	1338	200	33,06	223
4	24	32,75	33,5	42,75	43,75							1337		33,09	222,8
5	25	34,75	36	43,75	44,25							1351		32,79	225,2
Rata-rata	**20,2**	**31,05**	**32,55**	**41,7**	**43,2**							**1340,2**		**32,868**	**223,36**

Tabel 4. Data-data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator}$ = 220 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	PengukuranPada Generator			Pengukuran Pada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	h	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	17	29	29,5	39,75	42							1479		32,56	246,5
2	17,25	29,2	32	41	42,25							1471		32,55	245,2
3	17,75	29,5	31,75	41,25	43,75							1460		32,47	243,3
4	24	32,75	33,5	42,75	43,75	0,85	0,88	0,74	**0,823**	2,19	3,90	1463	220	32,47	243,8
5	25	34,75	36	43,75	44,25							1473		32,52	245,5
Rata-rata	**20,2**	**31,05**	**32,55**	**41,7**	**43,2**							**1469,2**		**32,514**	**244,86**

4.2.2 Setelah Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

Tabel 5. Data-data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator}$ = 180 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	Pengukuran Pada Generator			Pengukuran Pada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	h	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	18	28,75	42,5	54,5	72,5							1352		35,88	229
2	37,75	52,5	66	73,75	82,75							1329		35,86	222,9
3	30,25	45	61,75	80,75	93,5							1352		35,91	225,5
4	26	42,75	52,5	63,75	77	0,98	0,99	1,01	**0,993**	2,39	4,18	1337	180	35,90	225,9
5	19,5	27,25	34,25	44,5	54,25							1323		36,09	223,5
Rata-rata	**26,3**	**39,25**	**51,4**	**63,45**	**76**							**1338,6**		**35,928**	**225,36**

Tabel 6. Data-data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator}$ = 200 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	Pengukuran Pada Generator			Pengukuran Pada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	h	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	18	28,75	42,5	54,5	72,5							1390		36,60	236,5
2	37,75	52,5	66	73,75	82,75							1390		36,56	236,4
3	30,25	45	61,75	80,75	93,5							1394		36,53	237,1
4	26	42,75	52,5	63,75	77	0,98	0,99	1,01	**0,993**	2,39	4,18	1394	200	36,56	235,2
5	19,5	27,25	34,25	44,5	54,25							1390		36,52	236,3
Rata-rata	**26,3**	**39,25**	**51,4**	**63,45**	**76**							**1391,6**		**36,554**	**236,3**

Tabel 7. Data-data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator}$ = 220 V)

No	Pengukuran Waktu					Pengukuran Luas Penampang					*Head* (H)	Pengukuran Pada Generator			Pengukuran Pada Turbin
	10 m	15 m	20 m	25 m	30 m	h_1	h_2	h_3	H	L		putaran	Tegangan	Arus	Putaran
	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(*s*)	(m)	(m)	(m)	Rata-rata (m)	(m)	(m)	(rpm)	(V)	(I)	(rpm)
1	18	28,75	42,5	54,5	72,5							1480		36,66	251
2	37,75	52,5	66	73,75	82,75							1480		36,68	254,4
3	30,25	45	61,75	80,75	93,5							1482		36,72	253,6
4	26	42,75	52,5	63,75	77	0,98	0,99	1,01	**0,993**	2,39	4,18	1472	220	36,83	251,3
5	19,5	27,25	34,25	44,5	54,25							1459		36,85	249,2
Rata-rata	**26,3**	**39,25**	**51,4**	**63,45**	**76**							**1474,6**		**36,748**	**251,9**

4.3 Perhitungan debit, daya output/keluaran generator dan efisiensi

4.3.1 Sebelum Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

Dengan mengambil data pada tanggal 13 Mei 2018 ($V_{generator}$ = 180 V), maka dapat dihitung :

1. Menghitung Daya hidrolik (Ph).

Diketahui : g = 9,81 m/s^2

s = 10 m

l = 2,19 m

t = 40,4 s

ρ = 1.000 kg/m^3

H = 3,90 m

n_g = 1255,2 rpm

η_t = 70 %

V = 180 V

I = 33,928 A

Pg = 4 kutub

$D_{Penstock}$ = 0,317 m

h saluran Pembawa = 0,823 m

h level air bak penenang = 1,31 m

Menghitung Luas Penampang saluran pembawa (A)

