UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Renewable Energy Certificate Berbasis Graph Theory dan Generation Mix untuk Transparansi
Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik
Ilham Muhammad Ismaya, Dr. Ir. Jimmy Trio Putra, S.T., M.Eng., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

INTISARI

Renewable Energy Certificate (REC) merupakan instrumen berbasis pasar yang digunakan untuk mendorong pemanfaatan energi terbarukan. Namun, implementasi REC dalam sistem tenaga listrik yang saling terintegrasi masih menghadapi keterbatasan dalam transparansi pelacakan aliran daya, sehingga kontribusi masing-masing pembangkit dan beban belum dapat diidentifikasi secara jelas. Selain itu sistem pelacakan secara konvensional belum merepresentasikan kontribusi setiap elemen secara proporsional dan *losses* dari setiap pembangkit terhadap bebannya, sehingga berpotensi menimbulkan ketidakadilan dalam analisis serta penentuan harga energi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis transparansi pelacakan aliran daya, menganalisis *losses* daya pada masing-masing pembangkit energi terbarukan terhadap bus beban, serta mengimplementasikan metode *power tracing* pada sistem *IEEE 118 bus* guna mendukung transparansi dan keadilan dalam penentuan diferensiasi harga energi pada skema REC. Metode yang digunakan adalah pendekatan *proportional sharing* berbasis *Graph Theory* dan *Generation Mix* melalui pendekatan sistem matrix dan subtitusi simultan dengan algoritma *downstream* dan *upstream*, serta kondisi operasi sistem diperoleh melalui perhitungan *Optimal Power Flow* (OPF) dengan metode AC-OPF menggunakan *MATPOWER*, didapatkan hasil selisih perhitungan persentase REC antara algoritma *downstream* dan *upstream* yaitu $0 \geq 1,5\%$ dan *losses* pembangkit energi terbarukan terbesar didapatkan pada generator 45 bus 9 (PLTB) yaitu sebesar 39,552 MW dan terkecil pada generator 54 bus 80 (PLTB) yaitu sebesar 0,234 MW. Selain itu, metode ini memberikan gambaran yang lebih transparan terkait distribusi aliran daya melalui diferensiasi harga dengan 2 kategori utama yaitu kategori 1 merupakan bus beban yang mendapatkan aliran daya dari energi terbarukan dan kategori 2 yaitu bus beban yang tidak sama sekali mendapatkan aliran daya dari energi terbarukan, dari hasil simulasi menunjukkan bahwa metode *power tracing* berbasis *Graph Theory* dan *Generation Mix* dapat mendukung pengembangan skema REC yang lebih adil, akuntabel, dan berbasis kondisi teknis aktual sistem tenaga listrik.

Kata kunci: *Graph Theory*, *Generation Mix*, *Power Tracing*, *Proportional Sharing*, *Renewable Energy Certificate* (REC)

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
Analisis Renewable Energy Certificate Berbasis Graph Theory dan Generation Mix untuk Transparansi
Aliran Daya Pada Sistem Tenaga Listrik
Ilham Muhammad Ismaya, Dr. Ir. Jimmy Trio Putra, S.T., M.Eng., IPM
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

ABSTRACT

Renewable Energy Certificate (REC) are market-based instruments designed to promote the utilization of renewable energy. However, the implementation of REC schemes in interconnected power systems is still constrained by limited transparency in power flow tracing, making it difficult to clearly identify the contribution of each generator to individual load buses. Furthermore, conventional power tracing methods do not proportionally represent the contribution of each system component or the power losses allocated from individual generators to their supplied loads, potentially leading to unfairness in energy analysis and pricing mechanisms. Therefore, this study aims to analyze the transparency of power flow tracing, evaluate the power losses of each renewable energy generator supplying load buses, and implement a power tracing method on the IEEE 118 bus system to support transparency and fairness in REC based energy price differentiation. The proposed method employs the proportional sharing principle based on Graph Theory and the Generation Mix approach using matrix-based modeling and simultaneous substitution through downstream and upstream algorithms. The system operating conditions were obtained using AC Optimal Power Flow (AC-OPF) analysis implemented in MATPOWER. The simulation results indicate that the difference in REC percentage calculations between the downstream and upstream algorithms ranges from 0% to 1.5%. The highest renewable energy generator loss was recorded at Generator 45 (Bus 9, Wind Power Plant), amounting to 39.552 MW, while the lowest loss occurred at Generator 54 (Bus 80, Wind Power Plant), with a value of 0.234 MW. In addition, the proposed method provides a more transparent representation of power flow distribution through a two-category pricing differentiation scheme: Category 1 consists of load buses receiving power from renewable energy sources, whereas Category 2 includes load buses that receive no renewable energy contribution. Overall, the simulation results demonstrate that the proposed Graph Theory and Generation Mix based power tracing method can support the development of a more transparent, accountable, and technically representative REC scheme for fair energy pricing in interconnected power systems.

Key words: Graph Theory, Generation Mix, Power Tracing, Proportional Sharing, Renewable Energy Certificate (REC)