

Simulasi Pengaruh Kedalaman Kolam Penenang, Ukuran Pipa Pesat, dan Tinggi Efektif Pada Daya Keluaran Pembangkit Listrik Mikrohidro

Rahman¹, Yohanis Payage², Hubertus Ngaderman³, Tatang Sutarman^{*4}

1,2,3Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih

Email: tatangsutarmanuncen@gmail.com

ABSTRACT

Research has been carried out to determine parameter values related to Microhydro Power Plants. The parameters used in the research are the radius of the penstock, the depth of the stilling pool, the effective height from the center of the turbine to the bottom of the stilling pool, turbine efficiency and generator efficiency. The method used in this research is the Simulation method with MS Excel supporting equipment based on the formulated equations. Micro-scale or home-based power plants that consider the availability of natural resources that can be converted into electrical energy. Providing understanding to writers, readers and the public so that they can utilize natural potential sources in the Silimo Ngalik tribe area, namely the Keniaghay River which converts motion energy into electrical energy in the area.

Keywords: Microhydro electricity; Simulation; Fluids.

ABSTRAK

Telah dilakukan Penelitian guna mengetahui nilai-nilai parameter yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Mikrohidro. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah jari-jari pipa pesat, kedalaman kolam penenang, tinggi efektif dari pusat turbin ke dasar kolam penenang, efisiensi turbin dan efisiensi generator. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Simulasi dengan peralatan penunjang MS Excel berdasarkan persamaan-persamaan hasil rumusan. Pembangkit listrik dengan skala mikro atau rumahan yang mempertimbangkan ketersediaan sumber daya alam yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Memberikan pemahaman baik kepada penulis, pembaca, maupun masyarakat agar mampu memanfaatkan sumber potensi alam yang berada di wilayah silimo suku ngalik, yaitu sungai keniaghay yang menkonversikan energi gerak menjadi energi listrik di wilayah tersebut.

Kata Kunci: Listrik Mikrohidro; Simulasi; Fluida.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](#) license



1. Pendahuluan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan primer bagi manusia, walaupun dalam skala yang kecil, seperti sebagai sarana penerangan pada waktu malam hari [1][2]. Penyediaan energi listrik untuk kebutuhan warga negara disediakan oleh pemerintah melalui salah satu Badan Usaha Milik Negara yaitu PT Perusahaan Listrik Negara (PLN) [3]. Untuk daerah Papua PT PLN memiliki program khusus dalam menyediakan energi listrik bagi masyarakat di tanah Papua dengan nama program Papua Terang [4]. Tetapi PT PLN sampai saat ini belum dapat menjangkau seluruh masyarakat di Papua disebabkan masih banyak daerah-daerah yang cukup isolir dari transportasi darat sehingga akan memberikan kesulitan bagi PT PLN untuk menyalurkan energi listrik yang telah dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit listrik yang telah dibangun di hampir seluruh ibukota kabupaten di Provinsi Papua.

Untuk mengatasi permasalahan ini maka dibuatlah pembangkit-pembangkit listrik dengan skala mikro atau rumahan yang mempertimbangkan ketersediaan sumber

daya alam yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Diantaranya pemanfaatan energi surya dengan program pembagian lampu tenaga matahari dan pembuatan pembangkit listrik tenaga mikrohidro [5][6]. Salah satu daerah yang belum tersentuh program Papua Terang adalah Kampung Nasukatma, Distrik Silimo, Kabupaten Yahukimo, tetapi dengan melihat keadaan geografis di Kampung Nasukatma yang dilintasi aliran Sungai Keniaghay yang debit airnya selalu tersedia sepanjang tahun. Ketersediaan debit air yang cukup melimpah ditunjang dengan jumlah rata-rata hari hujan sebesar 21 hari/bulan untuk Kabupaten Yahukimo. (<https://penghubung.papua.go.id> diakses tanggal 11 Oktober 2020). Dengan keberadaan Sungai Keniaghay ini maka sangat dimungkinkan untuk membuat sebuah pembangkit listrik mikrohidro yang memanfaatkan aliran sungai Keniaghay. Dalam pembuatan sebuah pembangkit mikrohidro diperlukan suatu kajian awal yang menyeluruh sehingga dapat berjalan dengan baik, diantaranya adalah jumlah pemakai atau pelanggan sehingga dapat memprediksi besar produksi energi listrik

untuk seluruh masyarakat yang menjadi sasaran dalam pembangunan pembangkit tersebut [7][8].

