

Analisis Efisiensi Turbin pada Pembangkit Listrik Tenaga Minihydro (PLTM) Malea di Kabupaten Tana Toraja

Jumadi Tangko¹ dan Yiyin Klistafani^{2*}, A. Khayunnisa³, dan Reza Risaldi Robby⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*yiyin_klistafani@poliupg.ac.id

Abstract: Malea Minihydro Power Plant in Tana Toraja district is the only one power plant that supplies electricity directly to Malea Hydropower Project. This analysis provides an explanation or description of the circumstances of power plant under study ranging from waterways to the performance of Francis turbine. Aims to find out the efficiency that produced by turbine and factors that influence the turbine efficiency. In this research, the turbines studied were unit 1 and unit 2. Data obtained from measurement results and annual data of Malea Minihydro Power Plant with documentation. The results showed that every year there was a decreasing in turbine efficiency both in unit 1 and unit 2. This is caused by the reduced performance of some components of turbine. As for the turbine unit 1 the largest turbine efficiency value in 2012 is 98.40%, turbine efficiency value in 2016 is 83.30%, and smallest turbine efficiency value in 2018 is 79.37%. On turbine unit 2 the largest turbine efficiency value in 2012 is 97.46 % and the smallest turbine efficiency value in 2016 is 77.35 %. In 2017 and 2018 turbine unit 2 no longer operate due to damaged bearing. The result showed that efficiency value of Malea MiniHydro Power Plant Tana Toraja less efficient in generating electricity. This is caused by the PLTM have been operated since 2012 and there was no maintenance that done regularly.

Keywords: Efficiency; PLTM; Turbine

Abstrak: Pembangkit Listrik Tenaga MiniHydro (PLTM) Malea di Kabupaten Tana Toraja merupakan satu satunya pembangkit yang menyuplai langsung kebutuhan listrik pada proyek PLTA Malea. Analisis ini memberikan penjelasan atau gambaran tentang keadaan dari Pembangkit yang diteliti mulai dari waterway hingga kinerja turbin Francis. Bertujuan untuk mengetahui besar efisiensi yang dihasilkan turbin serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin. Dalam penelitian ini turbin yang diteliti adalah turbin unit 1 dan unit 2. Data diperoleh dari hasil pengukuran dan data tahunan di PLTM Malea dengan teknik dokumentasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa setiap tahun terjadi penurunan efisiensi turbin baik pada turbin unit 1 dan turbin unit 2. Hal ini diakibatkan karena berkurangnya kinerja dari beberapa komponen pada turbin tersebut. Adapun pada turbin unit 1 nilai efisiensi turbin terbesar pada tahun 2012 yaitu 98,40 %, nilai efisiensi turbin pada tahun 2016 yaitu 83,30 % dan efisiensi turbin terkecil pada tahun 2018 yaitu 79,37 %. Pada turbin unit 2 nilai efisiensi turbin terbesar pada tahun 2012 yaitu 97,46 % dan efisiensi turbin terkecil pada tahun 2016 yaitu 77,35 %. Dimana pada tahun 2017 dan 2018, turbin unit 2 tidak beroperasi lagi dikarenakan kerusakan bearing. Dari nilai ini didapatkan bahwa nilai efisiensi pada PLTM Malea Kabupaten Tana Toraja kurang efisien dalam membangkitkan daya listrik. Hal ini disebabkan karena PLTM tersebut sudah beroperasi sejak tahun 2012 dan tidak adanya perawatan yang dilakukan secara berkala.