A = l x h = 2,19 m x 0,823 m = 1,802m^2

Menghitung Kecepatan aliran air pada saluran pembawa (v)

$$v = \frac{s}{t} = \frac{10\ m}{20{,}2\ s} = 0{,}495\ m/s$$

Menghitung Debit air pada saluran pembawa ($Q_{Head\ Race}$)

$Q = A \times v = 1{,}802\ m^2 \times 0{,}495\ m/s = 0{,}892\ m^3/s$

Menghitung Debit pada *Penstock* ($Q_{Pentock}$)

$Q = A \times v$

Dimana :

$A = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4}\ 3{,}14 \times 0{,}317^2 = 0{,}079 m^2$

$v = \sqrt{2\ .\ g.h}$

$v = \sqrt{2\ .\ 9.81\ m/s^2.\ 1{,}31\ m}$

$v = 5{,}069\ m/s$

jadi, debit pada *Penstock* yaitu

$Q = A \times v = 0{,}237\ m^2 \times 5{,}069\ m/s = 0{,}400\ m^3/s$

Menghitung Daya Hidrolik (P_H)

$P_h = \rho\ .Q.g.\ H$

$= 1.000\ kg/m^3 \times 0{,}400\ m^3/s \times 9{,}81\ m/s^2 \times 3{,}90\ m$

$= 15.303{,}6$ watt

2. Menghitung Daya Turbin (P_T)

$\eta_t = \frac{P_T}{P_H}$

$P_T = P_H \times \eta_t$

$= 15.303{,}6\ watt \times 70\ \%$

$= 10.712{,}52$ watt

3. Menghitung Frekuensi Generator (f)

$$f = \frac{p \cdot n}{120}$$

$$f = \frac{4 \cdot 1255,2}{120}$$

f = 41,84 Hz

4. Menghitung Daya Generator

Diketahui : V = 180Volt

I = 32,474 A

Cos Ø = 1

Ditanyakan : P_g = . . . ?

Penyelesaian :

P_g = V× I×Cos Ø

= 180 Volt ×32,474 A× 1

= 5.845,32 watt

5. Efisiensi Generator (η_g)

Diketahui : Daya Turbin = 10.712,52 watt

Daya Generator = 5.845,32 watt

Ditanyakan :η_g = . . . ?

Penyelesaian:

$$\eta_g = \frac{\text{Daya Generator}}{\text{Daya Turbin}} \text{ x } 100\ \%$$

$$\eta_g = \frac{5.845,32 \text{ watt}}{10.712,52 \text{ watt}} \text{ x } 100\ \%$$

η_g = 54,57 %

6. Efisiensi Sistem (η_s)

Diketahui : Daya Hidrolik = 15.303,6 watt

Daya Generator = 5.845,32 watt

Ditanyakan : η_s = . . . ?

Penyelesaian :

$$\eta_s = \frac{\text{Daya Generator}}{\text{Daya Hidrolik}} \text{ x } 100\ \%$$

$$\eta_s = \frac{5.845{,}32\ \text{watt}}{15.303{,}6\ \text{watt}} \text{ x } 100\ \%$$

$$\eta_s = 38{,}20\ \%$$

7. Menghitung Torsi

$$P_t = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$T = \frac{P_t \times 60}{2\pi N}$$

$$= \frac{10.712{,}52 \times 60}{2 \times 3{,}14 \times 209{,}12}$$

$$= 489{,}43 \text{ Nm}$$

Adapun debit yang terbuang yaitu :

$Q_{terbuang} = Q_{saluran} - Q_{penstck}$

$= 0{,}892\ m^3/s - 0{,}400 m^3/s$

$= 0{,}492\ m^3/s$

4.3.2 Setelah Pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

Dengan mengambil data pada tanggal 2 Juni 2018 ($V_{generator}$ = 180 V), maka dapat dihitung :

