Jurnal Ilmiah Teknik Industri dan Inovasi
Volume 4 Nomor 4 Oktober 2026
e-ISSN: 2964-5964; p-ISSN: 2985-315X, Hal. 85-98
DOI: https://doi.org/10.59024/jisi.v4i4.2683
Tersedia: https://jurnal.alimspublishing.co.id/index.php/JISI

Analisis Efisiensi Biaya Operasional melalui Optimasi Jadwal Operasi Pompa Penyalur di Fuel Terminal Lomanis

Muhammad Ichsan Ansori[1*], Agus Adhi Nugroho[2]
[1-2]Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia
E-mail: ichanansori@yahoo.com[1], agusadhi@unissula.ac.id[2]
**Penulis Korespondensi: ichanansori@yahoo.com*

Abstract. *Lomanis Fuel Terminal distributes fuel through four pipeline routes using electric transfer pumps, with monthly electricity bills exceeding IDR 1 billion. This study analyzes pump operations, energy consumption, Peak Load Time (WBP) and Off-Peak Load Time (LWBP) costs, and potential savings from rescheduling without changing distributed volume. A quantitative descriptive method used 2025 PLN billing and Batch Program data with daily-resolution idle-slot simulation. Annual consumption totaled 14,781,944 kWh, costing IDR 16,283,735,609; pumps consumed 99.46%. WBP represented 12.7% of energy but 17.9% of costs, with tariffs approximately 50% higher than LWBP. Simulation indicated that 1,408.0 of 5,379.5 WBP operating hours (26.2%) could shift to LWBP while maintaining total operating hours and distributing 7,641,963 KL, potentially saving IDR 254,634,421 annually (1.56%) without capital expenditure. Separately, actual before–after bills showed reductions of 34.69% in WBP consumption and 11.77% in electricity costs, while cost per litre decreased from IDR 2.46 to IDR 2.08 despite a 4.91% volume increase. These changes cannot be attributed entirely to rescheduling because total energy consumption and monthly conditions also varied. CY-2, accounting for an estimated 43.12% of pump energy, is recommended as a conditional implementation priority, subject to receiving-terminal stock validation.*

Keywords: *Electricity Consumption; Off-Peak Load Time; Operational Cost Efficiency; Peak Load Time; Pump Scheduling Optimisation.*

Abstrak. Terminal BBM Lomanis menyalurkan BBM melalui empat jalur pipa menggunakan pompa transfer listrik, dengan tagihan bulanan melebihi Rp1 miliar. Penelitian ini menganalisis operasi pompa, konsumsi energi, biaya Waktu Beban Puncak (WBP) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), serta potensi penghematan melalui penjadwalan ulang tanpa mengubah volume penyaluran. Metode deskriptif kuantitatif menggunakan data tagihan PLN dan Batch Program 2025 dengan simulasi slot menganggur beresolusi harian. Konsumsi tahunan mencapai 14.781.944 kWh, berbiaya Rp16.283.735.609; pompa menyerap 99,46% energi. WBP mencakup 12,7% energi tetapi 17,9% biaya, dengan tarif sekitar 50% lebih tinggi daripada LWBP. Simulasi menunjukkan 1.408,0 dari 5.379,5 jam operasi WBP (26,2%) dapat dialihkan ke LWBP, dengan mempertahankan total jam operasi dan penyaluran 7.641.963 KL, sehingga berpotensi menghemat Rp254.634.421 per tahun (1,56%) tanpa investasi modal. Secara terpisah, perbandingan tagihan aktual sebelum–sesudah menunjukkan penurunan konsumsi WBP sebesar 34,69% dan biaya listrik 11,77%, sementara biaya per liter turun dari Rp2,46 menjadi Rp2,08 meskipun volume meningkat 4,91%. Perubahan tersebut tidak sepenuhnya dapat dikaitkan dengan penjadwalan ulang karena konsumsi energi total dan kondisi bulanan turut berubah. Jalur CY-2, dengan estimasi konsumsi 43,12% energi pompa, direkomendasikan sebagai prioritas penerapan bersyarat, setelah validasi stok aktual terminal penerima.

Kata Kunci: Efisiensi Biaya Operasional; Konsumsi Energi Listrik; LWBP; Optimasi Jadwal Operasi Pompa; WBP.

1. LATAR BELAKANG

Terminal bahan bakar minyak (BBM) berfungsi sebagai penghubung antara kilang dan wilayah distribusi, sehingga keandalannya menentukan stabilitas pasokan energi regional. Fuel Terminal (FT) Lomanis di Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, merupakan *main terminal* sekaligus terminal transit milik PT Pertamina Patra Niaga. Terminal ini menerima BBM dari PT Kilang Pertamina Internasional RU IV Cilacap dan kapal tanker impor,

Naskah Masuk: 26 Agustus 2026; Revisi: 22 September 2026; Diterima: 15 Oktober 2026; Terbit: 26 Oktober 2026

menimbunnya dalam 17 tangki berkapasitas total 306.503 KL, lalu menyalurkannya melalui pipa ke fuel terminal lain di Jawa Tengah bagian selatan dan Jawa Barat bagian selatan.

Penyaluran dilakukan melalui empat jalur utama, yaitu CY-1 dan CY-2 (Cilacap–Yogyakarta) menuju FT Maos, FT Rewulu, dan FT Boyolali, serta CB-1 dan CB-2 (Cilacap–Bandung) menuju FT Tasikmalaya, FT Ujungberung, dan FT Padalarang. Dari 22 unit pompa penyalur, 20 unit (90,9%) digerakkan motor listrik (Prastyo & Marlyana, 2025). Akibatnya, tagihan listrik terminal melebihi Rp1 miliar per bulan dan menjadi salah satu komponen biaya operasional terbesar.

