

INTISARI

Perubahan bentuk pasar ketenagalistrikan dari *regulated* menjadi *partially deregulated market*, *multi-objective function*, ketidakpastian pertumbuhan beban, ketidakpastian pasokan EBT, dan ketidakpastian keputusan investasi IPP beserta dengan nilai PPA, merupakan permasalahan-permasalahan dalam pengembangan pembangkit di Indonesia yang berdampak pada keakuratan dan keoptimalan hasil pengembangan pembangkit. Akan tetapi, metode optimasi untuk perencanaan pengembangan pembangkit yang digunakan oleh PT PLN saat ini, belum mempertimbangkan permasalahan-permasalahan tersebut. Selain itu, setiap ketidakpastian dalam permasalahan tersebut akan memberikan dampak terhadap perencanaan pengembangan pembangkit dengan nilai signifikansi yang berbeda. Oleh karena itu, penelitian ini akan berfokus pada pengembangan metode optimasi yang dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan optimasi perencanaan pengembangan pembangkit sebagai *multi-objective function* pada *partially deregulated market* dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian pertumbuhan beban, pasokan EBT, dan keputusan investasi IPP beserta dengan nilai PPA.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan metode optimasi yang dapat merepresentasikan proses kompetisi pembangkit pada *partially deregulated market* sebagai *multi-objective function* yang berupa fungsi obyektif keekonomian dan lingkungan, dengan mempertimbangkan faktor ketidakpastian. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mendapatkan karakteristik pengaruh setiap faktor ketidakpastian yang digunakan beserta signifikansinya terhadap perencanaan pengembangan pembangkit sebagai *multi-objective function* pada *partially deregulated market*. Penelitian ini mengembangkan sebuah metode optimasi yang disebut dengan *modified game theory method*. *Modified game theory method* merupakan gabungan dari *majority-dominant-mixed strategy game theory*, *linear programming problem*, *four level*, *forward moving approach* and *block mechanism* untuk mencapai tujuan penelitian.

Modified game theory diimplementasikan dengan menggunakan dua *test system* dan Sistem Lombok. *Test system 1* digunakan untuk mengetahui karakteristik *time*

complexity dari model yang diuji dan *test system 2* yang digunakan uji validitas model yang diusulkan. Sistem Lombok digunakan untuk menunjukkan performa model dalam implementasi sistem *real* dan menunjukkan pengaruh ketidakpastian dalam perencanaan pengembangan pembangkit.

Berdasarkan hasil implementasi di kedua *test system* dapat diperoleh hasil bahwa *modified game theory* dapat memberikan hasil yang valid dan optimal dengan beban komputasi yang lebih ringan dibandingkan dengan *mixed strategy game theory*. Sedangkan hasil implementasi di Sistem Lombok menunjukkan bahwa *modified game theory* dapat mengisi kekurangan metode optimasi berbasis *regulated market* yang digunakan oleh PT PLN dalam hal penilaian minat investasi IPP beserta nilai PPA-nya. Karakteristik ketidakpastian EBT di Lombok tidak berpengaruh terhadap keputusan strategi IPP di Sistem Lombok. Akan tetapi, ketidakpastian EBT tersebut akan berdampak pada LCOE sistem Lombok. Karakteristik ketidakpastian beban di Lombok sangat berpengaruh terhadap keputusan strategi IPP dan LCOE di sistem Lombok. Dengan adanya ketidakpastian beban maka akan menghasilkan variasi hasil perencanaan pengembangan pembangkit dalam jumlah yang banyak. Pada Sistem Lombok, tingkat signifikansi dampak ketidakpastian beban lebih besar jika dibandingkan dengan tingkat signifikansi dampak ketidakpastian EBT baik ketika dimodelkan secara terpisah maupun digabung. Ketidakpastian beban berdampak signifikan terhadap keputusan investasi IPP dan bauran energi. Sedangkan ketidakpastian pasokan EBT hanya berdampak pada bauran energi dengan dampak yang kurang signifikan.

Kata kunci-*partially deregulated market*, ketidakpastian, *multi-objective function*, perencanaan pengembangan pembangkit, *game theory*

ABSTRACT

The changing of the electricity market from a regulated to a partially deregulated market, multi-objective functions, the uncertainty of demand growth, the uncertainty of renewable energy (RE) supply, and uncertainty of independent power producer (IPP) investment decisions along with the power purchase agreement (PPA) are problems in Indonesia's generation expansion planning which have an impact on the accuracy and optimization of results. However, the optimization method for generation expansion planning currently used by PT PLN has not considered these problems. In addition, any uncertainty in these problems will impact the planning with different significance values. Therefore, this study will focus on developing optimization methods that can be used to solve the problem of partially deregulated generation expansion planning as a multi-objective function by considering the uncertainty factors of demand growth, RE supply, and IPP investment decisions along with the PPA value.

This study aims to develop an optimization method that can represent the process of IPP competition in a partially deregulated market as a multi-objective (economic and CO₂ emission objective function) by considering the uncertainty factors. In addition, this study also aims to obtain the characteristics of the influence of each uncertainty factor used and its significance to the partially deregulated generation expansion planning as a multi-objective function. This study develops an optimization method called the modified game theory method. The modified game theory method combines majority–dominant–mixed strategy game theory, linear programming problem, four levels, forward-moving approach and block mechanism to achieve research objectives.

The modified game theory is implemented using two test systems and the Lombok system. Test system 1 is used to determine the time complexity characteristics of the proposed method, and Test system 2 is used to test the validity of the proposed model. The Lombok system is used to show the proposed method's performance in the actual system and to show the impact of uncertainty in the partially deregulated generation expansion planning.

Based on the implementation results in test systems, it can be seen that modified game theory can provide valid and optimal results with a lighter computational load. Meanwhile, the implementation results in the Lombok System show that modified game theory can fill the gaps in the regulated market-based optimization method used by PT PLN to assess interest in IPP investment and its PPA value. The RE uncertainty does not affect IPP strategic decisions in the Lombok System. However, the RE uncertainty affects the Lombok system's LCOE. The demand uncertainty significantly affects the strategic decisions of IPP and LCOE in the Lombok system. Because of the demand uncertainty, the generation expansion planning produces many results variations. In the Lombok system, the significance level of the impact of demand uncertainty is greater than the impact of RE uncertainty, either when modelled separately or combined. Demand uncertainty significantly impacts IPP investment decisions and the energy mix. Meanwhile, the RE uncertainty affects the energy mix and the LCOE with a less significant impact.

Keywords-*partially deregulated market, uncertainty, multi-objective function, generation expansion planning, game theory*