Kata kunci : Komponen; Efisiensi, PLTM, Turbin

I. PENDAHULUAN

Ketersediaan energi listrik sudah merupakan keharusan bagi keberlanjutan pembangunan setiap negara. Energi listrik merupakan kebutuhan primer dan telah hampir menyamai tingkat kebutuhan terhadap sandang, pangan dan papan. Karenanya setiap negara berlomba untuk membangun pembangkit tenaga listrik yang bersesuaian dengan kondisi geografis dan sumber daya alam yang tersedia. Indonesia sebagai negara yang berada pada garis khatulistiwa yang beriklim tropis memiliki hutan luas dan lebat yang menyediakan mata air/sumber air yang membentuk danau, dan sungai yang mengalirkan air sepanjang tahun. Air yang mengalir tersebut merupakan sumber energi yang salah satu manfaatnya untuk memutar turbin air untuk menghasilkan tenaga listrik.

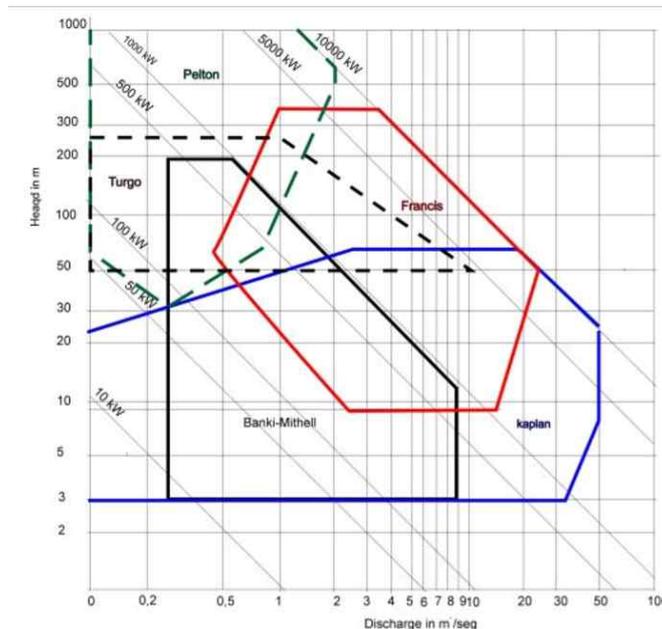
Beberapa keunggulan memanfaatkan sumber daya air adalah terjaminnya ketersediaan listrik tanpa batasan waktu selama intensitas aliran air dapat dipertahankan sesuai kebutuhan turbin/pembangkit, tidak menimbulkan polusi sehingga aman bagi lingkungan dan juga pengaturan air dari fasilitas pembangkit dapat digunakan sebagai sumber pengairan bagi lahan pertanian.

Melihat kebutuhan akan tambahan kapasitas pembangkit listrik di masa depan Pulau Sulawesi dan melihat potensi alam yang ada di wilayah pulau tersebut, PT. Hadji Kalla Group memprakarsai pembangunan PLTM Malea kapasitas 25 MW untuk unit 1 sampai unit 6 yang dirintis sejak tahun 2005. Saat ini telah beroperasi unit 1 dan 2 dengan kapasitas $2 \times 3,5$ MW, unit 3 dan 4 sudah tidak beroperasi karena rusak dan sekarang sedang pembangunan tahap akhir untuk unit 5 dan 6 dengan kapasitas $2 \times 5,5$ MW yang memanfaatkan aliran air Sungai Sadang. Daya yang dihasilkan PLTM Malea akan ditransmisikan ke penyulang di PLN Rayon Makale yang kemudian digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik pada konstruksi PLTA Malea. Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbaru berupa air. Salah satu keunggulan dari pembangkit ini adalah responnya yang sangat cepat sehingga sangat sesuai dengan kondisi beban puncak maupun pada saat terjadi gangguan [1].