Tarif listrik industri PLN membedakan Waktu Beban Puncak (WBP, pukul 17.00–22.00) dan Luar Waktu Beban Puncak (LWBP), dengan tarif WBP yang lebih tinggi. Perbedaan ini membuka peluang penghematan melalui pengalihan operasi peralatan berdaya besar ke LWBP tanpa investasi peralatan baru. Penjadwalan pompa berbasis tarif *time-of-use* terbukti menurunkan biaya energi pada sistem distribusi air melalui *Economic Model Predictive Control* (Wang et al., 2021) dan algoritma genetika (Du et al., 2023), serta pada sistem pipa produk minyak (Khlebnikova et al., 2020).

Penelitian efisiensi di lingkungan PT Pertamina sejauh ini lebih banyak berfokus pada rute distribusi darat (Pangestu & Kushariyadi, 2025; Pangestu et al., 2025), alokasi pompa dan tanker (Ramanda et al., 2023), dampak lingkungan dan energi distribusi (Kholil et al., 2022), serta penggantian penggerak pompa utama (Prastyo & Marlyana, 2025). Kajian di FT Lomanis sebelumnya menunjukkan motor listrik lebih efisien daripada turbin gas (Prastyo & Marlyana, 2025), tetapi belum membahas strategi penjadwalan pompa berdasarkan periode WBP/LWBP. Berbeda dari studi *time-of-use* sebelumnya yang menyelesaikan model optimasi matematis (EMPC, algoritma genetika, atau optimasi nonlinier) dengan data hidraulik dan operasi beresolusi tinggi, penelitian ini mengembangkan simulasi *idle-slot* harian yang hanya memerlukan data operasional rutin, yaitu rekening PLN dan *Batch Program*. Pengalihan jam WBP dibatasi oleh jam *idle* pada hari yang sama sehingga total jam operasi dan volume penyaluran harian ke terminal penerima tidak berubah. Kontribusi penelitian ini adalah kerangka estimasi potensi penghematan yang transparan dan mudah direplikasi untuk sistem pipa BBM antar-terminal yang menuntut kontinuitas pasokan, sekaligus penentuan jalur prioritas implementasinya. Konteks ini berbeda dari jaringan air atau proses manufaktur karena penyaluran BBM antar-terminal berlangsung dalam *batch* produk berurutan pada satu pipa, waktu operasi pompa terikat jadwal penerimaan dari kilang dan kapal, serta setiap penundaan berdampak langsung pada ketahanan stok terminal penerima.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pola operasi pompa penyalur dan konsumsi energi listrik di FT Lomanis, mengidentifikasi biaya listrik pada periode WBP dan LWBP, menganalisis penerapan optimasi jadwal operasi pompa berbasis LWBP, menghitung potensi penghematan biaya, serta merumuskan model operasi pompa yang ekonomis dengan tetap mempertahankan volume penyaluran harian BBM.

2. KAJIAN TEORITIS

Penelitian Terdahulu

Optimasi di *fuel terminal* umumnya menyasar biaya transportasi. Metode *Saving Matrix* menurunkan biaya distribusi BBM ke Pertashop sekitar 26% (Pangestu & Kushariyadi, 2025) dan memperpendek rute distribusi Pertalite (Pangestu et al., 2025). Pendekatan *Discrete Event System* dan *Model Predictive Control* meminimalkan waktu tunggu tanker dan meningkatkan utilisasi pompa (Ramanda et al., 2023). Di sisi energi, kajian daur hidup di FT Parepare menunjukkan konsumsi listrik pompa penyalur sebagai titik panas (*hotspot*) utama dampak lingkungan proses distribusi BBM (Kholil et al., 2022).

Pada sistem pompa, pengoperasian pada periode tarif rendah terbukti menurunkan biaya energi secara signifikan, baik pada jaringan air (Wang et al. 2021; Du et al. 2023; Egito et al. 2023), sistem pipa produk minyak (Khlebnikova et al. 2020), maupun pompa distribusi PDAM yang dioperasikan pada jam LWBP (Prakoso & Yuniarto, 2024). Pada sektor manufaktur, kajian penjadwalan berbasis tarif *time-of-use* berkembang pesat (Catanzaro et al. 2023), dan fleksibilitas operasi industri juga dipandang sebagai sumber respons sisi permintaan bagi stabilitas jaringan listrik (Santecchia et al., 2022). Pada pompa industri, penghematan energi juga dicapai melalui pengaturan kecepatan motor dengan *Variable Speed Drive* (Meichelia, 2024). Namun, belum ditemukan kajian yang menerapkan penjadwalan WBP/LWBP pada pompa penyalur BBM antar-terminal dengan kendala kontinuitas pasokan ke terminal penerima.

Sintesis penelitian terdahulu pada Tabel 1 menunjukkan dua pola. Pertama, studi penjadwalan pompa berbasis tarif umumnya menggunakan model optimasi formal yang membutuhkan data hidraulik dan level tangki beresolusi jam atau lebih rinci, sehingga sulit diterapkan pada terminal yang hanya memiliki rekening PLN agregat dan *Batch Program*. Kedua, studi di lingkungan Pertamina lebih banyak menyasar biaya transportasi, alokasi armada, atau investasi penggerak pompa, bukan waktu operasi pompa. Atas dasar itu, simulasi *idle-slot* harian dipilih sebagai pendekatan yang sesuai dengan ketersediaan data, dengan kendala volume harian tetap sebagai proksi awal kontinuitas pasokan.

Tabel 1. Sintesis Penelitian Terdahulu dan Posisi Penelitian Ini.

