

Operational and Environmental Optimization through Lean and Life Cycle Assessment in a Coal-Fired Power Plant

Oleh :

Maftukhin

Rita Ambarwati Sukmono

Progam Studi Magister Manajemen
Universitas Muhammadiyah Sidoarjo

Juli 2025



Latar Belakang

- PLTU batu bara masih menjadi sumber utama listrik di Indonesia, namun menghadapi tantangan kenaikan harga batu bara, rendahnya efisiensi energi, dan isu keberlanjutan lingkungan. Kondisi ini mendorong PLTU untuk meningkatkan efisiensi agar tetap kompetitif dan keberlanjutan secara ekonomi.
- Operasional PLTU konvensional menghadapi konsumsi Auxiliary Power yang tinggi dan Efisiensi Pembakaran batubara di Boiler yang rendah sehingga emisi dan polutan yang dilepaskan ke lingkungan tinggi
- Integrasi Lean Thinking dan Life Cycle Assessment (LCA) diperlukan untuk mengoptimalkan Efisiensi operasional dan meminimalkan dampak lingkungan

Rumusan Masalah dan Tujuan

Masalah : Operasional PLTU belum Effisien dan belum terintegrasi dengan Life Cycle Assessmant (LCA)

Tujuan; Mengintegrasikan Lean Thinking dan LCA untuk:

- Meningkatkan Effisiensi Energi
- Mengurangi Emisi dan Dampak Lingkungan

Tinjauan Pustaka

- Lean Thinking merupakan salah satu pendekatan manajemen yang fokus pada mengidentifikasi dan menghilangkan pemborosan (waste) dalam proses untuk menciptakan nilai maksimum bagi pelanggan dengan sumber daya seminimal mungkin
- Life Cycle Assessment (LCA) menyediakan kerangka kerja yang komprehensif untuk mengevaluasi dampak lingkungan di seluruh siklus hidup suatu produk atau sistem mulai dari bahan baku, produksi, operasi, hingga pembuangan akhir
- Gap Penelitian: Minim integrasi Lean Thinking dengan Life Cycle Assessment (LCA) di PLTU.

Metodelogi Penelitian

- Desain Penelitian : Studi Kasus Penelitian Kuantitatif
- Lokasi : PLTU Batu Bara 25 MW PT XYZ, Gresik
- Metode :
 - Implementasi Lean Thinking
 - Analisis Dampak Lingkungan dengan OpenLCA dan Traci 2.1
- Pengumpulan Data :
 - Before Implementasi Lean Thinking, Jun 2021- Mei 2022
 - After Implementasi Lean Thinking Jan – Dec 2024

Proses Lean Thinking

1. Identifikasi Pemborosan Energi
2. Instalasi Variable Frequency Drive (VFD)/Inverter
3. Optimasi Sistem Control dan Aliran Proses

Lean Process Flow-Auxiliary Power System

Fokus Penerapan Lean thinking pada Auxiliary Power System diarahkan untuk mengatasi ineffisiensi operasional saat peralatan berjalan dengan bukaan valve atau damper $< 50\%$:

- Feed Water Pump
- Primary Air Fan
- Secondary Air Fan

Sebelum intervensi Lean Thinking, Auxiliary system consumption 14.75% terhadap total daya yang dihasilkan generator. Setelah Implementasi Variable Frequency Drive (VFD) atau Inverter konsumsi Auxiliary System turun menjadi 11.75%

Dengan penurunan konsumsi 3% dari Auxiliary system ini dari **123 .37** juta kWh di tahun 2024 berkontribusi penghematan energi **3.6** juta Kwh. Pengurangan beban listrik ini dicapai tanpa mengorbankan keandalan system, karena system kontrol berbasis VFD. Dengan VFD, meningkatkan fleksibilitas dan responsivitas terhadap dinamika operasi dari pemakai energi listrik (Paper Machine

