

RINGKASAN

OPTIMALISASI OUTPUT GENERATOR DC MAGNET PERMANEN MENGGUNAKAN *BUCK-BOOST CONVERTER* PADA SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO

Karya tulis ilmiah berupa Tesis, 20 Juni 2026

Firdiansyah: Dibimbing oleh Dr. Ir. Indrayani, S.T., M.T. dan Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M.Si.

Optimization of Permanent Magnet DC Generator Output Using a Buck–Boost Converter in a Micro-Hydropower System

xviii+ 73 halaman, 8 tabel, 31 gambar, 8 lampiran (91 halaman)

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan pertumbuhan penduduk, perkembangan ekonomi, dan peningkatan aktivitas masyarakat. Namun demikian, pemenuhan kebutuhan energi listrik tersebut masih didominasi oleh sumber energi fosil yang bersifat tidak terbarukan serta memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan energi baru terbarukan (EBT) menjadi suatu kebutuhan strategis, salah satunya melalui pemanfaatan energi air dalam bentuk Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH). PLTMH merupakan salah satu solusi penyediaan energi listrik yang ramah lingkungan, khususnya untuk wilayah pedesaan dan daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Sistem ini memanfaatkan energi potensial dan kinetik air untuk diubah menjadi energi mekanik melalui turbin, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator. Namun dalam implementasinya, PLTMH, terutama yang beroperasi pada kondisi head rendah dan debit air yang fluktuatif, sering menghadapi kendala teknis berupa ketidakstabilan tegangan dan rendahnya daya keluaran. Kondisi ini menyebabkan kinerja sistem menjadi kurang optimal dan tidak mampu memenuhi kebutuhan beban secara andal. Salah satu pendekatan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan menggunakan generator DC magnet permanen (*Permanent Magnet DC Generator/PMDC*) yang memiliki keunggulan dalam menghasilkan listrik pada putaran rendah serta tidak memerlukan sumber eksitasi awal. Selain itu, untuk menjaga kestabilan tegangan keluaran, digunakan konverter DC–DC tipe *buck–boost* yang mampu menaikkan maupun menurunkan tegangan sesuai dengan kondisi input yang berubah-ubah akibat fluktuasi debit air. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan kinerja sistem PLTMH skala kecil dengan mengintegrasikan tiga komponen utama, yaitu turbin *Archimedes screw*, generator DC magnet permanen, dan *buck–boost converter*, dalam satu sistem terpadu. Fokus utama penelitian adalah menganalisis hubungan antara putaran generator terhadap tegangan dan daya keluaran, mengevaluasi stabilitas tegangan sistem, serta menentukan efisiensi konversi energi secara keseluruhan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode eksperimental dengan tahapan meliputi studi pendahuluan, perancangan sistem, pembuatan alat, serta pengujian di laboratorium dan di lapangan. Lokasi pengujian ditetapkan pada saluran irigasi Gapoktan Karya Makmur di Kecamatan Kertapati, Kota Palembang, yang memiliki karakteristik aliran air dengan debit sekitar

0,175 m³/s dan kecepatan aliran 0,7 m/s, sehingga sesuai untuk pengujian PLTMH skala kecil. Pengujian dilakukan dengan memvariasikan putaran generator dalam rentang 29,83 RPM hingga 144,80 RPM menggunakan beban lampu LED sebesar 30 Watt. Tegangan keluaran sistem dijaga konstan pada nilai set-point sebesar 14,6 Volt melalui pengaturan *duty cycle* pada *buck–boost converter*. Parameter yang diukur meliputi tegangan dan arus input-output, daya listrik yang dihasilkan, serta efisiensi sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem PLTMH yang dikembangkan mampu beroperasi pada kondisi tegangan input yang sangat rendah, yaitu sebesar 3,61 Volt pada putaran 29,83 RPM. Hal ini menunjukkan kemampuan generator DC magnet permanen dalam menghasilkan energi listrik pada putaran rendah. Selain itu, penggunaan *buck–boost converter* terbukti efektif dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran, sehingga tetap berada pada kisaran nilai nominal yang dibutuhkan oleh beban. Kondisi operasi optimal dicapai pada putaran generator sebesar 63,78 RPM dengan daya keluaran sebesar 27,7 Watt dan efisiensi sistem maksimum mencapai 74,7%. Pada rentang putaran 68,20 hingga 132,40 RPM, tegangan keluaran sistem relatif stabil dan mendekati nilai set-point yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu beradaptasi terhadap variasi putaran generator yang disebabkan oleh perubahan debit air. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa tanpa penggunaan *buck–boost converter*, tegangan keluaran generator cenderung tidak stabil dan sangat bergantung pada putaran turbin. Dengan adanya konverter, sistem mampu melakukan regulasi tegangan secara dinamis, baik dalam kondisi tegangan rendah (mode boost) maupun tegangan tinggi (mode buck), sehingga meningkatkan kualitas daya listrik yang dihasilkan. Dari aspek efisiensi, integrasi antara turbin Archimedes, generator PMDC, dan *buck–boost converter* menghasilkan sistem konversi energi yang cukup efisien untuk skala mikrohidro. Nilai efisiensi yang dicapai menunjukkan bahwa sistem ini layak untuk diaplikasikan pada kondisi nyata, khususnya pada daerah dengan potensi energi air yang terbatas. Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi PLTMH skala kecil yang lebih adaptif, efisien, dan aplikatif. Sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu bekerja pada kondisi head rendah dan debit air terbatas, tetapi juga memiliki fleksibilitas dalam menjaga kestabilan tegangan keluaran, sehingga sangat sesuai untuk digunakan sebagai sumber listrik mandiri, seperti penerangan jalan di pedesaan. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa integrasi generator DC magnet permanen dengan *buck–boost converter* merupakan solusi yang efektif untuk meningkatkan kinerja dan keandalan sistem PLTMH, khususnya dalam menghadapi fluktuasi debit air. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi teknis dan ilmiah dalam pengembangan sistem energi terbarukan berbasis mikrohidro di Indonesia, serta mendukung peningkatan rasio elektrifikasi di wilayah terpencil secara berkelanjutan.