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode simulasi, yaitu membuat simulasi yang berhubungan dengan permasalahan yang akan dikaji dengan memasukkan nilai-nilai parameter yang berkaitan dengan Pembangkit Listrik Mikrohidro. Parameter yang digunakan dalam penelitian adalah jari-jari pipa pesat, kedalaman kolam penenang, tinggi efektif dari pusat turbin ke dasar kolam penenang, efisiensi turbin dan efisiensi generator.

Penelitian dilakukan sejak bulan Maret sampai September 2020. Penelitian dilakukan di Laboratorium

Komputasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Cenderawasih.

Alat

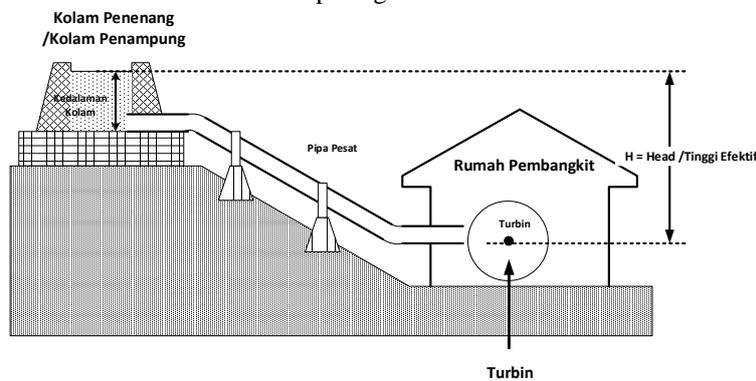
1. Komputer

2. Perangkat Lunak Microsoft Excel 2019

Bahan

Bahan yang digunakan berupa nilai parameter yang dimasukkan terlebih dahulu yaitu besaran Percepatan Gravitasi Bumi, massa jenis air, efisiensi turbin dan generator, sedangkan yang menjadi besaran yang nilai diubah adalah jari-jari pipa pesat, tinggi efektif dan kedalaman kolam penenang.

Desain dari komponen utama PLTMH diberikan pada gambar 1.



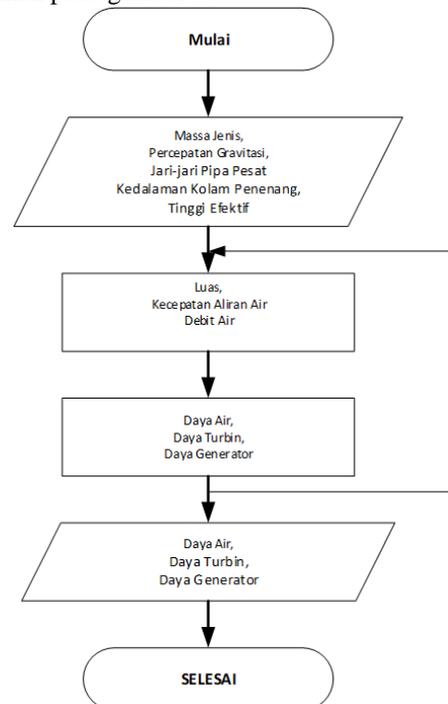
Gambar 1. Desain Umum Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Alur penelitian di atas ditampilkan dalam bentuk diagram alir di bawah ini.



Gambar 2. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

Sedangkan diagram alir simulasi yang dilakukan diberikan pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram Alir Simulasi Penghitungan Daya Keluaran PLTM