Studi	Sistem	Metode	Kendala operasional	Keluaran
Wang et al. (2021)	Jaringan distribusi air	*Economic Model Predictive Control* waktu nyata	Hidraulik jaringan dan level tangki	Biaya energi pemompaan lebih rendah
Du et al. (2023)	Instalasi pengolahan air	Algoritma genetika termodifikasi	Kebutuhan air dan keseimbangan beban antarpompa	Biaya listrik turun dengan beban seimbang
Egito et al. (2023)	Sistem distribusi air	Algoritma genetika (pompa dan reservoir)	Level reservoir dan kebutuhan air	Biaya listrik operasi lebih rendah
Prakoso & Yuniarto (2024)	Pompa distribusi PDAM	Pengaturan operasi pompa pada jam LWBP	Kebutuhan air zona layanan	Biaya listrik turun ±Rp18,5 juta/bulan
Khlebnikova et al. (2020)	Pipa produk minyak	Optimasi nonlinier dengan harga listrik bervariasi waktu	Hidraulik pipa dan target pengiriman produk	Biaya operasi pemompaan minimum
Catanzaro et al. (2023)	Manufaktur (penjadwalan *job*)	Survei model penjadwalan berbasis tarif *time-of-use*	Urutan *job*, kapasitas mesin, tenggat	Klasifikasi model dan peluang riset
Ramanda et al. (2023)	*Fuel terminal* (tanker dan pompa)	*Discrete event system* dan MPC	Antrean tanker dan kapasitas pompa	Waktu tunggu turun, utilisasi pompa naik
Meichelia (2024)	Pompa pendingin industri 920 kW	*Variable Speed Drive*	Kebutuhan debit proses	Penghematan energi ±30–33%
Prastyo & Marlyana (2025)	*Main pump* FT Lomanis	Analisis kelayakan investasi	Biaya investasi penggerak	Motor listrik lebih ekonomis daripada turbin gas
Penelitian ini	Pompa penyalur BBM antar-terminal	Simulasi *idle-slot* harian berbasis tarif WBP/LWBP	Jam *idle* hari yang sama; total jam operasi dan volume tetap	Potensi penghematan tanpa belanja modal dan prioritas jalur

Sumber: Diolah dari berbagai sumber (2025).

Landasan Teori

Efisiensi operasional adalah kemampuan menghasilkan keluaran maksimal dengan sumber daya minimal (Stevenson, 2021). Konsumsi energi pompa ditentukan oleh daya motor dan lama operasinya (Meichelia, 2024; Prakoso & Yuniarto, 2024):

$$E = P \times t \quad \text{I}$$

dengan E energi listrik (kWh), P daya pompa (kW), dan t waktu operasi (jam). Biaya listrik merupakan hasil kali energi dan tarif pada periode yang berlaku:

$$C = E_{\text{WBP}} \times T_{\text{WBP}} + E_{\text{LWBP}} \times T_{\text{LWBP}} \quad \text{II}$$

dengan C biaya listrik (Rp) dan T tarif (Rp/kWh). Tarif WBP lebih tinggi karena beban sistem kelistrikan sedang puncak, sehingga pemindahan operasi peralatan berdaya besar ke LWBP dapat menurunkan biaya tanpa mengurangi produktivitas (Prakoso & Yuniarto, 2024). Upaya tersebut juga sejalan dengan kewajiban manajemen energi bagi

pengguna energi besar dalam regulasi konservasi energi nasional (Pemerintah Republik Indonesia, 2023). Karena total energi tetap, penghematan dari pengalihan ΔE kWh sama dengan:

$$\Delta C = \Delta E \times (T_{\mathrm{WBP}} - T_{\mathrm{LWBP}}) \quad \text{III}$$

dengan ΔC penghematan biaya listrik (Rp), ΔE energi yang dialihkan dari WBP ke LWBP (kWh), serta T_{WBP} dan T_{LWBP} berturut-turut tarif WBP dan LWBP (Rp/kWh). Efisiensi biaya dinyatakan sebagai persentase penurunan biaya terhadap kondisi awal:

$$\eta = \frac{C_{\mathrm{awal}} - C_{\mathrm{optimasi}}}{C_{\mathrm{awal}}} \times 100\% \quad \text{IV}$$

dengan η efisiensi biaya (%), C_{awal} biaya listrik kondisi *existing* (Rp), dan C_{optimasi} biaya listrik hasil simulasi optimasi (Rp).

Sistem manajemen energi berbasis ISO 50001 memprioritaskan program efisiensi pada penggunaan energi yang signifikan dan terbukti memberikan penghematan yang berkelanjutan di sektor manufaktur (Fitzgerald et al., 2023). Simulasi dan model penjadwalan dipakai untuk membandingkan kondisi *existing* dan usulan sebelum diterapkan secara aktual (Egito et al., 2023; Catanzaro et al., 2023).

3. METODE PENELITIAN

Jenis, Lokasi, dan Objek Penelitian

Penelitian ini bersifat kuantitatif deskriptif dengan simulasi perbandingan kondisi *existing* dan kondisi optimasi. Lokasi penelitian adalah FT Lomanis, Cilacap, dengan periode data Januari–Desember 2025. Objeknya adalah pompa penyalur BBM bermotor listrik yang dipasok PLN; pompa berpenggerak turbin gas (GT-02 dan GT-05), genset cadangan, dan pompa *booster* Kutowinangun tidak dianalisis. Salah satu unit tipikal adalah pompa *multistage* Sulzer Bingham (400 KL/jam) yang digerakkan motor induksi ABB 1.200 kW, 3,3 kV, 3.000 rpm sinkron. Istilah optimasi dalam penelitian ini merujuk pada perbaikan jadwal operasi melalui simulasi *idle-slot* berbasis tarif WBP/LWBP, bukan penyelesaian model optimasi matematis global.

