Analisis Tekno-Ekonomi-Lingkungan pada Strategi Dekarbonisasi PLTU Paiton Unit 1 dan 2: Optimasi
Reduksi dan Peluang Perdagangan Karbon Menuju Net Zero Emission 2060
Fadil Firmansyah, Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU ; Dr. Eng Ir. M. Kholid Ridwan, S.T., M.Sc., IPU
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Analisis Tekno-Ekonomi-Lingkungan pada Strategi Dekarbonisasi PLTU Paiton Unit 1 dan 2: Optimasi Reduksi dan Peluang Perdagangan Karbon Menuju *Net Zero Emission* 2060

Oleh
Fadil Firmansyah

Diajukan kepada Departemen Teknik Nuklir dan Teknik Fisika Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada pada tanggal 24 April 2026 untuk memenuhi Sebagian persyaratan untuk memperoleh derajat Magister Program Studi Teknik Fisika

INTISARI

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) berbahan bakar batubara masih mendominasi sistem ketenagalistrikan Indonesia dan menjadi penyumbang utama emisi CO_2, sehingga memerlukan strategi dekarbonisasi yang tetap menjaga keandalan dan kelayakan ekonomi. Cofiring biomassa merupakan opsi transisi yang feasible, namun berpotensi menimbulkan *trade-off* terhadap kinerja teknis dan biaya pembangkitan serta belum optimal didukung oleh pemanfaatan mekanisme perdagangan karbon. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja teknis, ekonomi, dan lingkungan, menilai kelayakan implementasi cofiring biomassa hingga rasio 30%, serta menyusun strategi dekarbonisasi menuju *Net Zero Emission* (NZE) 2060.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif analitis berbasis data sekunder dengan studi kasus pada PLTU Paiton Unit 1 dan 2. Analisis dilakukan terhadap kinerja teknis, ekonomi, dan lingkungan pembangkit. Penentuan strategi optimal dilakukan menggunakan metode *Multi Criteria Analysis* (MCA). Selain itu, dilakukan simulasi dan uji operasional peningkatan rasio cofiring hingga 30% sebagai batas maksimum.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi strategi dekarbonisasi meningkatkan NPHR dari 2742,66 menjadi 2877,86 kcal/kWh dan menurunkan efisiensi termal dari 31,36% menjadi 29,88%, serta meningkatkan BPP dari 536,36 menjadi 744,58 Rp/kWh. Namun, emisi CO_2 menurun dari 5,59 juta ton menjadi 4,60 juta ton serta menghasilkan nilai ekonomi karbon total sebesar Rp 10,38 miliar. Pada skenario cofiring hingga 30%, pembangkit masih beroperasi stabil pada batubara MRC, namun pada batubara LRC terjadi penurunan kinerja yang lebih signifikan, ditunjukkan oleh peningkatan NPHR hingga 3115,68 kcal/kWh dan penurunan efisiensi menjadi 27,60%. Secara ekonomi, integrasi perdagangan karbon meningkatkan kelayakan investasi dengan NPV sebesar Rp 35,45 miliar dan IRR sebesar 44,41%. Analisis MCA menunjukkan bahwa cofiring biomassa merupakan strategi awal yang paling optimal dalam tahap transisi dekarbonisasi. Implementasi selanjutnya perlu dilakukan secara bertahap dengan dukungan mekanisme perdagangan karbon untuk meningkatkan kelayakan ekonomi, serta pengembangan sistem *coal and biomass handling* sebagai infrastruktur pendukung guna menjaga keandalan operasi dalam mencapai target NZE 2060.

Kata kunci: cofiring biomassa, dekarbonisasi PLTU, perdagangan karbon, MCA

Pembimbing utama : Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU

Pembimbing Pendamping : Dr. Eng Ir. M. Kholid Ridwan, S.T., M.Sc., IPU

Analisis Tekno-Ekonomi-Lingkungan pada Strategi Dekarbonisasi PLTU Paiton Unit 1 dan 2: Optimasi
Reduksi dan Peluang Perdagangan Karbon Menuju Net Zero Emission 2060
Fadil Firmansyah, Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU ; Dr. Eng Ir. M. Kholid Ridwan, S.T., M.Sc., IPU
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

A Techno-Economic-Environmental Assessment of Decarbonization Strategies for Paiton Coal-Fired Power Plant Units 1 and 2: Optimizing Carbon Emission Reduction and Carbon Trading Opportunities Toward Achieving Net Zero Emissions by 2060.

By
Fadil Firmansyah

Submitted to the Department of Nuclear Engineering and Engineering Physics, Faculty of Engineering, Universitas Gadjah Mada, on April 24, 2026, in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Engineering in Engineering Physics

ABSTRACT

Coal-fired steam power plants (CFPPs) remain dominant in Indonesia's power generation system and are a major contributor to CO_2 emissions, thus requiring decarbonization strategies that maintain operational reliability and economic feasibility. Biomass cofiring is a feasible transition option; however, it may introduce trade-offs in technical performance and generation costs and has not yet been optimally supported by carbon trading mechanisms. Therefore, this study aims to evaluate the technical, economic, and environmental performance, assess the feasibility of biomass cofiring implementation up to a 30% ratio, and formulate a decarbonization strategy toward Net Zero Emission (NZE) 2060.

This research employs a quantitative analytical approach based on secondary data with a case study at Paiton Units 1 and 2. The analysis covers technical, economic, and environmental performance. The optimal strategy is determined using the Multi Criteria Analysis (MCA) method. In addition, simulation and operational testing of biomass cofiring up to 30% are conducted as the upper-bound scenario.

The results indicate that the implementation of decarbonization strategies increases the Net Plant Heat Rate (NPHR) from 2742.66 to 2877.86 kcal/kWh and reduces thermal efficiency from 31.36% to 29.88%, while increasing generation cost from 536.36 to 744.58 Rp/kWh. However, CO_2 emissions decrease from 5.59 million tons to 4.60 million tons, generating total carbon economic value of Rp 10.38 billion. At a 30% cofiring scenario, the plant operates stably under Medium Rank Coal (MRC), whereas under Low Rank Coal (LRC) conditions, performance degradation is more significant, with NPHR reaching 3115.68 kcal/kWh and efficiency declining to 27.60%. Economically, the integration of carbon trading significantly improves investment feasibility, with an NPV of Rp 35.45 billion and an IRR of 44.41%. MCA results indicate that biomass cofiring is the most optimal initial strategy in the decarbonization transition. Its implementation should be carried out progressively and supported by carbon trading mechanisms and the development of coal and biomass handling systems to ensure operational reliability in achieving NZE 2060.

Keywords: biomass cofiring, coal power decarbonization, carbon trading, MCA

Supervisor : Dr. Ir. Rachmawan Budiarto, S.T., M.T., IPU

Co-Supervisor : Dr. Eng Ir. M. Kholid Ridwan, S.T., M.Sc., IPU