3. Hasil dan Pembahasan

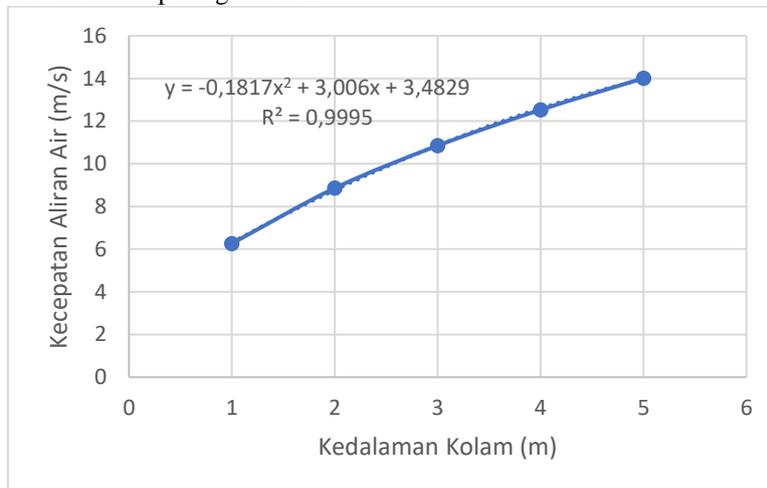
Pada simulasi ini digunakan nilai dari massa jenis air sebesar $1.000 \frac{kg}{m^3}$, nilai percepatan gravitasi bumi sebesar $9,81 \frac{m}{s^2}$, jari-jari pipa pesat sebesar 5 cm dan ketinggian H_{eff} sebesar 3 meter.

Simulasi dilakukan berdasarkan asumsi bahwa kolam penenang atau kolam penampung akan selalu mempertahankan pada kedalaman tertentu, yaitu dengan membuat aliran sungai yang dapat dikontrol sehingga ketinggian muka air dapat dipertahankan pada satu ketinggian, Pada simulasi nilai kedalaman diberikan sebesar 3 meter.

Tabel 1. Kecepatan Aliran Air fungsi kedalaman kolam penenang dengan jari-jari pipa pesat 5 cm.

Kedalaman Kolam Penenang (m)	Kecepatan Aliran Air (m/s)
1	6,26
2	8,86
3	10,85
4	12,53
5	14,01

Grafik dari tabel di atas diberikan pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik hubungan kedalaman kolam dan kecepatan aliran air dengan ukuran pipa pesat 5 cm

Pada tabel 1. atau pada gambar 4, memperlihatkan hasil simulasi dari pengaruh ketinggian air pada kolam penenang dengan menggunakan pipa pesat sebesar 5 cm dan tinggi efektif dipilih sebesar 5 m, maka kecepatan aliran air yang keluar pada bagian bawah pipa pesat akan semakin bertambah dengan bertambahnya ketinggian air di dalam kolam penenang, Hal ini disebabkan oleh bertambahnya tinggi muka air di dalam kolam penenang maka kedalaman titik di mana lubang pipa pesat di pasang semakin bertambah yang mengakibatkan tekanan hidrostatis di ujung pipa pesat akan semakin membesar yang mengikuti persamaan tekanan hidrostatis yaitu $p = \rho gh$, dimana h adalah kedalaman lubang pipa pesat bagian atas terhadap tinggi muka air di kolam penenang,

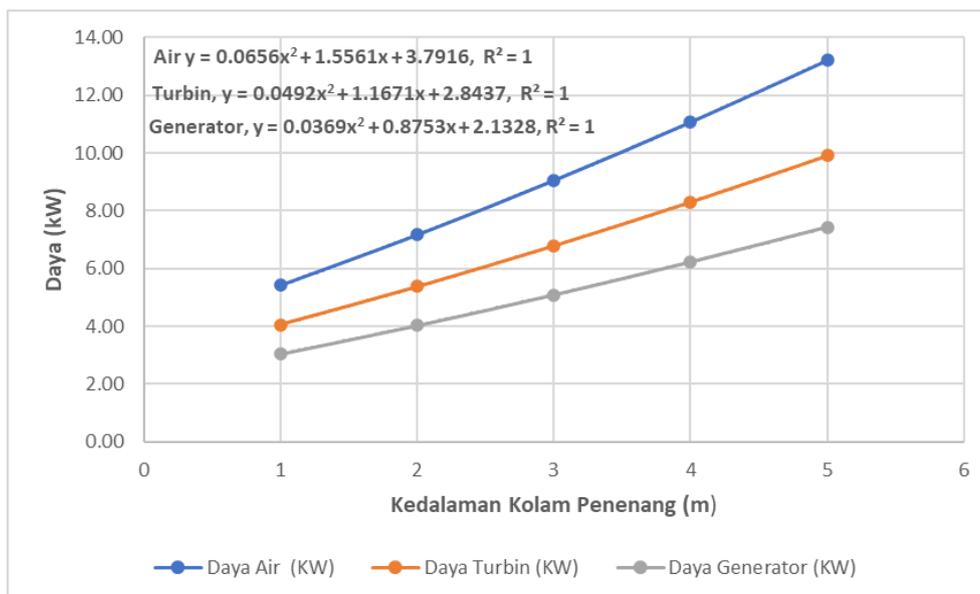
Dengan bertambahnya tekanan hidrostatis pada lubang bagian atas pipa pesat maka akan memberikan tambahan kecepatan aliran air pada ujung bagian bawah dari pipa pesat, Hubungan antara kedalaman kolam penenang dengan kecepatan aliran air adalah berbentuk