Data

Data dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara dengan operator dan teknisi, serta dokumentasi, seluruhnya untuk periode Januari–Desember 2025. Data utama meliputi rekening listrik PLN bulanan (kWh dan biaya WBP/LWBP) dari satu meter agregat, dengan tarif WBP Rp1.553,67/kWh dan LWBP Rp1.035,78/kWh. Data bersumber dari Data Monitoring Evaluasi Pengaturan Jam Pemompaan FT Lomanis (2025) dan diverifikasi

dengan menghitung ulang biaya WBP dan LWBP dari perkalian kWh dan tarif terhadap nilai tagihan setiap bulan. Data berikutnya berupa Batch Program empat jalur pipa yang mencakup volume tiap batch, tanggal dan jam mulai pemompaan, serta flow rate desain jalur. Data bersumber dari berkas Batch Program tiap jalur; total volumenya dibandingkan dengan volume penyaluran pada data rekening, dengan selisih sekitar 1,3%. Selain itu, hasil audit energi gedung kantor FT Lomanis (Pradika, 2023) digunakan untuk memisahkan beban gedung. Hasil audit digunakan sebagai beban tetap bulanan karena gedung tidak memiliki sub-meter tersendiri. Wawancara dengan pihak operasional dan teknisi digunakan untuk memperoleh informasi mengenai sistem operasi pompa dan kebijakan pengaturan jam pemompaan yang berlaku sejak Februari 2025.

Tahapan Pengolahan Data

Pemisahan beban dilakukan dengan mengurangkan beban gedung sebesar 6.700 kWh/bulan dari total kWh rekening untuk memperoleh beban pompa. Beban gedung tersebut mencakup 358,5 kWh pada WBP karena hanya peralatan 24 jam yang aktif pada pukul 17.00–22.00.

Alokasi beban per jalur dilakukan dengan mengalokasikan kWh pompa bulanan ke tiap jalur secara proporsional terhadap volume penyaluran jalur tersebut pada bulan yang sama, dengan asumsi intensitas energi (kWh/KL) seragam. Asumsi ini digunakan karena terminal hanya memiliki satu meter PLN agregat tanpa sub-metering per jalur, sedangkan volume per jalur merupakan satu-satunya data yang tercatat konsisten untuk seluruh bulan. Konsekuensinya, jalur dengan jarak, elevasi, jumlah stasiun booster, spesifikasi pompa, atau kapasitas aliran yang berbeda berpotensi memiliki intensitas energi aktual yang lebih tinggi daripada estimasi, sehingga angka per jalur bersifat estimasi.

Estimasi jam operasi dilakukan karena waktu selesai pemompaan tidak tercatat, sehingga durasi tiap batch diestimasi sebagai volume dibagi flow rate desain. Jam operasi setiap hari lalu diklasifikasikan ke WBP (17.00–22.00) atau LWBP. Validasi silang terhadap running hour pompa Januari 2025 menunjukkan selisih kurang dari 1% pada CB-2, tetapi 11–27% pada tiga jalur lainnya, antara lain karena perbedaan periode pembanding. Estimasi ini juga belum memperhitungkan downtime, variasi debit aktual, waktu pergantian batch, maupun operasi simultan antarjalur, karena data tersebut tidak tercatat secara sistematis. Dengan demikian, jam operasi dalam penelitian ini merupakan estimasi, bukan hasil pengukuran langsung.

Simulasi idle-slot harian dilakukan dengan ketentuan bahwa jam WBP hanya dapat dipindahkan ke LWBP sebesar jam idle pada hari yang sama, sehingga total jam operasi dan volume tidak berubah (persamaan 5–6). Jam idle dihitung sebagai 24 jam dikurangi jam operasi pada hari tersebut, dan jam WBP yang dialihkan diasumsikan ditempatkan pada slot kosong di luar pukul 17.00–22.00 pada hari yang sama. Simulasi mengasumsikan setiap jalur hanya memompa satu batch pada satu waktu dengan flow rate desain (tidak dinaikkan) sehingga kapasitas jalur tidak terlampaui, serta urutan batch dan volume harian ke terminal penerima tidak berubah. Pada hari ketika sebagian jendela WBP sudah kosong, sebagian jam idle berada pada periode WBP sehingga tidak seluruhnya dapat menampung pengalihan. Selain itu, kendala waktu mulai–selesai batch, persediaan, dan cover days terminal penerima tidak dimodelkan secara eksplisit. Oleh karena itu, hasil simulasi diperlakukan sebagai batas atas potensi pengalihan yang masih memerlukan uji kelayakan operasional.

Perhitungan biaya dan efisiensi menggunakan persamaan (2)–(4), lalu membandingkan hasil simulasi dengan data rekening sebelum dan sesudah kebijakan pengaturan jam pemompaan yang mulai berlaku Februari 2025.

$$\text{Idle}_{\text{harian}} = 24 - \text{Jam Operasi}_{\text{harian}} \quad \text{V}$$

$$\text{Potensi Efisiensi} = \min(\text{Jam WBP}; \text{Idle}_{\text{harian}}) \quad \text{VI}$$

dengan *Idle*$_{\text{harian}}$ jam pompa tidak beroperasi pada hari tersebut (jam), Jam Operasi$_{\text{harian}}$ total jam operasi pompa pada hari tersebut (jam), Jam WBP jam operasi yang jatuh pada periode WBP (jam), dan Potensi Efisiensi jumlah jam WBP maksimum yang dapat dialihkan ke LWBP (jam).