Berdasarkan daya yang dihasilkan pembangkit listrik tenaga air dibedakan menjadi:

1. *Micro-hydro* : dibawah dari 100 kW
2. *Mini-hydro* : 101 kW – 10 MW
3. *Small-hydro* : 10 MW – 50 MW
4. *Large-hydro* : lebih dari 50 MW [2]

Berikut merupakan grafik pemilihan jenis turbin yang digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA)



Gambar 1. Grafik pemilihan turbin berdasarkan ketinggian (*head*) dan debit (*discharge*) [3]

Adapun turbin yang digunakan pada PLTM Malea adalah turbin francis. Turbin francis pertama kali ditemukan sekitar tahun 1950 oleh orang Amerika yang bernama Howk dan Francis. Teknik mengkonversikan energi potensial menjadi energi mekanik pada roda air turbin dilakukan melalui proses reaksi sehingga turbin francis juga sering disebut turbin reaksi. Turbin dipasang diantara sumber air tekanan tinggi di bagian masuk dan air bertekanan rendah di bagian keluar. Konstruksi turbin francis terdiri dari sudu pengarah dan sudu jalan. Perubahan energi seluruhnya terjadi pada sudu pengarah dan sudu gerak yang keduanya terendam dalam air. Air pertama masuk pada terusan berbentuk spiral. Sudu pengarah mengarahkan air masuk secara tangensial. Sudu

pengarah pada turbin francis merupakan suatu sudu pengarah yang tetap ataupun sudu pengarah yang dapat diatur sudutnya. Penggunaan sudu pengarah yang dapat diatur merupakan pilihan yang tepat untuk berbagai kondisi aliran air. Turbin francis merupakan jenis turbin tekanan lebih. Aliran air masuk ke sudu pengarah dengan kecepatan semakin naik dengan tekanan yang semakin turun sampai roda jalan, pada roda jalan kecepatan akan naik lagi dan tekanan turun sampai di bawah 1 atm. Untuk menghindari kavitasi, tekanan harus dinaikan sampai 1 atm dengan cara pemasangan pipa hisap. Pengaturan daya yang dihasilkan yaitu dengan mengatur posisi pembukaan sudu pengarah, sehingga kapasitas air yang masuk ke roda turbin dapat diperbesar atau diperkecil. Turbin ini digunakan untuk tinggi terjun sedang, yaitu 20 - 440 meter [4].

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ferdianto [5] menyimpulkan bahwa penyebab utama menurunnya efisiensi dan performa turbin disebabkan oleh faktor usia komponen yang memang sudah waktunya untuk diganti.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Siregar [6] menyimpulkan bahwa hubungan antara produksi listrik berbanding lurus dengan tinggi muka air, debit air, dan daya yang digunakan. Semakin tinggi muka air dalam waduk, maka semakin banyak debit air yang dikeluarkan, sehingga semakin besar juga daya dan jumlah produksi listrik yang akan dihasilkan.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Muliawan [7] menyimpulkan bahwa semakin besar debit air maka efisiensi turbin kinetik semakin meningkat dikarenakan adanya penambahan kecepatan aliran yang menumbuk sudu turbin sehingga gaya tangensial yang dihasilkan meningkat dan mempengaruhi torsi turbin, daya turbin dan efisiensi turbin.

Kondisi saat ini untuk unit 1 dan 2 telah beroperasi sekitar 6 tahun dan telah mengalami permasalahan yang dapat menurunkan efisiensi unit secara umum dan efisiensi turbin secara khusus. Untuk itu, perlu dilakukan analisa guna mengetahui faktor-faktor yang mempengaruhi permasalahan tersebut.