1. Menghitung Daya hidrolik (Ph).

Diketahui : g = 9,81 m/s^2

s = 10 m

l = 2,39 m

t = 105,2 s

ρ = 1.000 kg/m^3

H = 4,18 m

n_g = 1 rpm

η_t = 70 %

V = 180 V

I = 1,928 A

Pg = 4 kutub

$D_{Penstock}$ = 0,317 m

h saluran Pembawa = 0,993 m

h level air bak penenang = 1,39 m

Menghitung Luas Penampang saluran pembawa (A)

A = l × h = 2,39 m x 0,993 m = 2,373m^2

Menghitung Kecepatan aliran air pada saluran pembawa (v)

$$v = \frac{s}{t} = \frac{10\ m}{26{,}3\ s} = 0{,}38\ m/s$$

Menghitung Debit air pada saluran pembawa ($Q_{Head\ Race}$)

$Q = A \times v = 2{,}373\ m^2 \times 0{,}38\ m/s = 0{,}902\ m^3/s$

Menghitung Debit pada *Penstock* ($Q_{Pentock}$)

$Q = A \times v$

Dimana :

$A = \frac{1}{4}\pi d^2 = \frac{1}{4}\ 3{,}14 \times 0{,}317^2 = 0{,}079\ m^2$

$v = \sqrt{2\ .g.h}$

$v = \sqrt{2\ .9.81\frac{m}{s^2}.1{,}39\ m}$

$v = 5{,}22\ m/s$

jadi, debit pada *Penstock* yaitu

$Q = A \times v = 0{,}079\ m^2 \times 5{,}22\ m/s = 0{,}412\ m^3/s$

Menghitung Daya Hidrolik (P_H)

$P_h = \rho\ .Q.g.\ H$

$= 1.000\ kg/m^3 \times 0{,}412\ m^3/s \times 9{,}81\ m/s^2 \times 4{,}18\ m$

$= 16.402{,}32$ watt

2. Menghitung Daya Turbin (P_T)

$\eta_t = \frac{P_T}{P_H}$

$P_T = P_H \times \eta_t$

$= 16.402{,}32$ watt $\times$ 70 %

$= 11.481{,}624$ watt

3. Menghitung Frekuensi Generator (f)

$f = \frac{p\ .n}{120}$

$f = \frac{4 .1338,6}{120}$

f = 44,62 Hz

4. Menghitung Daya Generator

Diketahui : V = 180 Volt

I = 33,928 A

Cos Ø = 1

Ditanyakan : P_g = . . . ?

Penyelesaian :

P_g= V× I×Cos Ø

= 180 volt × 35,928 A× 1

= 6.467,04 watt

5. Efisiensi Generator (η_g)

Diketahui : Daya Turbin = 11.481,624 watt

Daya Generator = 6.467,04 watt

Ditanyakan :η_g= . . . ?

Penyelesaian :

$\eta_g = \frac{\text{Daya Generator}}{\text{Daya Turbin}}$ x 100 %

$\eta_g = \frac{6.467,04 \text{ watt}}{11.481,624 \text{ watt}}$ x 100 %

η_g = 56,33 %

6. Efisiensi Sistem (η_s)

Diketahui : Daya Hidrolik = 16.402,32 watt

Daya Generator = 6.467,04 watt

Ditanyakan : η_s = . . . ?

Penyelesaian :

$$\eta_s = \frac{\text{Daya Generator}}{\text{Daya Hidrolik}} \text{ x } 100\ \%$$

$$\eta_s = \frac{6.467{,}04\ \text{watt}}{16.402{,}32\ \text{watt}} \text{ x } 100\ \%$$

$$\eta_s = 39{,}43\ \%$$

7. Menghitung Torsi

$$P_t = \frac{2\pi NT}{60}$$

$$T = \frac{P_t \times 60}{2\pi N}$$

$$= \frac{11.481{,}624 \times 60}{2 \times 3{,}14 \times 225{,}36}$$

$$= 486{,}76 \text{ Nm}$$

Adapun debit yang terbuang yaitu :

$Q_{terbuang} = Q_{saluran} - Q_{penstck}$

$= 0{,}902 m^3/s - 0{,}412 m^3/s$

$= 0{,}49\ m^3/s$

4.4 Tabel Hasil Analisa

Adapun hasil analisa dari pemasangan *trash rack* dan *spillway gate*, yaitu :

