

**EVALUASI BAURAN BAHAN BAKAR UNTUK MENINGKATKAN
THERMAL SUBSTITUTION RATE (TSR)
PRODUKSI SEMEN**

TESIS

Untuk memenuhi sebagian persyaratan
memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.)

Magister Teknik Industri



Diajukan oleh:

FARHAN AZIZI

No.BP: 2420932006

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2026**

**EVALUASI BAURAN BAHAN BAKAR UNTUK MENINGKATKAN
THERMAL SUBSTITUTION RATE (TSR)
PRODUKSI SEMEN**

TESIS

Magister Teknik Industri



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK INDUSTRI
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS
2026**

Abstrak

Industri semen merupakan sektor padat energi yang berkontribusi signifikan terhadap emisi karbon global. Pada unit kiln Indarung IV, V, dan VI PT Semen Padang, bauran energi masih didominasi batu bara dengan capaian *Thermal Substitution Rate* (TSR) rata-rata eksisting yang relatif rendah sebesar 2,07%. Transisi pemanfaatan *alternative fuel* (AF) perlu direncanakan secara presisi agar tidak melanggar batasan operasional dan membebani finansial. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi strategi bauran bahan bakar melalui pendekatan model optimasi berbasis *Linear Programming*. Model kuantitatif yang mengintegrasikan 432 variabel keputusan ini digunakan sebagai instrumen evaluasi untuk meminimalkan total biaya energi yaitu biaya pengadaan bahan bakar. Model ini mengevaluasi berbagai kendala secara simultan, meliputi pemenuhan energi spesifik kiln, target TSR, kapasitas *feeding* AF dan penyimpanan AF, ketersediaan pasokan, serta batas toleransi kimiawi (klorin dan sulfur).

Simulasi model pada target TSR 1,26% merekomendasikan komposisi bauran yang berhasil menaikkan TSR rata-rata menjadi 3,41%. Pergeseran alokasi bahan bakar ini berdampak langsung pada reduksi emisi sebesar 16.037.904,04 kg CO₂e dan menghasilkan penghematan biaya pengadaan sebesar Rp1.391.762.000,29 dibandingkan kondisi operasional eksisting tahun 2022. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa sistem sangat dinamis terhadap fluktuasi harga pengadaan bahan bakar. Model merespons sangat sensitif terhadap kenaikan harga batu bara, sekam padi, dan serbuk gergaji melalui mekanisme realokasi silang dan substitusi antar biomassa, namun bersifat sangat tidak sensitif terhadap kenaikan harga fiber sawit. Teridentifikasi bahwa keterbatasan kapasitas mekanis *feeding* AF merupakan *bottleneck* utama yang menghambat peningkatan efisiensi lebih lanjut. Secara keseluruhan, model ini memberikan landasan keputusan kuantitatif bagi industri semen untuk mencapai keseimbangan antara efisiensi biaya, stabilitas operasional, dan target dekarbonisasi.

Kata Kunci: Evaluasi, bauran bahan bakar, *Thermal Substitution Rate* (TSR), *Linear Programming*, emisi karbon.

Abstract

The cement industry is an energy-intensive sector that contributes significantly to global carbon emissions. In the Indarung IV, V, and VI kiln units of PT Semen Padang, the energy mix is still dominated by coal, with an existing average Thermal Substitution Rate (TSR) achievement that is relatively low at 2.07%. The transition to utilizing alternative fuels (AF) must be planned precisely to avoid violating operational constraints and imposing financial burdens. This research aims to evaluate the fuel mix strategy through an optimization model approach based on Linear Programming. This quantitative model, which integrates 432 decision variables, is used as an evaluation instrument to minimize total energy costs. The model evaluates various constraints simultaneously, including the fulfillment of specific kiln energy, TSR targets, AF feeding and storage capacities, supply availability, and chemical tolerance limits (chlorine and sulfur).

The model simulation at a 1.26% TSR target recommends a mix composition that successfully increases the average TSR to 3.41%. This shift in fuel allocation has a direct impact on emission reduction by 16,037,904.04 kg CO_{2e} and generates procurement cost savings of Rp1,391,762,000.29 compared to the existing operational conditions in 2022. Sensitivity analysis shows that the system is highly dynamic in response to fluctuations in fuel procurement prices. The model responds highly sensitively to price increases in coal, rice husks, and sawdust through cross-reallocation and substitution mechanisms among biomass, yet it remains highly insensitive to price increases in palm fiber. It is identified that the mechanical capacity limitation of AF feeding is the main bottleneck hindering further efficiency improvements. Overall, this model provides a quantitative decision-making foundation for the cement industry to achieve a balance between cost efficiency, operational stability, and decarbonization targets.

Keywords: Evaluation, fuel mix, Thermal Substitution Rate (TSR), Linear Programming, carbon emissions.