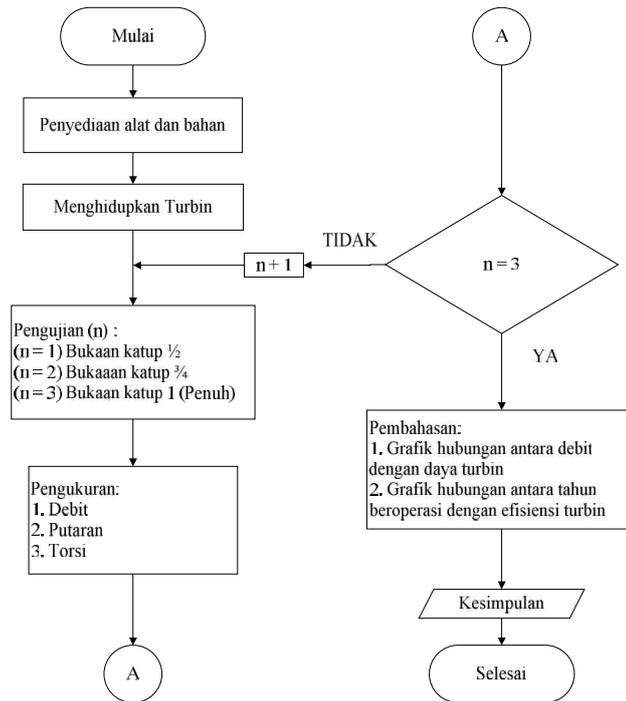
II. METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari - Mei 2019 bertempat di PLTA Malea Energy Sub. Unit PLTM Malea (2 x 3,6 MW) Kabupaten Tana Toraja Provinsi Sulawesi Selatan dan Laboratorium Konversi Energi Politeknik Negeri Ujung Pandang.

2.2 Prosedur Penelitian

Langkah – langkah proses perhitungan efisiensi keseluruhan turbin dan karakteristik dari turbin berdasarkan variasi bukaan katup dapat dilihat secara umum pada Gambar 1. Data turbin yang diperoleh kemudian dimasukkan ke dalam persamaan yang menggunakan metode langsung. Kemudian menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin pada PLTM unit 1 dan 2.



Gambar 2. Flow Chart Pengujian Efisiensi Turbin

Pada penelitian ini, analisis data yang akan dihitung dalam menentukan efisiensi dari suatu turbin adalah:

$$\eta_t = \frac{P_m}{P_h} \times 100 \%$$

Dimana:

η_t = Efisiensi Turbin

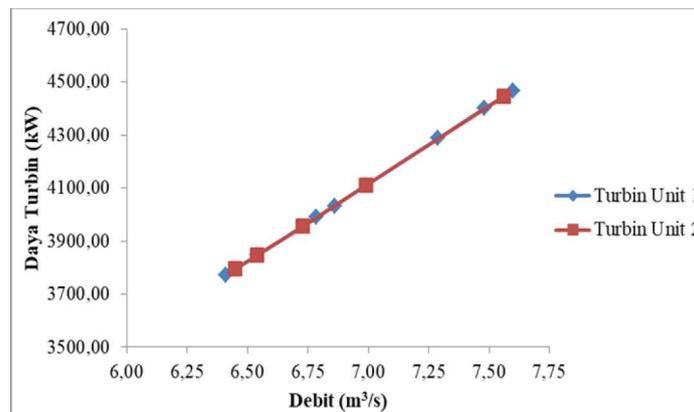
P_m = Daya Mekanik

P_h = Daya Hidrolik

Efisiensi adalah hasil guna atau daya guna yang dibangkitkan oleh turbin dan generator sebagai hasil pemanfaatan potensi air terjun semaksimal mungkin untuk menghasilkan tenaga listrik sebesar besarnya, efisiensi ini ditentukan dengan satuan persen [8].