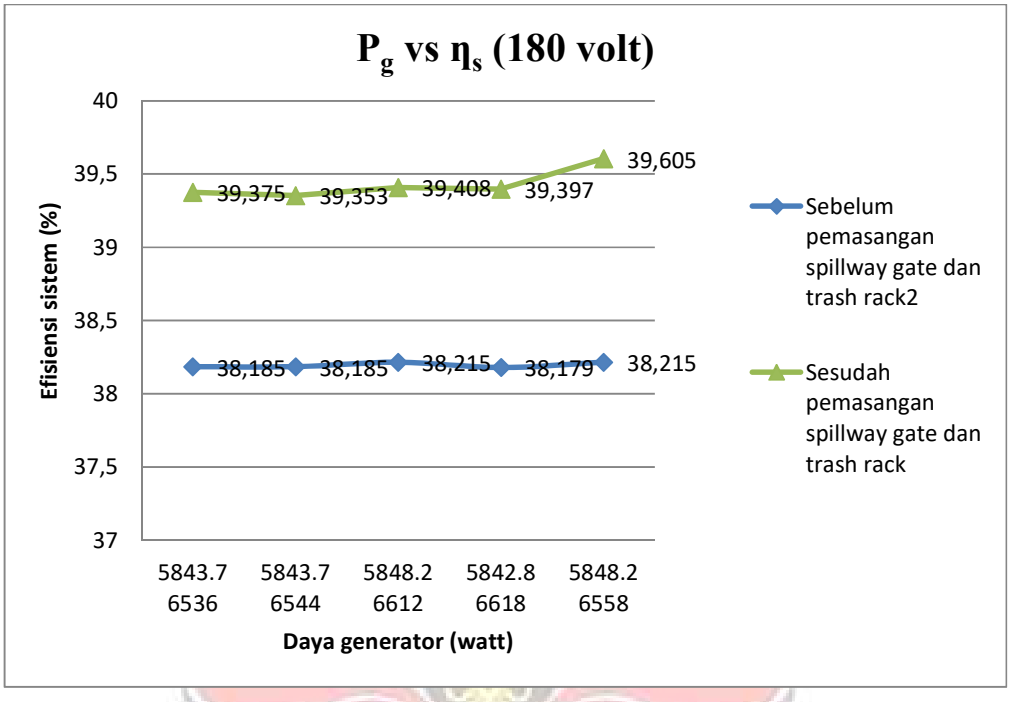
Tabel 8. Sebelum pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

No.	Debit Q (m^3/s)	Head H (m)	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan V (Volt)	Arus I (Ampere)	Daya Hidrolik (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi generator ηg(%)	Efisiensi Sistemη s(%)	Frekuensi (Hz)	Torsi T (Nm)
1.	0,400	3,90	1.225,2	209,12	180	32,474	15.303,600	10.712,520	5.845,32	54,57	38,20	41,84	489,43
2.	0,400	3,90	1340,2	223,36	200	32,868	15.303,600	10.712,520	6.573,6	61,364	42,96	44,67	458,22
3.	0,400	3,90	1469,2	244,86	220	32,514	15.303,600	10.712,520	7.153,08	66,773	46,741	44,67	417,99

