



POTENSI ENERGI HYBRID SEBAGAI ENERGI TERBARUKAN DI DAERAH ALIRAN AIR PANAS BUMI GUNUNG SIBAYAK

Wilson Sabastian Nababan^{1a}, Roy Lamrun Sianturi¹, Suryadi Sihombing¹

¹ Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen Medan

Korespondensi:

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas HKBP Nommensen Medan

wilson.nababan@uhn.ac.id

ABSTRAK

Potensi besar yang dimiliki oleh Gunung Sibayak tidak hanya terbatas pada pemanfaatan untuk keperluan kesehatan dan wisata, namun juga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pembangkit listrik, khususnya energi terbarukan. Penelitian ini akan menawarkan solusi energi hybrid yang efisien dan andal. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji potensi pembangkit hybrid dengan mengintegrasikan PLTMH type turbin propeler dengan teknologi TEG seri SP SP1848-27145 di daerah aliran air panas gunung sibayak. Metode penelitian melibatkan pengujian eksperimental pada turbin PLTMH dengan tiga variasi pengukuran debit aliran air 17,67 l/s, 25,51 l/s dan 35,35 l/s dan TEG dengan rangkaian seri-paralel. Parameter yang diukur adalah kecepatan putaran turbin rpm, daya generator PLTMH, beda temperatur TEG dan Daya TEG. Hasil pengujian menunjukkan pada putaran tertinggi 500 rpm diperoleh daya maksimal sebesar 158,08 Watt. Pada sistem TEG, daya yang dihasilkan TEG sebesar 20,64 watt pada perbedaan suhu 70,5°C. Untuk proses Discharger baterai dari sistem PLTMH-TEG mampu mengisi baterai 12 V 40 W selama 12,1 Jam. Maka dapat disimpulkan potensi sumber aliran air panas gunung sibayak sangat efektif digunakan sebagai pembangkit listrik.

Kata kunci: TEG; Mikro hidro; Energi Hijau; Pembangkit Listrik Hibrida, Sistem Pengisian

ABSTRACT

The great potential of Mount Sibayak is not only limited to its use for health and tourism purposes, but can also be utilized for the development of power plants, especially renewable energy. This research will offer an efficient and reliable hybrid energy solution. This research aims to assess the potential of a hybrid generator by integrating a propeller turbine type PLTMH with SP series SP1848-27145 TEG technology in the Mount Sibayak hot spring area. The research method involved experimental testing on a PLTMH turbine with three variations of water flow rate measurements of 17.67 l/s, 25.51 l/s and 35.35 l/s and TEG with a series-parallel circuit. The parameters measured are turbine rotation speed rpm, PLTMH generator power, TEG temperature difference and TEG power. The test results show that at the highest speed of 500 rpm, a maximum power of 158.08 Watts is obtained. In the TEG system, the power produced by the TEG is 20.64 watts at a temperature difference of 70.5°C. For the battery discharge process, the PLTMH-TEG system is capable of charging a 12 V 40 W battery for 12.1 hours. So it can be concluded that the potential of Mount Sibayak's hot water source is very effective in being used as an electricity generator.

Keywords: TEG; Micro hydro; Green Energy; Hybrid Power Generation, Charging System

1. PENDAHULUAN

Gunung Sibayak, yang terletak di Kabupaten Karo, Sumatera Utara, merupakan salah satu kawasan dengan potensi energi terbarukan yang signifikan di Indonesia. Kawasan ini dikenal dengan aktivitas

geotermal yang menghasilkan sumber panas bumi berupa fumarol, mata air panas, dan aliran air panas alami. Potensi besar yang dimiliki oleh Gunung Sibayak tidak hanya terbatas pada pemanfaatan untuk keperluan kesehatan dan wisata, namun juga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pembangkit listrik, khususnya energi terbarukan. meskipun memiliki potensi sumber daya alam yang melimpah, masyarakat di sekitar Gunung Sibayak masih menghadapi masalah keterbatasan akses energi yang memadai[1]. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan mengembangkan pembangkit listrik hybrid yang mengkombinasikan Thermoelectric Generator (TEG) dan pembangkit listrik tenaga mikro-hidro. Kombinasi kedua teknologi ini dapat meningkatkan keandalan dan keberlanjutan pasokan energi di daerah sekitar Gunung Sibayak, yang juga menghadapi fluktuasi ketersediaan energi akibat perubahan cuaca atau musim.