Lean Process Flow-Auxiliary Power System



Tabel 2. Auxiliary kWh Consumption Before and After Lean

Period	Before Lean		After Lean		Decrease
	1 Jun 2021– 1 May 2022		1 Jan- 31 Des 2024		
	kWh/year	% A	kWh/year	% B	% A-B
kWh Generator	113.883.840		123.272.160		
kWh Auxiliary					
1. Coal Handling	243.603	0.21%	217.921	0.18%	0.04%
2. Feed Water Pump	2.773.320	2.44%	1.892.580	1.54%	0.90%
3. Primary Air Fan	5.307.572	4.66%	2.746.872	2.23%	2.43%
4. Secondary Air Fan	2.076.960	1.82%	2.080.620	1.69%	0.14%
5. Induced Draft Fan	2.342.520	2.06%	3.233.220	2.62%	- 0.57%
6. Circulating W.P	326.250	0.29%	340.065	0.28%	0.01%
7. Clarifier Tr	252.990	0.22%	270.090	0.22%	0.00%
8. Demin Tr	1.928.160	1.69%	2.030.400	1.65%	0.05%
9. Low auxiary Tr	1.549.317	1.36%	1.684.199	1.37%	- 0.01%
Total	16.800.692	14.75%	14.495.967	11.76%	2.99%

Optimasi Operasional Boiler

- Optimalisasi rasio udara-batu bara melalui pendekatan lean thinking memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan efisiensi pembakaran di unit boiler. Pengaturan ulang rasio udara primer dan sekunder lebih presisi dengan perhitungan stoikiometri, proses pembakaran menjadi lebih sempurna, stabil, minim waste heat
- Dengan Optimasi tercermin peningkatan produksi steam sebesar 3.75% untuk setiap ton batu bara yang dibakar. Hal ini menunjukkan konversi termal yang lebih efisien
- Dengan meningkatnya efisiensi produksi steam dengan konversi steam to kWh relative tetap berdampak pada pengurangan sebesar 3.48% konsumsi batubara yang dibutuhkan untuk menghasilkan per kWh listrik. Peningkatan ini memberikan penghematan batu bara sebesar 1420 ton selama masa monitoring (Oktober-Desember 2025)

Optimasi Operasional Boiler

	Unit	Before Lean (Jan-Sep 2024)	After Lean (Oct-Dec 2024)
Electricity Production	kWh	83.860.800	32.129.280
Steam Production	kg	568.314.600	203.490.000
Coal	kg	114.221.618	39.419.830
Steam/Coal	kg/kg	4.98	5.16
Steam/kWh	kg/kWh	6.32	6.33
Coal/kWh	kg/kWh	1.27	1.23

Enviroment Impact Assesment

Table 4. Inventory Jun 2021 – Mei 2022

Category	Inventory	Amount	Amount	Amount	unit
Input	Data	Jun 2021- Mei 2022	Jan 2024- Sep 2024	Oct 2024- Dec 2024	
Fuel/Energy	Coal	153.267.464	114.221.618	39.419.830	Kg
	Electricity	16.904.448	10.550.112	3.857.856	kWh
Output	Electricity	113.883.840	89.860.800	32.129.280	kWh
	Steam	285.236.300	221.309.200	75.873.000	kg
Emission To Air	CO2	245.272.076	183.522.303	63.336.679	kg
	SOx	7.730.988	5.655.645	1.951.860	kg
	NOx	1287.447	1.233.593	425.734	kg

Penilaian dampak lingkungan dari meningkatnya efisiensi kWh auxiliary dan Optimasi Boiler menggunakan Open LCA dan Traci 2.1. Dan disamping data dari Inventory Before Lean dan After lean

Enviroment Impact Assesment

Table 6. Impact assessment of auxiliary power consumption efficiency before and after lean per kWh product

Period	Unit	Before Lean Jun 2021- May 2022	After Lean Jan-Sep 2024	% Decrease
Acidification	Kg SO2 eq	0.011	0.014	-27.27%
Global Warming	Kg CO2 eq	22.418	20.816	7.15 %
Human health- Particulate matter	PM 2.5 eq	0.000672222	0.000855556	-27.27%