Tabel 9. Setelah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

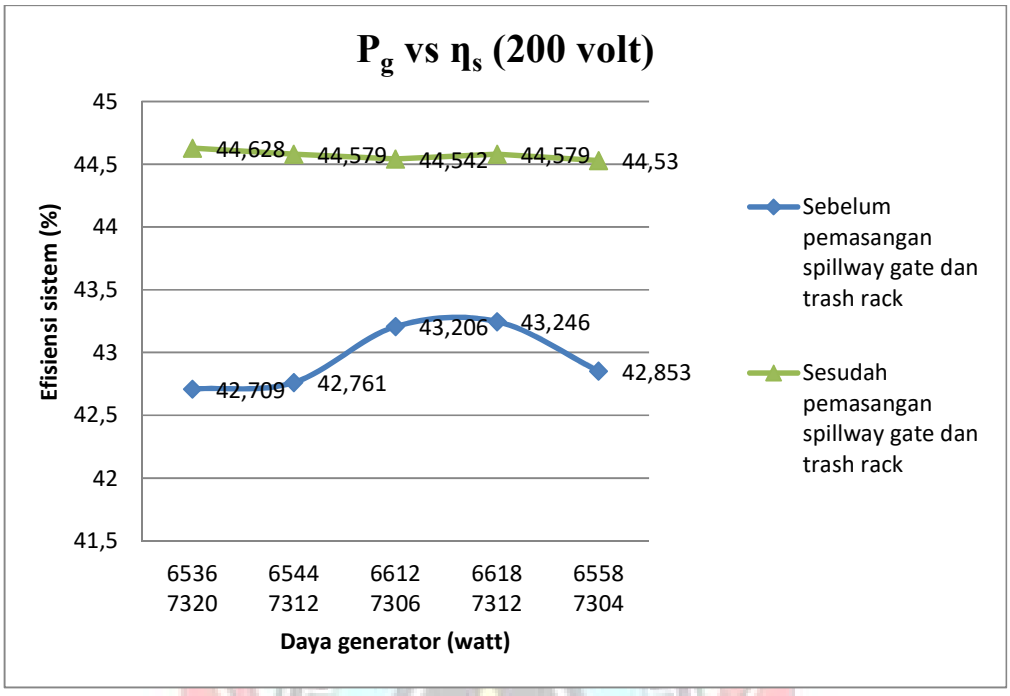
No.	Debit Q (m^3/s)	Head H (m)	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan V (Volt)	Arus I (Ampere)	Daya Hidrolik (Watt)	Daya Turbin (Watt)	Daya Generator (Watt)	Efisiensi generatorηg(%)	Efisiensi Sistemηs(%)	Frekuensi (Hz)	Torsi T (Nm)
1.	0,412	4,18	1338,6	225,6	180	33,928	16.402,32	11.481,624	6.467,04	56,33	39,43	44,62	486,25
2.	0,412	4,18	1391,6	236,3	200	34,554	16.402,32	11.481,624	7.310,8	63,674	44,57	46,39	464,23
3.	0,412	4,18	1474,6	251,9	220	34,748	16.402,32	11.481,624	8.084,56	70,413	49,29	49,15	435,48

4.5 Grafik



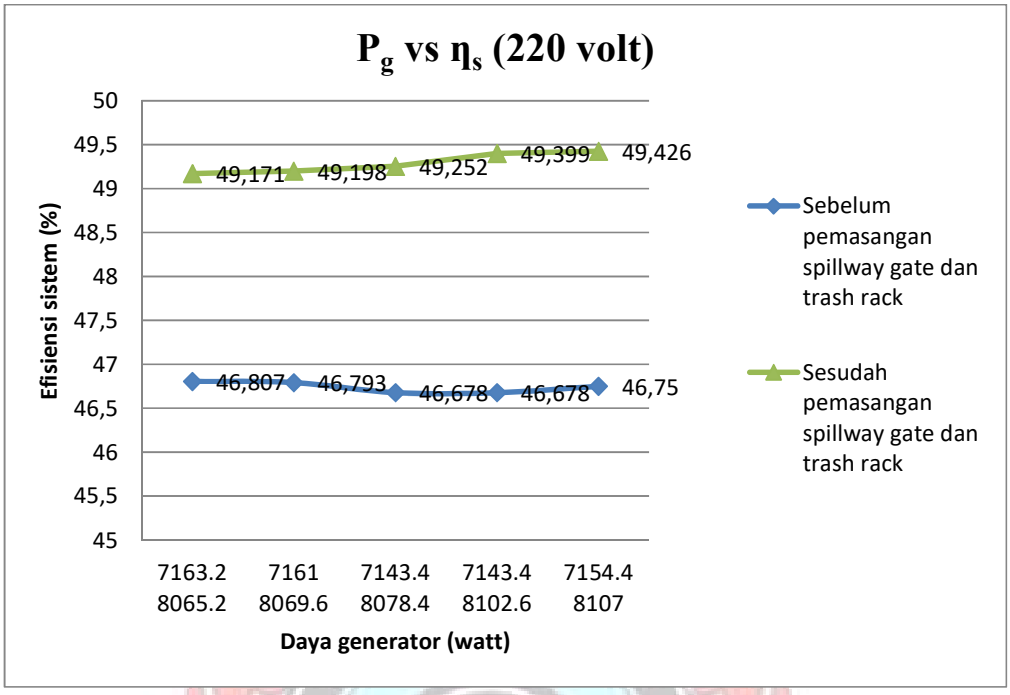
Gambar 12. Hubungan antara daya generator (watt) dan efisiensi sistem (%) pada Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Desa Pallawa Kabupaten Bone (V=180 volt).