kuadratis sebesar $y = -0,1817x^2 + 3,006x + 3,4829$, dengan nilai a pada persamaan kuadratis yang bernilai negatif sehingga bentuk grafik parabola mengarah ke bawah,

Dari hasil ini terlihat bahwa dengan membuat kolam penampung yang sangat dalam akan memberikan kecepatan aliran air di keluaran pipa pesat, sehingga akan memberikan massa air yang keluar dari lubang pipa pesat persatuan waktunya akan semakin besar, dan akan memberikan energi yang besar terhadap turbin. Pembuatan kolam penenang yang besar dan dalam akan memberikan dampak pada besarnya pengeluaran biaya yang akan membesar, dan konstruksi yang baik sehingga dapat menjaga keamanan dari kolam penenang tersebut dari bahaya terjadi kebocoran dari bak tersebut, serta perawatan yang bertambah dalam perbaikan kolam penenang tersebut.

Tabel 2. Daya keluaran sebagai fungsi kedalaman kolam penenang

Kedalaman Kolam Penenang (m)	Daya Air (KW)	Daya Turbin (KW)	Daya Generator (KW)
1	5,41	4,06	3,05
2	7,16	5,37	4,03
3	9,05	6,79	5,09
4	11,07	8,30	6,23
5	13,21	9,91	7,43



Gambar 5. Grafik hubungan kedalaman kolam dengan daya keluaran

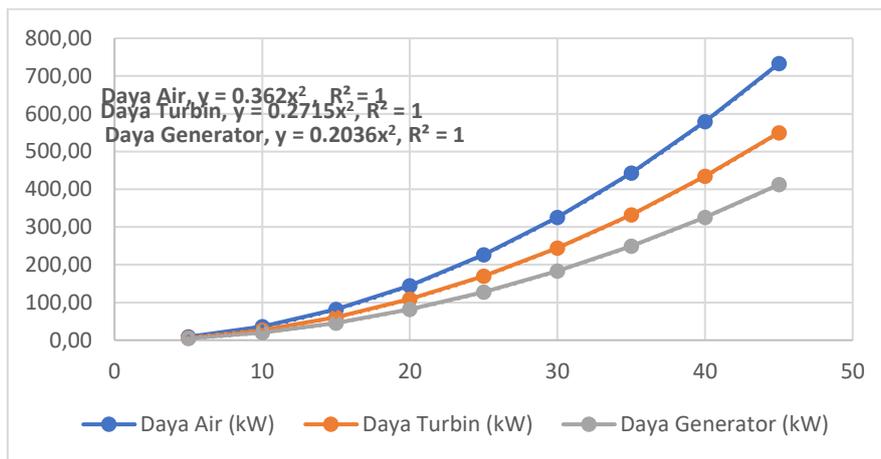
Pada tabel 2. dan grafik pada gambar 5, memperlihatkan hubungan antara kedalaman kolam penenang dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh aliran air dari pipa pesat, Daya keluaran yang dihasilkan berupa daya dari energi potensial persatuan waktu yang dihasilkan oleh air, yang kemudian dikonversi oleh turbin menjadi daya turbin, kemudian daya turbin dikonversi menjadi daya generator, Hasil keluaran dari generator yang kemudian diubah menjadi tegangan listrik. Gambar 2 terlihat bahwa semakin tinggi muka air pada bak penenang maka daya yang dihasilkan oleh air akan semakin besar, disebabkan semakin cepat aliran air yang keluar dari ujung pipa pesat sehingga massa air yang keluar akan semakin besar, Meninggi tinggi muka air dari dasar kolam penenang juga akan menambah besar nilai H_{eff} yang merupakan salah satu besaran yang mempengaruhi nilai daya dari air.