Aliran air panas di Gunung Sibayak memiliki suhu tinggi yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan TEG. Teknologi TEG memanfaatkan perbedaan suhu antara air panas dan lingkungan sekitarnya untuk menghasilkan energi listrik melalui efek Seebeck[2]. Penerapan teknologi TEG di daerah gunung sibayak tergolong efektif. Pemanfaatan TEG sejalan dengan tren global dalam pengembangan energi terbarukan berbasis geotermal.

Penelitian oleh Assareh e mengenai Thermoelectric Generators untuk Pemanfaatan Energi Panas Bumi menunjukkan bahwa TEG dapat digunakan secara efektif untuk mengonversi panas bumi menjadi listrik dalam kondisi suhu yang lebih rendah, bahkan ketika suhu permukaan air panas tidak mencapai tingkat yang diperlukan untuk memutar turbin konvensional[3]. Dalam studi tersebut, TEG berhasil digunakan di beberapa lokasi geothermal dengan efisiensi konversi energi yang cukup baik, meskipun tidak setinggi turbin konvensional. Sudah mulai banyak kajian tentang pengaplikasian TEG untuk sebagai pemanen energi panas bumi yang berasal dari sumber air panas dengan suhu yang relatif rendah dan menghasilkan listrik yang stabil, termasuk energi geothermal low-grade [4][5][6].

Penelitian ini menyarankan agar teknologi TEG diterapkan di kawasan yang memiliki potensi air panas bumi seperti Gunung Sibayak, karena TEG tidak memerlukan infrastruktur yang rumit dan bisa langsung dipasang di lokasi dengan suhu panas yang lebih rendah.

Selain panas bumi, Gunung Sibayak juga memiliki aliran air panas dengan debit yang cukup untuk menggerakkan turbin mikrohidro. Teknologi mikrohidro memanfaatkan energi kinetik aliran air untuk menghasilkan listrik secara berkelanjutan[7]. Aliran air panas di kawasan ini dapat dimanfaatkan dengan menyesuaikan desain turbin agar tahan terhadap suhu tinggi dan kandungan mineral dalam air[8][9]. Penyesuaian teknologi terhadap kondisi lokal, seperti suhu air yang tinggi di Gunung Sibayak, menjadi kunci keberhasilan implementasi mikrohidro.

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini akan menawarkan solusi energi hybrid yang efisien dan andal dengan mengkaji potensi pemanfaatan pembangkit hybrid teknologi TEG dengan memanfaatkan modul TEG seri SP SP1848-27145 dan PLTMH di daerah aliran air panas gunung sibayak. Sistem ini diharapkan dapat memanfaatkan keunggulan masing-masing teknologi untuk menghasilkan listrik secara lebih stabil seperti Diversifikasi sumber energi, Efisiensi operasional, dan mendukung transisi energi berkelanjutan dengan meminimalkan emisi karbon. Selain itu Integrasi TEG dan mikrohidro di Gunung Sibayak berpotensi menjadi model pembangkit listrik ramah lingkungan yang dapat direplikasi di kawasan lain.