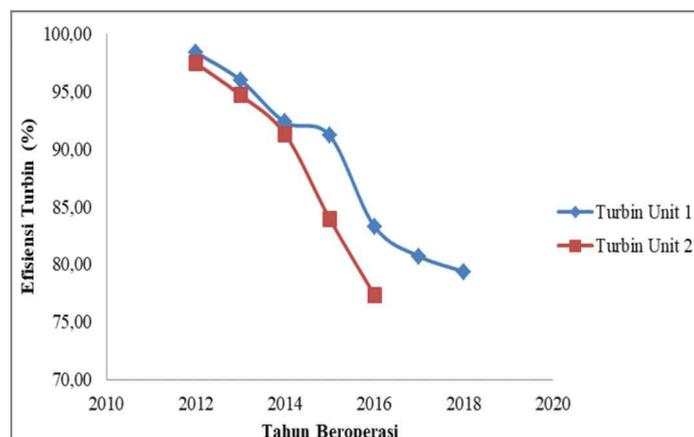
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Gambar 3 terlihat bahwa, hubungan antara debit dengan daya turbin berbanding lurus, dimana semakin besar debit maka semakin besar daya turbin yang dihasilkan, baik pada turbin 1 maupun turbin 2. Hal ini sesuai dengan rumus daya hidrolik yaitu $P_h = \rho \times g \times q \times H$. Adapun pada turbin unit 1 nilai debit terbesar yaitu 7,60 m³/s dengan daya turbin sebesar 4465,86 kW dan debit terkecil yaitu 6,41 m³/s dengan daya turbin sebesar 3772,93 kW. Pada turbin unit 2 nilai debit terbesar yaitu 7,56 m³/s dengan daya turbin sebesar 4444,30 kW dan debit terkecil yaitu 6,45 m³/s dengan daya turbin sebesar 3794,56 kW.



Gambar 3. Grafik hubungan antara debit dengan daya turbin pada PLTM Malea

Pada Gambar 4 terlihat hubungan antara tahun beroperasi turbin dengan efisiensi turbin bahwa setiap tahun terjadi penurunan efisiensi turbin baik pada turbin unit 1 dan turbin unit 2. Hal ini diakibatkan karena berkurangnya kinerja dari beberapa komponen pada turbin tersebut. Adapun pada turbin unit 1 nilai efisiensi turbin terbesar yaitu 98,40 % pada tahun 2012 dan efisiensi turbin terkecil yaitu 79,37 % pada tahun 2018. Pada turbin unit 2 nilai efisiensi turbin terbesar yaitu 97,46 % pada tahun 2012 dan efisiensi turbin terkecil yaitu 77,35 % pada tahun 2016. Dimana pada tahun 2017 dan 2018, turbin unit 2 tidak beroperasi lagi dikarenakan bearing yang digunakan telah rusak.



Gambar 4. Grafik hubungan antara tahun beroperasi dengan efisiensi turbin pada PLTM Malea

Berdasarkan hasil pengumpulan data dan wawancara dengan pihak PLTM Malea, maka faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin terbagi atas 2 macam, yaitu faktor internal dan faktor eksternal :

Untuk faktor internal meliputi faktor *bearing*, faktor *blade* turbin, dan faktor *maintenance*. Pada faktor *bearing*, data pengoperasian turbin unit 2 pada bulan Juli sampai agustus 2014 terjadi kerusakan *bearing* akibat gesekan antara poros dengan inner ring pada bearing yang mengakibatkan keretakan pada sisi *inner ring*. Hal ini sangat berpengaruh terhadap daya mekanik yang dihasilkan oleh poros turbin dan tentunya berpengaruh terhadap efisiensi turbin itu sendiri. Terlebih dalam proses perbaikannya pihak PLTM Malea hanya melakukan langkah penambalan dengan cara mengelas bagian *inner ring* yang retak.

Pada faktor *blade* turbin, dapat dilihat data pengoperasian turbin unit 1 dan 2 setiap tahunnya mengalami kenaikan debit untuk mencapai daya yang sama, hal ini berarti terjadi penipisan pada sisi *blade* turbin yang diakibatkan oleh tumbukan air selama turbin beroperasi.

Dan pada faktor *maintenance*, dalam proses perawatan dan perbaikannya pihak Maintenance PLTM Malea tidak berpedoman pada *Standard Operational Prosedure* (SOP) atau tidak melakukan perawatan dan perbaikan secara periodik. Namun tergantung pada kondisi dari unit itu sendiri. Hal ini menjadi faktor utama penyebab menurunnya efisiensi sistem secara keseluruhan.