Dari daya yang dihasilkan air akan dimanfaatkan untuk melakukan usaha yaitu memutar turbin, Dalam

simulasi digunakan nilai efisiensi turbin sebesar 75%, sehingga nilai daya yang dihasilkan oleh air akan berkurang sebesar 25% dari nilai semula. Nilai efisiensi dari generator dipilih juga sebesar 75%, sehingga daya dari turbin akan berkurang sebanyak 25% yang akan menjadi daya generator yang siap dijadikan aliran listrik. Hubungan antara kedalaman pipa dan daya keluaran adalah berbentuk kuadratis. Persamaan daya yang dihasilkan oleh aliran air bentuk persamaan $y = 0,0656x^2 + 1,5561x + 3,7916$, daya keluaran turbin yang nilai adalah 75% dari daya keluaran air berbentuk kuadratis dengan persamaan $y = 0,049x^2 + 1,167x + 2,8437$, sedangkan daya yang dihasilkan generator yang besarnya 75% dari daya keluaran turbin memiliki persamaan juga berbentuk kuadratis yaitu $y = 0,0369x^2 + 0,8753x + 2,1328$.

Tabel 3. Daya keluaran sebagai fungsi jari-jari pipa pesat

Jari-jari (cm)	Daya Air (kW)	Daya Turbin (kW)	Daya Generator (kW)
5	4,18	3,13	2,35
10	16,71	12,53	9,40
15	37,60	28,20	21,15
20	66,84	50,13	37,60
25	104,44	78,33	58,75
30	150,40	112,80	84,60
35	204,71	153,53	115,15
40	267,37	200,53	150,40
45	338,39	253,79	190,34



Gambar 6. Grafik hubungan Jari-jari pipa pesat dengan daya keluaran

Tabel 3. dan grafik pada gambar 6, memperlihatkan gambaran mengenai hubungan antara jari-jari pipa pesat dengan daya keluaran yang dihasilkan oleh air, turbin dan generator. Gambar 6, terlihat bahwa semakin besar jari-jari pipa pesat maka daya yang dihasilkan akan semakin besar, Hal ini disebabkan oleh dengan bertambahnya ukuran jari-jari dari pipa pesat maka luas penampang dari pipa pesat akan semakin besar dan massa air persatuan waktu akan semakin besar, sehingga daya dari air semakin besar.

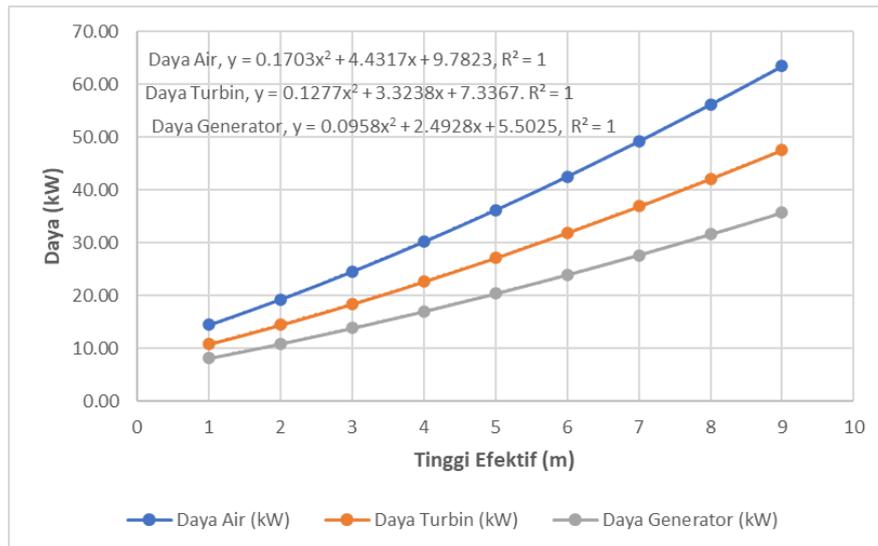
Bentuk hubungan antara bertambahnya jari-jari pipa pesat maka daya keluaran akan bertambah. Untuk daya yang dihasilkan oleh aliran air maka bentuk hubungannya adalah kuadratis dengan bentuk persamaan

$y = 0,362x^2$, sedangkan bentuk hubungan daya turbin dan daya generator juga mengikuti bentuk daya air disebabkan daya turbin dan daya generator merupakan pengurangan dari daya yang dihasilkan oleh aliran air, yaitu dengan bentuk persamaan $y = 0,2715x^2$ dan $y = 0,2036x^2$.