Dari grafik pada Gambar 12 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 danefisiensi 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 13. 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 13 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 danefisiensi 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 14. 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 13 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 danefisiensi 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*.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data 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^3/s dan setelah pemasangan *trash rack* dan *spillway gate* saat pengambilan data 2 Juni yaitu 0,412 m^3/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 wattdan 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 Bonesangat 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.*

5.2 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 penelitan 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).

5. Sebaiknya melakukuan penelitian pada turbin karena daya yang dihasilkan oleh generator kurang dari daya yang terpasang yaitu 10 kW dan efisiensi yang di bawah 50 % bisa saja karena pada turbin yang bermasalah.

POLITEKNIK NEGERI
UJUNG PANDANG

DAFTAR PUSTAKA

Anshar, Muhammad dan Sonong.2017. *Optimalisasi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Mikrohidro Aliran Irigasi. Prosiding Seminar Hasil Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*.Makassar.

Arismunandar, A dan S, Kuwahara.2004. *Teknik Tenaga Listrik jilid I*. Paradya Paramita, Jakarta.

Dwiyanto,Very. 2016. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) Studi Kasus: Sungai Air Anak (Hulu Sungai Way Besai).* Skiripsi. Bandar Lampung: Fakultas Teknik Universitas Lampung.

Hariansyah, M. 2010. *Peranan Pembangki Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Pedesaan Sebagai Solusi Krisis Energi Listrik di Pedesaan*. Akademi Teknologi Bogor Vol. 9 No. 1

http://www.kajianpustaka.com/2016/10/pembangkit-listrik-tenaga-mikro-hidro.html (Diakses pada tanggal 30 Januari 2018)

Menik Mindarti. 2014. *Potensi Debit Air Bendung Tegal untuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) dan Irigasi di Desa Kebonagung dan Desa Sriharjo Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul*. Skripsi. Yogyakarta: Jurusan Pendidikan Geografi Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Yogyakarta.

Negara, Dewa Ngakan Ketut Putra. 2009. *Kajian Potensi Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Memanfaatkan Aliran Sungai Kelampuak di Desa Tamblang-Buleleng*. Jurnal Ilmiah. Jurusan Teknik Mesin Universitas Udayana Vol. 3 No. 1

Fatma Nurkhaerani. 2016. *Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (Pltmh) Di Sungai Cikaniki, Desa Malasari, Kecamatan Nanggung, Kabupaten Bogor*. Bogor: Departemen Teknik Sipil Dan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.

Permadi, Dimas Riadi, dkk. 2014. *Studi Kelayakan Pemasangan Pembangkit listrik Tenaga Mikrohidro pada Pintu Air Bendungan Mlirip Mojokerto,* (Online) (http://pengairan.ub.ac.id), diakses 30 Januari 2018)

Permatasari, R. eprints. undip.ac.id/34513/5/1501_chapter_II.pdf. pada tanggal 19 februari 2016.

PLN. 2014. *Statistik PLN 2014*. Sekretariat Perusahaan PT PLN (Persero), Jakarta

Pratama, Febriananda Mulya. 2014. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Banta pada Pabrik Gula Assembagoes Kabupaten Situbondo*. Publikasi Jurnal Skripsi. Malang: Jurusan Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Riduan, Mujib dan Priyo, Heru Adiwibowo. 2016. *Uji Eksperimental Pengaruh Variasi Jumlah Sudu terhadap Daya dan Efisiensi Turbin Reaksi*

Sadikin, Rifki. 2013. *Perancangan Penstock Pada PLTMH Ciherang Di Desa Ciawi Kecamatan Wanayasa Kabupaten Purwakarta*.Jurusan Teknik Konversi Energi Politeknik Negeri Bandung.