2. METODOLOGI PENELITIAN

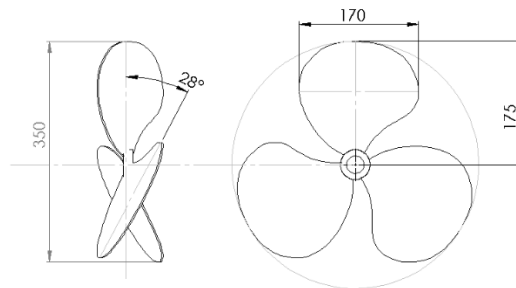
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimental untuk menganalisis mengkaji potensi pemanfaatan aliran air panas bumi dari Gunung Sibayak sebagai sumber energi terbarukan yang efektif. Sistem ini menggabungkan generator mikrohidro, menggunakan turbin propeler, dengan generator termoelektrik (seri TEG1-199-1.4-0.5), dengan 20 modul TEG yang disusun dalam rangkaian seri-paralel untuk mengoptimalkan keluaran energi. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap antara lain, desain eksperimen, pelaksanaan eksperimen, analisis data, serta evaluasi dan rekomendasi. Melalui pendekatan ini, penelitian diharapkan mampu memberikan keunggulan masing-masing teknologi untuk menghasilkan listrik secara lebih stabil seperti Diversifikasi sumber energi, Efisiensi operasional, dan mendukung transisi energi berkelanjutan dengan meminimalkan emisi karbon. Selain itu Integrasi TEG dan mikrohidro di Gunung Sibayak berpotensi menjadi model pembangkit listrik ramah lingkungan yang dapat direplikasi di kawasan lain.

Sistem pembangkit hybrid ini didesain untuk mengkaji potensi aliran air panas gunung sibayak. prosedur pengukuran dan pengendalian, memberikan struktur yang jelas untuk mengevaluasi keluaran sistem dan memastikan pengoperasian model pembangkit energi hibrida secara optimal.



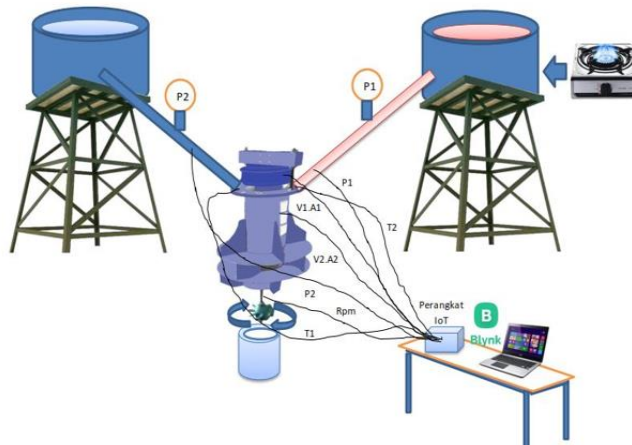
(a) Desain Prototipe pembangkit Hybrid PLTMH-TEG dan (b) sistem kerja pembangkit listrik hybrid (PLTMH-TEG)

Modifikasi yang dilakukan pada penelitian ini adalah penggunaan sudu *propeller* pada turbin. *Propeller* adalah jenis rotor turbin yang berbentuk baling-baling, seperti terlihat pada Gambar 2.