Table 7. Impact assessment of boiler optimization before and after lean per kWh product

Period	Unit	Before Lean Jan-Sep 2024	After Lean Oct-Dec 2024	% Decrease
Acidification	Kg SO2 eq	0.014	0.013	7.14%
Global Warming	Kg CO2 eq	20.816	20.150	3.20%
Human health- Particulate matter	PM 2.5 eq	0.000855556	0.000794444	7.14

Impact Assesment pada konsumsi auxiliary power, Global Warming berkurang 7.15% dari 22.418 menjadi 20.816 kg CO2 eq, sedangkan Acidification dan Particulate Matter naik 27.27%

Impact Assesment pada optimasi boiler berkurang untuk semua parameter, Global Warming berkurang 3.20% dan Acidification dan Particulate Matter naik 7.14%

Resume

No	Program	Result	Result per mounth	Reduce Batubara, Ton/bulan	Reduce Biaya, Rp/Bulan
1	Reduce Auxiliary Power System	3.600.000 kWh/y	300.000 kWh	403.74	389,609,100
2	Optmasi boiler	1420 Ton/3 bulan	473.33 Ton	473.33	456,763,450
				877.07	846,372,550

Program Reduce Auxiliarry System dapat menurunkan batubara sebanyak 403.74 ton perbulan, sedangkan Optimasi Boiler dapat menurunkan 473.33 ton batubara. Dengan harga batubara Rp 965/kg dapat mereduce Rp 846.372.550 per bulan.

Period	Unit	Before Lean Jun2021- May 2022	After Lean Oct-Dec 2024	% Decrease
Acidification	Kg SO2 eq	0.011	0.013	-18.18%
Global Warming	Kg CO2 eq	22.418	20.150	10.12 %
Human health- Particulate matter	PM 2.5 eq	0.000672222	0.000794444	-18.18%

Total Impact Assesment pada Konsumsi kWh Auxiliary dan optimasi boiler berkurang untuk semua parameter,
Global Warming berkurang 10.12% dan Acidification dan Particulate Matter naik 18.18%

Diskusi

- Penerapan Lean Thinking yang dengan Life Cycle Assessment (LCA) terbukti mampu secara signifikan meningkatkan efisiensi energy PLTU batu bara melalui penurunan konsumsi kWh auxiliary dan optimasi proses pembakaran. . Temuan ini membuka peluang adopsi pendekatan Lean-LCA secara lebih luas sebagai strategi untuk mengurangi pemborosan operasional dan memperkuat keberlanjutan lingkungan dalam sektor energy
- Meskipun Integrasi Lean-LCA berhasil menurunkan emisi CO₂ secara signifikan, studi ini mencatat adanya peningkatan SO_x dan partikulat matter dalam beberapa scenario, yang mengindikasikan perlunya pendekatan mitigasi emisi yang lebih holistic untuk menghindari pergeseran dampak lingkungan
- Temuan studi ini menegaskan perlunya strategi emisi yang terintegrasi, dimana efisiensi energy berbasis Lean perlu dibarengi dengan teknologi pengendalian emisi seperti desulfurisasi dan filtrasi partikulat untuk menghindari pergeseran dampak lingkungan ke kategori polutan lain.

Kesimpulan

Studi ini menunjukkan integrasi Lean Thinkin dan Life Cycle Assessment (LCA) secara signifikan meningkatkan operasional dan keberlanjutan lingkungan PLTU batu bara melalui pengurangan konsumsi kWh Auxiliary dan optimasi boiler sehingga emisi gas rumah kaca berkurang, meskipun menghadirkan trade-off lingkungan seperti pengasaman dan emisi partikulat sehingga diperlukan manajemen lingkungan yang komprehensif dan control proses adaptif.

Direkomendasikan penerapan Lean Thinking dan LCA secara luas pada pembangkit listrik fosil, disertai pemantauan berkelanjutan dan manajemen lingkungan yang menyeluruh untuk mengoptimalkan efisiensi dan meminimalkan dampak lingkungan