Sebagai contoh, *batch* solar 4.000 KL di jalur CB-1 (150 KL/jam) mulai 4 Januari 2025 pukul 08.00 dan berlangsung 26,67 jam. Pada tanggal tersebut pompa beroperasi 16,0 jam, termasuk 5,0 jam WBP, sehingga tersedia 8,0 jam *idle*. Karena *idle* melebihi jam WBP, seluruh 5,0 jam WBP dapat dipindahkan ke LWBP. Prosedur yang sama diterapkan pada 365 hari × 4 jalur.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Struktur Beban Listrik

Pompa penyalur menyerap 99,46% konsumsi listrik FT Lomanis, sehingga efisiensi energi hanya berdampak berarti bila difokuskan pada sistem pompa. Beban gedung kantor didominasi AC (52%), peralatan elektronik (41%), dan penerangan (7%), tetapi totalnya hanya Rp85,5 juta per tahun (Tabel 2).

Tabel 2. Pemisahan Beban dan Biaya Listrik FT Lomanis, 2025.

Komponen	Energi (kWh/tahun)	Porsi energi	Biaya (Rp juta/tahun)
Pompa penyalur BBM	14.701.544	99,46%	16.198,2
Gedung kantor (*supporting*)	80.400	0,54%	85,5
Total	**14.781.944**	**100%**	**16.283,7**

Sumber: Data diolah (2025).

Alokasi proporsional volume menempatkan jalur CY-2 sebagai kontributor terbesar beban pompa (Tabel 3). Angka per jalur ini merupakan estimasi, karena intensitas energi aktual tiap jalur dapat berbeda akibat jarak, elevasi, dan jumlah stasiun *booster*. Karena FT Lomanis belum memiliki *sub-metering* per jalur, seluruh angka energi dan biaya per jalur pada Tabel 3 dan pembahasan selanjutnya merupakan hasil alokasi, bukan hasil pengukuran.

Tabel 3. Estimasi Beban dan Biaya Pompa Per Jalur (Alokasi Proporsional Volume), 2025.

Jalur	Volume (KL)	Energi (kWh)	Porsi	Biaya (Rp juta)
CY-2	3.296.913	6.338.965	43,12%	6.984,8
CB-2	2.164.650	4.168.688	28,36%	4.592,8
CY-1	1.610.900	3.096.365	21,06%	3.412,4
CB-1	569.500	1.097.527	7,47%	1.208,3
Total	**7.641.963**	**14.701.544**	**100%**	**16.198,2**

Sumber: Data diolah (2025); angka per jalur merupakan estimasi, bukan hasil sub-metering.

Konsumsi dan Biaya pada Periode WBP dan LWBP

Periode WBP hanya menyerap 12,7% energi (1.878.572 kWh), tetapi menyumbang 17,9% biaya (Rp2.918.680.959). Ketimpangan ini muncul karena tarif WBP (Rp1.553,67/kWh) sekitar 1,5 kali tarif LWBP (Rp1.035,78/kWh), dan menjadi dasar ekonomi strategi pengalihan jam operasi. Rata-rata biaya listrik sepanjang 2025 adalah Rp2,10 per liter BBM tersalurkan (Tabel 4).

Tabel 4. Konsumsi, Biaya, dan Intensitas Biaya Listrik Bulanan, 2025.

Bulan	kWh WBP	kWh LWBP	Porsi WBP	Biaya total (Rp juta)	Rp/L
Jan	229.544	1.124.169	17,0%	1.521,0	2,46
Feb	163.532	962.927	14,5%	1.251,5	2,25
Mar	158.100	1.246.709	11,3%	1.537,0	2,38
Apr	168.368	1.233.477	12,0%	1.539,2	2,29
Mei	131.973	1.238.848	9,6%	1.488,2	2,33
Jun	103.879	1.217.261	7,9%	1.422,2	2,34
Jul	70.967	1.096.561	6,1%	1.246,1	1,98
Ags	105.836	1.014.009	9,5%	1.214,7	1,81
Sep	168.196	888.095	15,9%	1.181,2	1,76
Okt	189.628	938.523	16,8%	1.266,7	1,96
Nov	190.239	962.918	16,5%	1.292,9	1,89
Des	198.310	979.875	16,8%	1.323,0	1,87
Total	**1.878.572**	**12.903.372**	**12,7%**	**16.283,7**	**2,10**

Sumber: Data diolah (2025)

Porsi WBP aktual membentuk pola huruf U: turun dari 17,0% pada Januari ke titik terendah 6,1% pada Juli, lalu naik kembali ke 15–17% pada September–Desember. Pola ini mengindikasikan pengaturan jam pemompaan paling efektif pada Mei–Juli dan cenderung melemah pada September–Desember; penyebabnya belum dapat dipastikan, tetapi dapat berkaitan dengan berkurangnya pengawasan maupun perubahan permintaan dan jadwal pasokan.

Dampak Aktual Kebijakan Pengaturan Jam Pemompaan

Setelah kebijakan pengaturan jam pemompaan berlaku sejak Februari 2025, kWh WBP rata-rata turun 34,69% dan biaya total turun 11,77%, sementara volume penyaluran naik 4,91% (Tabel 5). Intensitas biaya membaik 15,5%, dari Rp2,46/L menjadi Rp2,08/L. Perbandingan ini bersifat deskriptif: kondisi sebelum hanya diwakili satu bulan (Januari), sedangkan kondisi sesudah merupakan rata-rata sebelas bulan, sehingga hasilnya dapat dipengaruhi permintaan musiman, variasi total kWh, kenaikan volume penyaluran (4,91%), jumlah hari operasi, dan lama operasi. Oleh karena itu, angka 11,77% diperlakukan sebagai hasil observasi aktual yang tidak dapat diatribusikan seluruhnya kepada kebijakan, sedangkan potensi penghematan yang murni berasal dari pergeseran waktu operasi dihitung terpisah dalam skenario simulasi.