Crossflow Poros Vertikal dengan Sudu Setengah Silinder. Surabaya: Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Surabaya Vol. 04 No. 03

Rompas, Parabelem T.D. 2011. *Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) pada Daerah Aliran Sungai Ongkak Mongondow di Desa Muntoi Kabupaten Bolaang Mongondow*. Manado: Fakultas Teknik Universitas Negeri Manado.

Shaufi, Fiqri. 2014. *Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Berbantuan Program Casimir di Riam Pagung Desa Sanatab Kecamatan Sajingan Besar Kabupaten Sambas*. Pontianak: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.

Srisukamta, Kusmantoro, 2013.*Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga MikroHidro (PLTMH) Jantur Tabalas Kalimantan Timur.* Teknik ElektroUniversitas Negeri Semarang Vol. 5 No. 2

Subandono, Agus. 2008. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH).*Fakultas Teknik Universitas Pawyatan Daha Kediri.

Subekti, R.A. dan Susatyo, A. 2009. Perancangan *Penstock* Menggunakan *Software Computational Fluid Dynamics.* Puslit Tenaga Listrik dan Mekatronik-LIPI, Serpong.

Sulaeman dan Ramu, Adi Jaya. 2014. *Perencanaan Pembangunann Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) di Kanali Pasaman Barat*. Padang: Jurusan Teknik Mesin Institute Teknologi Padang.

Sultan dan NurlitaRista. 2015. *Evaluasi Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro Desa Ulu Wai Kabupaten Tana Toraja*. Politeknik NegeriUjung Pandang.

Suwigyo. 2012. *Pembangkit Mikrohidro : Teknologi, Survey & Desain, Implementasi Konstruksi dan Peluang Pengembangan.* Jurusan Teknik Sipil-FT UMM, Malang.

Syahrial dan Prayudi, Azis.2016. *Analisa Kinerja Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro Desa Tombolo Pao Kabupaten Gowa.* Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

Syamsudarmin dan Latifah, Ali. 2017. *Perakitan dan Pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro di Kecamatan Tompobulu Kabupaten Maros*. Laporan Tugas Akhir. Makassar: Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.

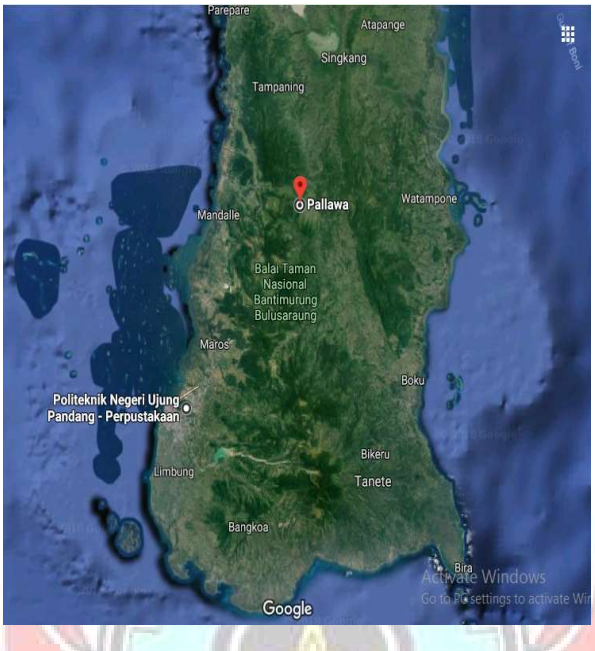
Uday, Muhammad. 2010. *Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)*. Fakultas Pertanian Universitas Syiah Kuala, Darussalam Banda Aceh.

Mentri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2017. Peraturan *Menteri Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia* Nomor: 12 Tahun 2017 Tentang Pemanfaatan Sumber Energi Terbarukan UntukPenyediaan Tenaga Listrik

Menteri Energi Dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2012. *Peraturan Menteri Energi Dan Sumber Daya MineralRepublik Indonesia*Nomor: 02 Tahun 2012 Tentang Petunjuk Teknis Penggunaan Dana Alokasi Khusus Bidang Listrik Perdesaan Tahun Anggaran 2012.