Adapun faktor eksternal yaitu faktor sedimentasi. Yang dimana data terakhir yang kami peroleh pada bulan November 2018 mengenai tinggi sedimentasi yang berada pada sisi *waterway* mencapai 57 cm. Hal ini berpengaruh terhadap jumlah debit yang masuk ke dalam turbin dan akan berpengaruh terhadap daya hidrolis yang dihasilkan.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis data yang telah dilakukan maka dapat ditarik beberapa kesimpulan :

1. Nilai efisiensi turbin unit 1 pada Pembangkit Listrik Tenaga *MiniHydro* (PLTM) Malea dari hasil pengukuran pada bukaan katup 100%, 75%, dan 50% berturut-turut yaitu 79,15%, 77,52% dan 76,38%. Nilai efisiensi setiap tahun terjadi penurunan baik pada turbin unit 1 dan turbin unit 2. Hal ini diakibatkan karena berkurangnya kinerja dari beberapa komponen pada turbin tersebut. Adapun pada turbin unit 1 nilai efisiensi turbin terbesar pada tahun 2012 yaitu 98,40 %, nilai efisiensi turbin pada tahun 2016 yaitu 83,30 % dan efisiensi turbin terkecil pada tahun 2018 yaitu 79,37 %. Pada turbin unit 2 nilai efisiensi turbin terbesar pada tahun 2012 yaitu 97,46 % dan efisiensi turbin terkecil pada tahun 2016 yaitu 77,35 %.
2. Faktor – faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin terbagi menjadi dua yaitu faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal meliputi faktor *bearing*, faktor *blade* turbin, dan faktor *maintenance*. Adapun faktor eksternal meliputi faktor sedimentasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasriani, dkk. 2017. “Penerapan Media Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) terhadap Keterampilan Siswa”. *Jurnal Pendidikan Fisika*, Vol. 5 No.2. (Online, diakses 28 Januari 2019).
- [2] Gale, J. dan Kaya, Y. 2003. “*Greenhouse Gas Control Technologies-6th International Conference*”. *Journal National Economic Development Authority (NEDA)*, NEDA sa Pasig Bldg, Ortigas, Pasig City, Philippines.
- [3] Penche, Celso. 1998. *Layman's Handbook On How To Develop A Small Hydro Site*, second edition hlm. 170 - 200. Belgica: Directorate-General for Energy by European Small Hydropower Association (ESHA).
- [4] Pratama, Aditya Yoga. 2016. Kajian Eksperimental Kinerja Blower Angin Sentrifugal yang Digunakan Sebagai Turbin Air. Laporan Tugas Akhir. Yogyakarta: Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [5] Ferdianto, Aditya. 2017. Kajian Analisis Efisiensi Keseluruhan Turbin Air Francis pada Tahun 2011 di PLTA Ir. H Djuanda Purwakarta. *Journal Department of Mechanical Engineering*. Yogyakarta: Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- [6] Siregar, Herman. 2010. Analisis Hubungan Antara Daya dan Produksi Listrik di PLTA Ir. H. Djuanda dengan Menggunakan Metode Regresi. Laporan Tugas Akhir. Bogor: Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [7] Muliawan, Arief dan Yani, A. 2016. “Analisis Daya dan Efisiensi Turbin Air Kinetis Akibat Perubahan Putaran Runner”. *Journal of Sainstek*, (Online) 8(1):19,(https://www.academia.edu/ANALISIS_DAYA_DAN_EFISIENSI_TURBIN_AIR_KINETIS_AKIBAT_PERUBAHAN_PUTARAN_RUNNER), diakses 28 Januari 2019).
- [8] Salim, Saldi. 2009. Pengembangan *Prototype* Pembangkit Listrik *Minihydro* dengan Efisiensi Tinggi. Laporan Penelitian Strategis Nasional. Medan: Fakultas Teknik Universitas Negeri Medan.