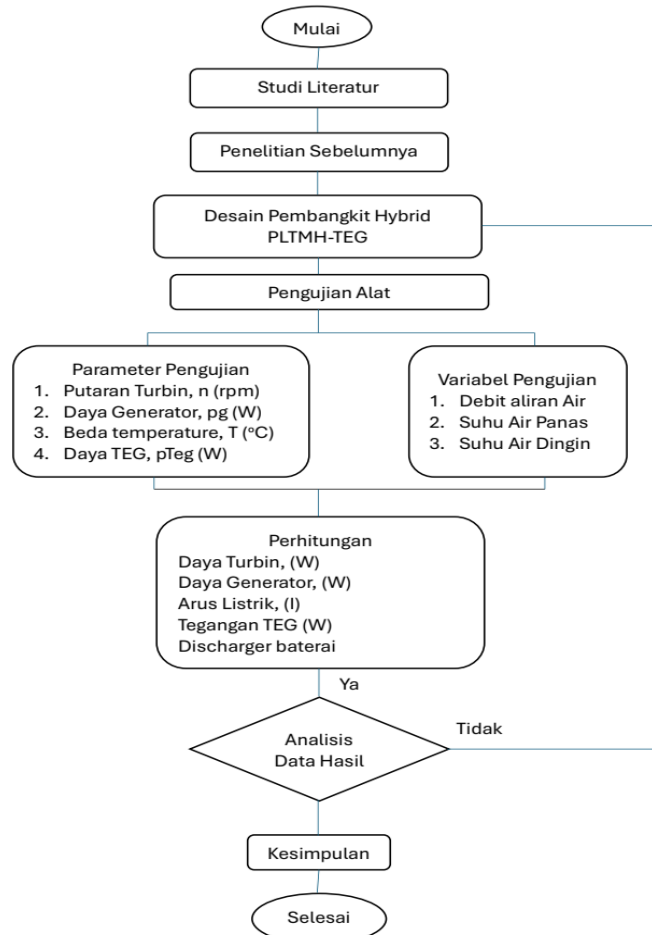


Gambar 2. Sudu *propeller* dengan profil balingbaling

Skema pengujian, ditunjukkan pada Gambar 3, dimana data keluaran baik dari generator PLTMH maupun TEG yang dimonitoring melalui data logger. Setiap variabel keluaran daya secara real-time, sehingga memfasilitasi penilaian kinerja sistem secara tepat. Data luaran sistem menunjukkan representasi grafis tentang efektivitas integrasi antara sistem PLTMH dan TEG. Setelah data grafis ini diperoleh, analisis komprehensif terhadap efisiensi sistem hibrida dilakukan untuk mengevaluasi seberapa baik integrasi PLTMH-TEG memenuhi tujuan produksi energi. Analisis ini menunjukkan potensi energi hibrida yang andal, efisien, dan berkelanjutan yang berada di daerah sumber aliran air permandian gunung sibayak.



Gambar 3. Skema Pengambilan data pengujian



Gambar 4. Diagram alir

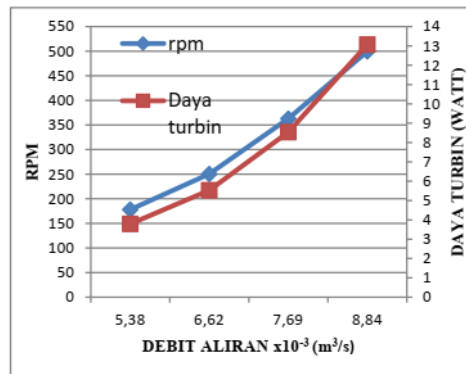
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Daya Potensial Aliran Air Panas

Tabel 1. Hasil Pengujian PLTMH

No	Q (m^3/s)	n (rpm)	Hasil Pengukuran		Daya W)
			Volt (V)	Arus (I)	
1	17,67	135	12.8	8,22	105.216
2	25,51	205	12.8	10.63	136.064
3	35,35	500	12.8	12.35	158.08

Berdasarkan hasil pengujian putaran turbin propeler dengan variasi debit aliran air maka diperoleh daya potensi aliran air panas seperti yang ditunjukkan tabel dan grafik dibawah ini:

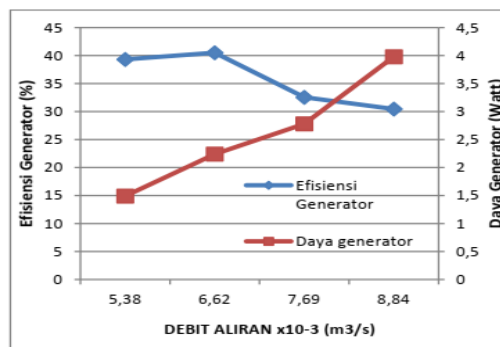


Gambar 5. Grafik perbandingan Debit Aliran, rpm, dan Daya Turbin

Gambar diatas menunjukkan *trend* meningkat pada hubungan debit aliran dengan rpm begitu juga dengan hubungan debit aliran dengan daya turbin. Hal ini sesuai dengan rumus $PT = \frac{2 \cdot \pi \cdot n \cdot \tau}{60}$ yang disebabkan pada variasi bukaan katup pada debit aliran semakin besar, maka rpm semakin tinggi yang mempengaruhi daya turbin semakin besar. Dari hasil pengujian sudu rotor 35° dengan variasi pengukuran debit aliran air 17,67 l/s – 35,35 l/s dihasilkan putaran turbin dengan putaran tertinggi 500 rpm dan putaran terendah pada putaran 135 rpm. Daya yang dihasilkan maksimal sebesar 158,08 Watt.