Kata kunci: mikrohidro; generator dc magnet permanen; konverter *buck–boost*; sistem head rendah; regulasi tegangan

Kepustakaan: 37 (2017 – 2025)

SUMMARY

OPTIMIZATION OF PERMANENT MAGNET DC GENERATOR OUTPUT USING A BUCK-BOOST CONVERTER IN A MICRO-HYDROPOWER SYSTEM

Scientific Paper in the form of thesis, 20 Juni 2026

Firdiansyah; Supervised by Dr. Ir. Indrayani, S.T., M.T. and Prof. Dr. Ir. Rusdianasari, M. Si.

Optimalisasi Output Generator DC Magnet Permanen Menggunakan *Buck-Boost Converter* pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro

xvii+ 73 pages, 8 tables, 31 pictures, 8 attachments (91 pages)

The demand for electrical energy in Indonesia continues to increase in line with population growth, economic development, and rising societal activities. However, the current electricity supply is still largely dependent on fossil-based energy sources, which are non-renewable and contribute negatively to environmental sustainability. Therefore, the development and utilization of renewable energy sources have become a strategic priority, one of which is hydropower, particularly in the form of micro-hydropower plants (MHP or PLTMH). Micro-hydropower systems represent an environmentally friendly and sustainable solution for electricity generation, especially in rural and remote areas that are not yet fully served by conventional grid infrastructure. These systems convert the potential and kinetic energy of flowing water into mechanical energy through a turbine, which is subsequently transformed into electrical energy using a generator. However, in practical implementation, especially in low-head and fluctuating flow conditions, micro-hydropower systems often face technical challenges, including voltage instability and low power output. These issues significantly affect the reliability and efficiency of the system in supplying electrical loads. To address these challenges, this study proposes the use of a Permanent Magnet DC (PMDC) generator, which has advantages in operating efficiently at low rotational speeds and does not require external excitation. Furthermore, to maintain output voltage stability under varying operating conditions, a DC–DC buck–boost converter is integrated into the system. This converter is capable of both increasing (boost) and decreasing (buck) the output voltage, ensuring a stable voltage supply despite fluctuations in input conditions caused by variations in water flow. The objective of this research is to optimize the performance of a small-scale micro-hydropower system by integrating three main components, namely an Archimedes screw turbine, a PMDC generator, and a buck–boost converter, into a single unified system. The study focuses on analyzing the relationship between generator rotational speed and output voltage and power, evaluating voltage stability, and determining the overall energy conversion efficiency of the system. The research methodology employed is an experimental approach, consisting of preliminary studies, system design, prototype development, and performance testing in both laboratory and field conditions. The testing site was selected at the irrigation channel of Gapoktan Karya Makmur, located in

Kertapati District, Palembang City. This site has a flow rate of approximately 0.175 m³/s and an average flow velocity of 0.7 m/s, making it suitable for small-scale micro-hydropower testing. Experimental testing was conducted by varying the generator rotational speed within the range of 29.83 RPM to 144.80 RPM using a 30 W LED lamp as the load. The output voltage was regulated and maintained at a constant set-point of 14.6 V through duty cycle control of the buck–boost converter. The parameters measured during the experiment included input and output voltage and current, electrical power output, and overall system efficiency. The results of the study indicate that the developed system is capable of operating under very low input voltage conditions, reaching as low as 3.61 V at a rotational speed of 29.83 RPM. This demonstrates the capability of the PMDC generator to generate electrical energy at low rotational speeds. Moreover, the integration of the buck–boost converter effectively stabilizes the output voltage, maintaining it within the desired range required by the load. The optimal operating condition was achieved at a generator speed of 63.78 RPM, where the system produced an output power of 27.7 W with a maximum efficiency of 74.7%. Within the rotational speed range of 68.20 RPM to 132.40 RPM, the output voltage remained stable and close to the defined set-point. This indicates that the system is capable of adapting to variations in generator speed resulting from fluctuating water flow conditions. Additionally, comparative observations reveal that without the use of the buck–boost converter, the generator output voltage tends to be unstable and highly dependent on turbine speed. In contrast, with the converter integrated into the system, voltage regulation is achieved dynamically. The converter operates in boost mode under low input voltage conditions and in buck mode when the input voltage exceeds the required level, thereby significantly improving the quality and stability of the electrical output. From an efficiency standpoint, the integration of the Archimedes screw turbine, PMDC generator, and buck–boost converter results in a relatively high energy conversion efficiency for a micro-hydropower system operating under low-head conditions. The efficiency achieved demonstrates that the system is technically feasible and suitable for practical implementation, particularly in areas with limited hydropower potential. In conclusion, this study provides a significant contribution to the development of adaptive, efficient, and practical micro-hydropower systems. The proposed system is capable of operating under low-head and low-flow conditions while maintaining stable voltage output, making it highly suitable for standalone DC applications such as rural street lighting. The integration of a PMDC generator with a buck–boost converter proves to be an effective solution for enhancing system performance and reliability in micro-hydropower applications. The findings of this research are expected to serve as a technical and scientific reference for the development of renewable energy systems, particularly micro-hydropower technologies in Indonesia, and to support efforts in increasing rural electrification ratios in a sustainable manner.

Keywords: *microhydro; permanent magnet DC generator; buck–boost converter; low head system; voltage regulation*

Citation : 37 (2017 – 2025)