Dari hasil ini, maka dengan menggunakan pipa pesat yang ukurannya besar maka akan memberikan daya yang besar tetapi hal ini tidak mudah dilakukan karena untuk mengadakan pipa dengan ukuran diameter besar akan memperbesar biaya pembuatan PLTMH serta proses transportasi atau mobilitas peralatan ke daerah yang sulit sarana transportasi daratnya.

Tabel 4. Daya keluaran sebagai fungsi tinggi efektif

Tinggi Efektif (m)	Daya Air (kW)	Daya Turbin (kW)	Daya Generator (kW)
1	14,44	10,83	8,12
2	19,30	14,47	10,85
3	24,56	18,42	13,81
4	30,20	22,65	16,99
5	36,20	27,15	20,36
6	42,54	31,90	23,93
7	49,19	36,90	27,67
8	56,16	42,12	31,59
9	63,41	47,56	35,67



Gambar 7. Grafik hubungan tinggi efektif dengan daya keluaran

Pada tabel 4 dan grafik pada gambar 7, memperlihatkan bahwa dengan bertambahnya ukuran tinggi efektif yaitu selisih tinggi antara ujung pipa pesat atas dengan tinggi ujung pipa pesat bawah maka daya yang dihasilkan akan semakin membesar.

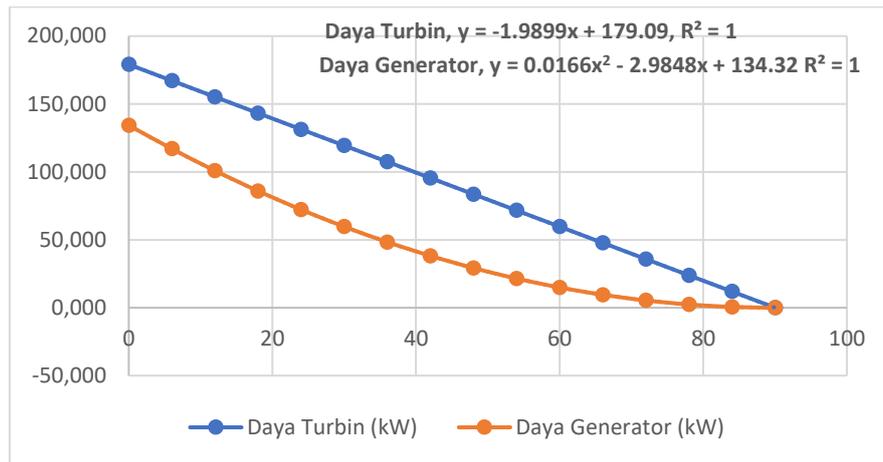
Bentuk hubungan antara tinggi efektif dan daya keluaran berbentuk kuadratis yaitu terhadap daya yang dihasilkan oleh air bentuk persamaannya $y = 0,1703x^2 + 4,4317x + 9,7823$, sedangkan oleh turbin dengan bentuk $y = 0,1277x^2 + 3,3238x + 7,3367$ dan

bentuk persamaan daya yang dihasilkan oleh generator adalah $y = 0,0958x^2 + 2,4928x + 5,5025$.

Penentuan tinggi efektif dilakukan dengan menggunakan bantuan topologi dari daerah yang akan dibuat PLTMH. Jika konturnya bergunung atau berbukit maka nilai tinggi efektif yang besar akan mudah didapatkan, tetapi jika konturnya datar maka perlu dilakukan penggalian sehingga posisi turbin akan lebih rendah dibandingkan posisi kolam penenang.

Tabel 5. Daya keluaran sebagai fungsi waktu pemakaian

Waktu Pemakaian (bulan)	Daya Turbin (kW)	Daya Generator (kW)
0	179,089	134,317
6	167,150	117,005
12	155,211	100,887
18	143,271	85,963
24	131,332	72,233
30	119,393	59,696
36	107,454	48,354
42	95,514	38,206
48	83,575	29,251
54	71,636	21,491
60	59,696	14,924
66	47,757	9,551
72	35,818	5,373
78	23,879	2,388
84	11,939	0,597
90	0,000	0,000



Gambar 8. Grafik hubungan waktu pemakaian dengan daya keluaran

Tabel 5., dan grafik pada gambar 8., memperlihatkan penurunan daya yang dihasilkan oleh turbin dan generator sejalan dengan waktu pemakaian. Pada simulasi dibuat setiap enam bulan efisiensi dari turbin dan generator turun sebesar 5%, sehingga didapatkan pada waktu penggunaan hampir 84 bulan (7 tahun).