L A M P I R A N

Lampiran 1. Pengambilan Data Awal dan Pengukuran



Peta lokasi PLTMH Desa Pallawa Kabupaten Bone

Power House PLTMH Pallawa

Pengukuran dimensi Trash rack sebelum bak penenang

Pengukuran dimensi *Spillway gate*

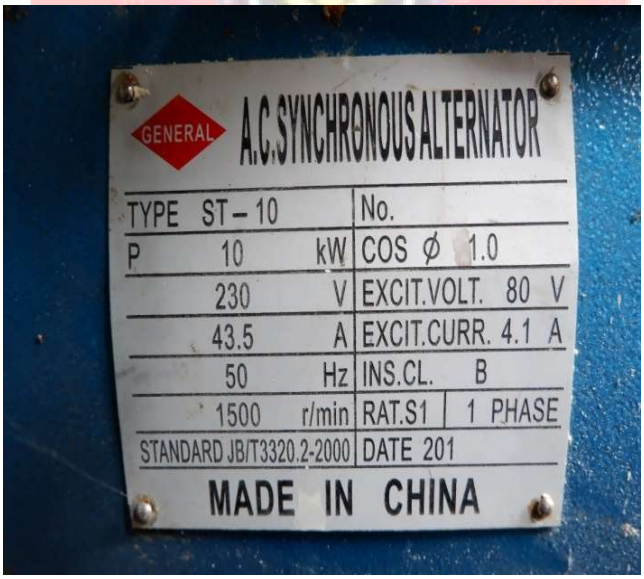
Pengukuran dimensi *Spillway gate*

Mengukur putaran poros generator dan turbin dengan menggunakan *Tacho meter*

Mengukur Arus keluaran pada generator menggunakan tang ampere

Mengukur diameter *penstock*

Mengukur Head pada PLTMH Desa Pallawa



Name plate generator

Lampiran 2. Pembuatan dan Prakitan *spillway gate* dan *trash rack*

Pembuatan rangka utama *spillway gate*

Pembuatan rangka utama *spillway gate*

Perakitan *trash rack*

Perakitan*spillway gate*

Sesudah pengecetan pada *trash rack*

Sesudah pengecetan pada *spillway gate*

UJUNG PANDANG

Lampiran 3. Pengujian dan Pengambilan Data

Sesudah pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*padaPLTMH Desa Pallawa

Berfoto dengan Petugas PLTMH Desa Pallawa

Pengukuran pada power house PLTMH Desa Pallawa

Setelah pemasangan trash rack sebelum bak penenang

Proses pemasangan *spillway gate* dan *trash rack*

Spillway gate setelah pemasangan

LEMBAR REVISI JUDUL SKRIPSI

Nama : MUH. IRSANDI W / FELNITHA ALLO LANGI'

NIM : 442 14 008 / 442 14 026

Catatan Daftar Revisi Penguji :

No	Nama	Uraian	Tanda Tangan
1.	DR. JAMAL, ST, MT.	- Hukum Continuitas konstan dipakai! - Efisiensi sistem sangat sulit. - Saran : sebaiknya cari jurnal saran untuk kelanjutan penelitian.	
2.	ABD. RAHMAN, ST, MT	- Efisiensi Turbin ? sdh & thn - Perbaikan Perbedaan efisiensi	18/09 2018
3	A. M. SHIDDIQ YUNUS	- hal 8. Kio → KW ✓ - Grafik di buat terpisah ✓ mana? - Perbaiki penulisan efisiensi ✓	24/09 18
4.	MAHMUR SANI, PhD	- Daya generator terlalu kecil? - Meningkat daya pengunan ✓ Beban pada malam ini ✓ dengan metode konvensional ✓ dengan mengambil pengunan sekitar 80% ✓ -	19/10

Makassar,
Ketua / Sekretaris Panitia Ujian Sidang,

NIP.

Catatan: Jika ada perubahan Judul Tugas Akhir konfirmasikan secepatnya ke bagian Akademik.

FM-Q 42.ed.A rev.0