Tabel 5. Perbandingan Rekening Listrik Sebelum (Januari 2025) dan Sesudah Kebijakan (Rata-Rata Februari–Desember 2025).

Parameter	Sebelum	Sesudah	Perubahan
kWh WBP	229.544	149.912	−34,69%
kWh LWBP	1.124.169	1.070.837	−4,74%
Total kWh	1.353.713	1.220.748	−9,82%
Biaya WBP (Rp juta)	356,6	232,9	−34,69%
Biaya total (Rp juta)	1.521,0	1.342,1	−11,77%
Volume disalurkan (KL)	617.712	648.063	+4,91%
Intensitas biaya (Rp/L)	2,46	2,08	−15,5%

Sumber: Data diolah (2025).

Pola Operasi Pompa dan Simulasi *Idle-Slot*

Berdasarkan *Batch Program*, keempat jalur beroperasi total 25.049,8 jam pada 2025, dengan 5.379,5 jam (21,5%) jatuh pada WBP. Porsi ini lebih tinggi daripada porsi WBP aktual pada rekening (12,7%). Kedua angka tidak sepenuhnya sebanding: porsi *Batch Program* dihitung dari jam operasi terjadwal yang diestimasi dengan *flow rate* desain untuk empat jalur, sedangkan porsi rekening dihitung dari energi terukur (kWh) pada meter agregat yang juga mencakup beban gedung dan pompa di luar empat jalur. Selisih tersebut dapat disebabkan oleh (i) operator di lapangan yang telah menggeser jadwal melampaui jadwal baku *Batch Program*, (ii) perbedaan durasi estimasi dan durasi aktual karena debit aktual

berbeda dari *flow rate* desain, (iii) jumlah unit atau daya pompa yang dioperasikan pada WBP lebih rendah sehingga porsi energi lebih kecil daripada porsi jam, dan (iv) realisasi *batch* yang tertunda atau dibatalkan. *Occupancy* pompa berbeda tajam antarjalur, dari 43% (CB-1) hingga 88% (CB-2) sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pola Operasi dan Potensi Pengalihan Jam WBP Per Jalur (Resolusi Harian), 2025.

Jalur	Jam operasi	*Occupancy*	Jam WBP	Jam *idle*	Jam dapat dialihkan	Porsi WBP dialihkan
CY-2	7.326,5	84%	1.501,4	1.433,5	464,6	30,9%
CB-2	7.730,9	88%	1.594,5	1.029,1	351,2	22,0%
CY-1	6.195,8	71%	1.512,3	2.564,2	389,8	25,8%
CB-1	3.796,7	43%	771,3	4.963,3	202,5	26,3%
Total	**25.049,8**	–	**5.379,5**	**9.990,2**	**1.408,0**	**26,2%**

Sumber: Data diolah (2025).

Simulasi *idle-slot* harian menunjukkan 1.408,0 jam WBP (26,2%) dapat dialihkan ke LWBP. Potensi per jalur relatif merata (22–31%) meskipun *occupancy* tahunan berbeda jauh, karena ruang pengalihan ditentukan oleh sebaran jam *idle* dari hari ke hari, bukan oleh rata-rata tahunan. CB-1, misalnya, memiliki banyak hari kosong, tetapi pada hari-hari pemompaan jam operasinya mendekati 24 jam sehingga ruang pengalihannya terbatas.

Potensi Penghematan Biaya

Dengan asumsi intensitas daya (kWh per jam operasi) setara antarjam dan antarjalur, porsi pengalihan jam 26,2% dapat dikonversi langsung menjadi porsi kWh. Menerapkan porsi tersebut pada kWh WBP agregat memindahkan 491.677 kWh dari WBP ke LWBP. Dengan persamaan (3), penghematan yang diperoleh adalah 491.677 kWh × (Rp1.553,67 − Rp1.035,78) ≈ Rp254.634.421 per tahun, atau Rp21.219.535 per bulan (1,56% dari biaya *existing*). Total energi, jam operasi, dan volume penyaluran tidak berubah (Tabel 7), sehingga penghematan ini murni berasal dari pergeseran waktu tanpa belanja modal.

Tabel 7. Perbandingan Kondisi *Existing* dan Skenario Optimasi, 2025.

Parameter	*Existing*	Optimasi	Keterangan
Jam WBP	5.379,5	3.971,6	turun 26,2%
Jam LWBP	19.670,3	21.078,2	naik 7,2%
Total jam operasi	25.049,8	25.049,8	tetap
kWh WBP	1.878.572	1.386.895	turun 26,2%
kWh LWBP	12.903.372	13.395.049	naik 3,8%
Total kWh	14.781.944	14.781.944	tetap
Volume dipompakan (KL)	7.641.963	7.641.963	tetap
Biaya listrik (Rp)	16.283.735.609	16.029.101.189	turun 1,56%

Sumber: Data diolah (2025).

Arah hasil simulasi searah dengan data aktual pada pembahasan dampak kebijakan pengaturan jam pemompaan, tetapi keduanya tidak dapat dibandingkan secara langsung. Namun, penurunan aktual (11,77%) jauh lebih besar dari potensi simulasi (1,56%) karena perbandingan aktual juga memuat penurunan total kWh dan perbedaan kondisi antarbulan,

sedangkan simulasi hanya menggeser waktu operasi dengan energi tetap. Temuan ini konsisten dengan studi penjadwalan pompa berbasis tarif pada sistem air (Wang et al. 2021; Du et al. 2023) dan pipa produk minyak (Khlebnikova et al., 2020).