3.2 Uji Kinerja Generator

Pengujian pembangkit listrik tenaga air Piko Hidro diperlukan generator dengan spesifikasi tertentu untuk mengetahui seberapa besar listrik yang dapat dihasilkan dari hasil uji turbin propeller.



Gambar 6. Grafik hubungan Debit Aliran, Efisiensi Generator, dan Daya Generator

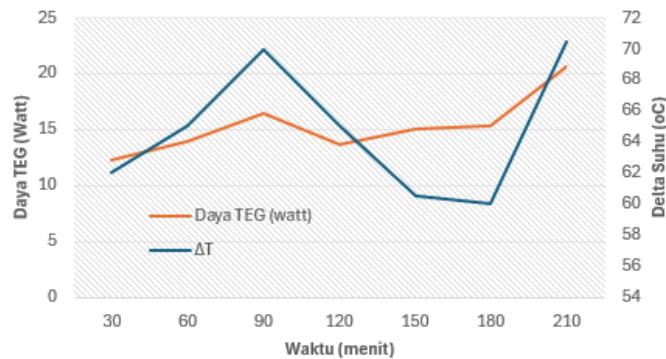
Pada gambar 6 diatas menunjukkan grafik hubungan debit aliran dengan efisiensi generator diketahui bahwa daya generator mengalami peningkatan sedangkan efisiensi mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan nilai rpm dari pengujian generator tidak dapat mencapai daya generator maksimal yang mempunyai spesifikasi 150-3000 rpm. Sedangkan pada perbandingan debit aliran dengan daya generator mengalami *trend* meningkat sesuai rumus $PG = I \times V$. Nilai besar kecilnya tegangan dan arus listrik dipengaruhi oleh debit aliran, apabila bukaan katup semakin besar, nilai tegangan dan arus listrik juga akan mengalami kenaikan.

3.3 Uji Kinerja Termoelektrik Generator

Integrasi TEG juga dilakukan sebagai pemanen energi aliran air panas gunung sibayak. dengan spesifikasi tertentu untuk mengetahui besaran listrik dan suhu dari generator termoelektrik dengan *termocouple*. Pengujian dilakukan sebanyak 7 kali setiap 30 menit dengan diberi beban berupa resistor 100 Ω . Dilakukan pada pukul 09:00 WIB hingga pukul 12:00 WIB.

Tabel 2. Pengujian dan Pengukuran Daya Termoelektrik

Waktu (menit)	ΔT ($^{\circ}\text{C}$)	Sensor		Power (watt)
		Volt (V)	Current (mA)	
30	62	13.58	900	12.222
60	65	13.94	1000	13.940
90	70	13.76	1200	16.512
120	65	13.66	1000	13.660
150	60.5	13.74	1100	15.114
180	60	13.69	1120	15.3328
210	70.5	14.61	1500	20.640



Gambar 7. Grafik hubungan waktu, Beda temperaturr, dan Daya TEG

Pada gambar diatas menunjukkan grafik hubungan beda temperatur dengan daya TEG, semakin besar beda temperatur yang terjadi dimodul TEG menunjukkan semakin besar juga daya TEG yang dihasilkan. Nilai besar kecilnya tegangan dan arus listrik dipengaruhi oleh beda temperatur TEG, apabila beda temperatur semakin besar, nilai tegangan dan arus listrik juga akan mengalami kenaikan.

3.4 Pemanfaatan pembangkit Hybrid PLTMH-TEG sebagai system pengisian baterai

Pada eksperimen ini luaran pembangkit hybrid PLTMH-TEG diaplikasikan sebagai system pengisian baterai 12 V. berdasarkan outpun daya yang dihasilkan pembangkit listrik PLTMH yang di integrasikan dengan TEG sangak memungkinkan sebagai sumber pengisian baterai. Kapasitas baterai yang digunakan yaitu 40Ah digunakan untuk beban sebesar 40Ah. Berdasarkan perhitungan diperoleh aurs untuk menghidupkan lampu 400W sebesar 3,2A dan waktu pengisian diperkirakan selama 12,1 jam. Maka dapat disimpulkan baterai 12V 40Ah yang digunakan untuk mensuplai beban system penerangan 40 Watt akan mampu bertahan selama 9 jam 45 menit. Lama waktu pemakaian atau daya bertahan aki tergantung dari besar ampere aki dan watt beban.