Penurunan efisiensi daya dari daya air ke daya turbin berbentuk linear dengan gradien yang negatif, yaitu berbentuk persamaan $y = -1,9899x + 179,09$, sedangkan penurunan efisiensi daya turbin ke daya generator berbentuk kuadratis $y = 0,0166x^2 - 2,9848x + 134,32$.

Untuk memperpanjang waktu pemakaian dari PLTMH maka diperlukan perawatan segala komponen utama dan pendukung dari PLTMH. Terutama menggantikan sparepart yang gampang rusak atau aus akibat jangka pemakaian. Dari simulasi ini, diperlukan teknisi yang khusus untuk menjaga keberlangsungan kinerja dari PLTMH yang akan dibuat.

4. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Adanya pengaruh dari kedalaman kolam penenang terhadap daya keluaran yaitu berbentuk kuadratis sebesar $y = -0,1817x^2 + 3,006x + 3,4829$.

Adanya pengaruh dari ukuran jari-jari pipa pesat, yaitu semakin besar ukuran pipa pesat maka daya keluaran dari PLTMH berbentuk kuadratis. Dengan persamaan $y = 0,0656x^2 + 1,5561x + 3,7916$.

Adanya pengaruh dari tinggi efektif dari pembangkit terhadap daya keluaran PLTMH, berbentuk kuadratis yaitu dengan bentuk persamaannya $y = 0,1703x^2 + 4,4317x + 9,7823$.

Waktu efektif pemakaian PLTMH tanpa adanya perawatan diprediksikan akan mencapai usia pemakaian sekitar 7 tahun.

Saran

Untuk memperdalam hasil penelitian diperlukan data lapangan mengenai kontur dari lokasi yang akan dibuat Pembangkit Listrik Mikrohidro, serta jarak rumah pembangkit ke lokasi pemukiman sehingga dapat ditentukan kehilangan daya selama proses transmisi listrik ke konsumen.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kumara, N. S. (2010). Pembangkit listrik tenaga surya skala rumah tangga urban dan ketersediaannya di Indonesia. *Teknologi Elektro*, 9(1), 68-75.
- [2] Kadir, E. A., Syukur, A., Rosa, S. L., & Ramdani, W. S. (2021). Bantuan dan Instalasi Listrik Tenaga Surya Untuk Masjid An-Nur Kecamatan Kuala Kampar, Pelalawan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Penerapan Ilmu Pengetahuan*, 2(2), 1-7.
- [3] Laka, B. M., & Niwele, A. (2019). Persepsi masyarakat terhadap pelayanan publik PT. PLN Rayon Taniwel. *Publisia (Jurnal Ilmu Administrasi Publik)*, 4(2), 179.
- [4] Yuniarti, F. (Ed.). (2008). *Ekspedisi tanah Papua: laporan jurnalistik Kompas: terasing di pulau sendiri*. Penerbit Buku Kompas.
- [5] Nuryanto, L. E. (2022). Perancangan Sistem Kontrol Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLN dan PLTS) Kapasitas 800 Wp. *Orbith: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa dan Sosial*, 17(3), 196-205.
- [6] Yogathama, I. G. B., Wiradhi, W., & IW, A. (2021). Desai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Mengikuti Pola Astap Wantilah Desa Antosari Untuk Memenuhi Daya 3600 Watt. *Jurnal Spektrum*, 8(2).
- [7] UIN, F. S. D. T. (2017). PENGEMBANGAN BUKU PENGAYAAN FISIKA BERBASIS GREEN TECHNOLOGY DENGAN TEMA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKRO HIDRO UNTUK SMA/MA.
- [8] Isnawijayani, I. (2007). UPAYA MASYARAKAT SUMATERA SELATAN MENGGUNAKAN ENERGI ALTERNATIF. *Publikasi Penelitian Terapan dan Kebijakan*, 1(2).