Prioritas Implementasi dan Kontinuitas Distribusi

Mengacu pada persamaan (1), kontribusi energi ditentukan bersama oleh daya dan jam operasi. Jalur CY-2 memiliki *flow rate* desain tertinggi (450–500 KL/jam), jam operasi tertinggi kedua (7.326,5 jam), volume dan estimasi porsi energi terbesar, serta potensi pengalihan tertinggi baik absolut (464,6 jam) maupun relatif (30,9%). CY-2 karenanya direkomendasikan sebagai prioritas implementasi bersyarat pada tahap pertama, diikuti CB-2 (280–400 KL/jam), CY-1 (260 KL/jam), dan CB-1 (150 KL/jam).

Untuk menjaga kontinuitas pasokan, penggeseran jadwal perlu memperhatikan kebutuhan harian terminal penerima: sekitar 9.033 KL/hari untuk CY-2 (FT Boyolali), 5.931 KL/hari untuk CB-2 (FT Padalarang), 4.413 KL/hari untuk CY-1 (FT Rewulu), dan 1.560 KL/hari untuk CB-1 (FT Ujungberung). Angka ini merupakan rata-rata penyaluran harian (volume tahunan dibagi 365 hari) dan hanya menjadi acuan awal; validasi dengan data stok harian dan *cover days* aktual di terminal penerima belum dilakukan. Oleh karena itu, keberlanjutan distribusi belum dapat dinyatakan terjamin, dan sebelum penerapan penuh diperlukan uji kelayakan operasional, misalnya uji coba terbatas pada jalur CY-2 dengan pemantauan stok harian terminal penerima terhadap batas *cover days* minimum, penyesuaian dengan jadwal kedatangan pasokan dari kilang dan kapal, serta koordinasi dengan fungsi perencanaan penyaluran. Jalur berikutnya baru diterapkan setelah uji coba menunjukkan stok terminal penerima tidak turun di bawah batas aman.

Perlu dicatat, volume *Batch Program* empat jalur (7.641.963 KL) sedikit lebih rendah dari volume pada data rekening (7.746.400 KL), yang mengindikasikan meter PLN juga mencakup pompa di luar keempat jalur utama.

Hasil ini tidak dapat digeneralisasi secara langsung ke terminal lain. Ruang pengalihan sangat ditentukan oleh *occupancy* pompa harian, kapasitas tangki penyangga di terminal penerima, pola permintaan, dan struktur tarif listrik yang berlaku. Terminal dengan *occupancy* mendekati 24 jam, permintaan yang sangat fluktuatif, kapasitas timbun penerima yang kecil, atau konfigurasi pipa tunggal yang melayani banyak produk kemungkinan memiliki potensi pengalihan yang lebih rendah. Sebaliknya, kerangka simulasi *idle-slot* dapat direplikasi pada terminal lain sepanjang data rekening WBP/LWBP dan jadwal *batch* tersedia, dengan parameter yang disesuaikan pada kondisi masing-masing terminal.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Hasil simulasi menunjukkan bahwa optimasi jadwal operasi pompa berbasis periode LWBP berpotensi menurunkan biaya listrik FT Lomanis dengan volume penyaluran tetap. Pompa penyalur menyerap 99,46% dari 14.781.944 kWh konsumsi tahunan, dan periode WBP menyumbang 17,9% biaya meskipun hanya 12,7% energi. Simulasi *idle-slot* harian menunjukkan 26,2% jam WBP (1.408,0 jam) dapat dialihkan ke LWBP, menghasilkan potensi penghematan Rp254.634.421 per tahun (1,56%) tanpa belanja modal. Perbandingan deskriptif data aktual searah dengan temuan ini: setelah kebijakan pengaturan jam pemompaan, kWh WBP turun 34,69%, biaya listrik turun 11,77%, dan intensitas biaya membaik dari Rp2,46/L menjadi Rp2,08/L meski volume naik 4,91%, tetapi perbandingan ini bersifat deskriptif sehingga penurunan tersebut tidak seluruhnya dapat diatribusikan pada pergeseran jadwal operasi pompa.

Model operasi yang diusulkan bertumpu pada tiga prinsip: pengalihan hanya sebesar jam *idle* pada hari yang sama, implementasi bertahap dan bersyarat dengan urutan CY-2, CB-2, CY-1, lalu CB-1, dan penjadwalan yang memperhatikan kebutuhan harian terminal penerima. Model ini merupakan kerangka acuan penjadwalan, belum jadwal harian final, karena belum divalidasi terhadap *cover days* dengan data stok riil. Pemenuhan kontinuitas pasokan secara nyata masih perlu dibuktikan melalui uji coba terbatas dengan pemantauan stok terminal penerima.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan data operasional. Pertama, terminal hanya memiliki satu meter PLN agregat sehingga beban per jalur diperoleh melalui alokasi proporsional volume dengan asumsi intensitas energi seragam. Kedua, waktu selesai pemompaan tidak tercatat sehingga jam operasi diestimasi dari volume dibagi *flow rate* desain tanpa memperhitungkan *downtime*, variasi debit aktual, dan pergantian *batch*. Ketiga, simulasi beresolusi harian, setiap hari dianalisis secara independen tanpa pergeseran jadwal lintas hari, dan kendala persediaan terminal penerima tidak dimodelkan, sehingga hasilnya merupakan batas atas potensi. Keempat, perbandingan sebelum–sesudah hanya menggunakan satu bulan pembanding dan belum diuji secara statistik.