4. KESIMPULAN

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem PLTMH mencapai tegangan keluaran maksimum 20,42 VDC, arus puncak 759,75 mA, dan laju debit air maksimum 2,31 m³/s selama pengujian. Untuk sistem TEG, keluaran dayanya mencapai 20,64 watt pada perbedaan suhu 70,5 $^{\circ}\text{C}$. Temuan ini menunjukkan hubungan langsung antara laju debit yang mengalir melalui sistem turbin dan perbedaan suhu yang diserap oleh TEG: ketika perbedaan debit dan suhu meningkat, output daya juga meningkat. Sebaliknya, penurunan parameter ini mengakibatkan berkurangnya pembangkitan listrik. Sistem pengisian yang diterapkan untuk pengisian baterai 12V 40Ah diperkirakan mampu diisi selama 12,1 jam. Berdasarkan uji eksperimental yang dilakukan menunjukkan adanya Potensi energi hybrid yang efektif dan efisien di daerah aliran panas bumi gunung sibayak sebagai energi terbarukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. F. Hakim, K. Krismadiana, F. Sholihah, R. Ismawati, and N. Dewantari, "Potensi dan Pemanfaatan Energi Panas Bumi di Indonesia," *Indones. J. Conserv.*, vol. 11, no. 2, pp. 71–77, 2023.
- [2] M. F. Sanad, A. E. Shalan, S. O. Abdellatif, E. S. A. Serea, M. S. Adly, and M. A. Ahsan, "Thermoelectric energy harvesters: a review of recent developments in materials and devices for different potential applications," *Top. Curr. Chem.*, vol. 378, pp. 1–43, 2020.
- [3] E. Assareh, S. M. Alirahmi, and P. Ahmadi, "A Sustainable model for the integration of solar and geothermal energy boosted with thermoelectric generators (TEGs) for electricity, cooling and desalination purpose," *Geothermics*, vol. 92, p. 102042, 2021.
- [4] A. Z. Sahin, K. G. Ismaila, B. S. Yilbas, and A. Al-Sharafi, "A review on the performance of photovoltaic/thermoelectric hybrid generators," *Int. J. Energy Res.*, vol. 44, no. 5, pp. 3365–3394, 2020.
- [5] H. Xie *et al.*, "Design and performance of a modular 1 kilowatt-level thermoelectric generator for geothermal application at medium-low temperature," *Energy Convers. Manag.*, vol. 298, p. 117782, 2023.
- [6] V. Zare and V. Palideh, "Employing thermoelectric generator for power generation enhancement in a Kalina cycle driven by low-grade geothermal energy," *Appl. Therm. Eng.*, vol. 130, pp. 418–428, 2018.
- [7] V. P. Singh, M. Kumar, R. Srivastava, and R. Vaish, "Thermoelectric energy harvesting using cement-based composites: A review," *Mater. Today Energy*, vol. 21, p. 100714, 2021.
- [8] R. Rauf, "Energi Indonesia: Masalah dan Potensi Pembangkit Listrik dalam Mewujudkan Kemandirian Energi," 2023.
- [9] W. E. Putra, I. W. Sukerayasa, and I. A. D. Giriantari, "Studi Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH) Di Sungai Yeh Dikis Banjar Lebah Kabupaten Tabanan," *J. SPEKTRUM Vol.*, vol. 10, no. 2, 2023.
- [10] Z. F. Sumarna, N. Sartika, L. Kamelia, A. Setiawan, Nurhayati, and T. Yusuf, "Implementation of Micro Hydro Power Plant Monitoring System Based on Internet of Things," 2023 9th Int. Conf. Wirel. Telemat., pp. 1–5, 2023, doi: 10.1109/ICWT58823.2023.10335467.