Bagi perusahaan, pengaturan jam pemompaan disarankan dijadikan prosedur baku dengan pengawasan berkelanjutan, dilengkapi *sub-metering* per jalur dan pencatatan waktu mulai–selesai pemompaan, serta dipantau secara berkala dengan indikator biaya listrik per liter (Rp/L) dan porsi kWh WBP agar manfaat efisiensi dapat dievaluasi secara berkelanjutan. Penerapan jadwal baru sebaiknya diawali uji coba terbatas yang memantau stok harian dan *cover days* terminal penerima. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data per jam,

model optimasi formal seperti *Mixed Integer Linear Programming* atau *Model Predictive Control* dengan kendala *cover days*, uji statistik atau regresi untuk dampak kebijakan, serta kajian kombinasi penjadwalan dengan *Variable Speed Drive* (Meichelia, 2024; Pratama, 2024).

DAFTAR REFERENSI

Catanzaro, D., Pesenti, R., & Ronco, R. (2023). Job scheduling under time-of-use energy tariffs for sustainable manufacturing: A survey. *European Journal of Operational Research, 308*(3), 1091–1109. https://doi.org/10.1016/j.ejor.2023.01.029

Du, B., Zha, D., Guo, J., & Yu, X. (2023). Optimization of pump scheduling in waterworks considering load balancing using improved genetic algorithm. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 44*(6), 9651–9669. https://doi.org/10.3233/JIFS-224245

Egito, T. B. do, Azevedo, J. R. G. de, & Bezerra, S. de T. M. (2023). Optimization of the operation of water distribution systems with emphasis on the joint optimization of pumps and reservoirs. *Water Supply, 23*(3), 1094–1105. https://doi.org/10.2166/ws.2023.065

Fitzgerald, P., Therkelsen, P. L., Sheaffer, P., & Rao, P. (2023). Deeper and persistent energy savings and carbon dioxide reductions achieved through ISO 50001 in the manufacturing sector. *Sustainable Energy Technologies and Assessments, 57*, Article 103280. https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103280

Khlebnikova, E., Sundar, K., Zlotnik, A., Bent, R., Ewers, M., & Tasseff, B. (2020). *Optimal economic operation of liquid petroleum products pipeline systems*. arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2012.11755

Kholil, P. A., Budihardjo, M. A., Muhammad, F., & Karno, K. (2022). Penilaian daur hidup proses distribusi BBM di PT Pertamina (Persero) Fuel Terminal Parepare. *Jurnal Ilmu Lingkungan, 20*(3), 685–695. https://doi.org/10.14710/jil.20.3.685-695

Meichelia, L. (2024). Analisis penghematan daya listrik pada motor untuk pompa pendingin 3 fasa kapasitas 6 kV 920 kW menggunakan variable speed drive. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Energi dan Mineral, 4*(1), 385–397. https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.143

Pangestu, J. T., & Kushariyadi. (2025). Analisis cost reduction biaya distribusi BBM ke Pertashop di FT XYZ. *Jurnal Pustaka Nusantara Multidisiplin, 3*(4). https://doi.org/10.59945/jpnm.v3i4.800

Pangestu, O. S. W., Christiano, A., & Adi, T. W. (2025). Optimasi rute distribusi produk Pertalite yang efektif dengan pendekatan saving matrix di Fuel Terminal X. *Jurnal Pustaka Nusantara Multidisiplin, 3*(3). https://doi.org/10.59945/jpnm.v3i3.643

Pemerintah Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Pemerintah Nomor 33 Tahun 2023 tentang Konservasi Energi*. https://jdih.esdm.go.id/storage/document/Peraturan%20Pemerintah%20Nomor%2033%20Tahun%202023.pdf

Pradika, B. (2023). *Analisis penggunaan energi listrik dan kesehatan lingkungan kerja pada kantor PT Pertamina Patra Niaga–Fuel Terminal Lomanis* [Laporan tugas akhir]. Universitas Bina Nusantara.

Prakoso, F. B., & Yuniarto, A. (2024). Pengaruh operasional pompa distribusi pada efisiensi energi di zona BTBS PAM Bandarmasih. *Jurnal Sumberdaya Alam dan Lingkungan, 11*(3), 130–137. https://doi.org/10.21776/ub.jsal.2024.011.03.4

Prastyo, D., & Marlyana, N. (2025). Analisis kelayakan investasi secara ekonomi terhadap penggantian penggerak main pump (studi kasus: PT Pertamina Patra Niaga Fuel Terminal Lomanis). *Journal of Engineering Environment Energy and Science, 4*(1), 29–38. https://doi.org/10.31599/5148sj68

Pratama, R. Z. (2024). *Analisa sistem kelistrikan untuk kebutuhan efisiensi operasional Fuel Terminal Lomanis dengan pemanfaatan VSD (variable speed drive) pada waktu beban puncak (WBP)* [Naskah tidak dipublikasikan].

Ramanda, A., Sa'idah, N. F., & Cahyono, R. T. (2023). Discrete-event control and predictive optimization of fuel tankers and pumps allocation. *Journal of Research in Industrial Engineering and Management, 1*(1), 1–10. https://doi.org/10.61221/jriem.v1i1.8

Santecchia, A., Kantor, I., Castro-Amoedo, R., & Maréchal, F. (2022). Industrial flexibility as demand side response for electrical grid stability. *Frontiers in Energy Research, 10*, Article 831462. https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.831462

Stevenson, W. J. (2021). *Operations management* (14th ed.). McGraw-Hill Education.

Wang, Y., Yok, K. T., Wu, W., Simpson, A. R., Weyer, E., & Manzie, C. (2021). Minimizing pumping energy cost in real-time operations of water distribution systems using economic model predictive control. *Journal of Water Resources Planning and Management, 147*(7), Article 04021042. https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0001399