OPTIMASI LOKASI FUEL TERMINAL PURBALINGGA MENGGUNAKAN CENTER OF GRAVITY DAN GIS

Ishak Maulana[1*], Utin Vidya Assyfa[1], Della Sulistiani[1]
[1]Logistik Minyak dan Gas, Politeknik Energi dan Mineral Akamigas, Jl. Gajah Mada No. 38 Mentul Karangboyo, Cepu Blora Jawa Tengah, 58315
**E-mail*: ishakmaulana7425@gmail.com

ABSTRAK

Kabupaten Purbalingga belum memiliki *Fuel Terminal* (FT) sehingga 56 SPBU di wilayah sekitarnya masih dipasok dari terminal di luar wilayah dengan jarak distribusi yang panjang. Penelitian ini bertujuan menentukan lokasi FT Purbalingga, memproyeksikan kebutuhan Pertamax tahun 2026, dan memilih moda penerimaan bahan bakar yang paling sesuai. Lokasi ditentukan dengan metode *Center of Gravity* dan divalidasi menggunakan analisis *buffer* serta radius layanan berbasis Sistem Informasi Geografis. Proyeksi permintaan disusun dari estimasi permintaan per SPBU tahun 2025 yang dikalikan laju pertumbuhan kendaraan bermotor tiap kabupaten berdasarkan data Badan Pusat Statistik 2023–2025, kemudian didistribusikan menurut pola musiman bulanan. Kelayakan moda mobil tangki dan pipa baja dinilai dengan arus kas 20 tahun pada tingkat pengembalian minimum 11%. Lokasi terpilih berjarak kurang dari 1 km dari titik pusat gravitasi dan memperpendek jarak distribusi ke SPBU sekitar 54% dibandingkan pasokan langsung dari terminal eksisting. Kebutuhan Pertamax tahun 2026 diproyeksikan sekitar 100,3 ribu kiloliter dengan rentang skenario 90,8–102,9 ribu kiloliter. Biaya penerimaan per liter moda mobil tangki kurang dari sepertiga moda pipa dan tetap layak pada seluruh skenario sensitivitas, sedangkan moda pipa menjadi tidak layak bila margin turun sekitar 20%. Mobil tangki direkomendasikan untuk tahap awal, sedangkan pipa menjadi opsi jangka panjang apabila volume meningkat signifikan.

Kata kunci: *Center of Gravity*, *Fuel Terminal*, GIS, Pertamax, Rantai Pasok

1. PENDAHULUAN

Transisi energi menuju hilirisasi dan kedaulatan energi nasional menjadi agenda strategis yang menuntut penguatan seluruh mata rantai penyediaan dan distribusi energi, termasuk bahan bakar minyak (BBM) jenis Pertamax [1]. Di sisi permintaan, jumlah kendaraan bermotor di Provinsi Jawa Tengah meningkat dari 18,69 juta unit pada tahun 2023 menjadi 22,02 juta unit pada tahun 2025, sehingga sistem distribusi BBM dituntut semakin efisien, andal, dan mampu menjangkau seluruh wilayah layanan secara merata.

Kabupaten Purbalingga merupakan salah satu wilayah di Jawa Tengah yang hingga saat ini belum memiliki *Fuel Terminal* (FT) sendiri, sehingga pemenuhan kebutuhan Pertamax pada 56 Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Purbalingga dan kabupaten sekitarnya masih bergantung pada pasokan dari FT di luar wilayah layanan. Kondisi ini berdampak pada panjangnya jarak distribusi serta menurunnya efisiensi operasional rantai pasok. Secara teoretis, penentuan lokasi fasilitas yang meminimalkan total jarak tertimbang terhadap titik-titik permintaan berakar pada problem Weber [2] dan telah berkembang menjadi kelompok model lokasi fasilitas strategis yang luas [3]. Dalam rantai pasok hilir minyak, lokasi terminal termasuk keputusan strategis yang menentukan biaya distribusi jangka panjang [4] dan umumnya dianalisis bersama pilihan moda pasokan, baik kapal maupun pipa [5], [6].

Pada skala wilayah, pendekatan Sistem Informasi Geografis (GIS) banyak digunakan untuk menilai kesesuaian lokasi SPBU terhadap pola permintaan, jaringan jalan, serta standar

keselamatan dan lingkungan [7]–[11]. Metode *Center of Gravity* (CoG), sebagai pendekatan kontinu yang sederhana terhadap problem Weber, juga terbukti efektif menentukan titik lokasi fasilitas distribusi yang menekan biaya transportasi pada studi kasus di Indonesia [12]. Meskipun demikian, kajian yang memadukan CoG dan GIS untuk perancangan lokasi FT, lengkap dengan proyeksi permintaan dan pemilihan moda penerimaan, masih terbatas.

Selain aspek lokasi, ketepatan proyeksi permintaan menjadi faktor penentu kapasitas FT. Model deret waktu musiman seperti SARIMA dan SARIMAX efektif untuk peramalan permintaan bahan bakar apabila tersedia data penjualan historis yang panjang dan konsisten [13], [14]. Ketika data tersebut tidak tersedia, proyeksi berbasis faktor pertumbuhan eksogen dan indeks musiman yang disertai analisis skenario menjadi alternatif yang lebih transparan. Di samping itu, pemilihan moda transportasi penerimaan BBM turut menentukan kelayakan investasi, sehingga diperlukan analisis *Net Present Value* (NPV), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Payback Period* untuk membandingkan moda mobil tangki dengan moda pipa [15].

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) menentukan lokasi optimal rancangan FT Purbalingga menggunakan metode CoG yang divalidasi dengan *buffer analysis* dan *coverage radius* berbasis GIS, termasuk pembandingan kuantitatif terhadap lokasi alternatif; (2) memproyeksikan kebutuhan Pertamax pada wilayah layanan FT Purbalingga tahun 2026 beserta rentang skenarionya; dan (3) menganalisis kelayakan moda transportasi penerimaan BBM yang paling sesuai beserta sensitivitasnya terhadap perubahan asumsi. Penelitian ini merupakan bagian dari rancangan (desain) FT yang diusulkan sebagai kajian akademis dan belum merupakan fasilitas yang telah dibangun secara fisik.

Sistematika penulisan artikel ini terdiri atas lima bagian. Bagian pertama membahas latar belakang dan tujuan penelitian. Bagian kedua menjelaskan data dan metode yang digunakan dalam penentuan lokasi, proyeksi permintaan, dan analisis kelayakan moda transportasi. Bagian ketiga memaparkan hasil dan pembahasan meliputi proyeksi permintaan Pertamax, penentuan lokasi optimal FT Purbalingga, kesesuaian lahan dan cakupan layanan, analisis moda transportasi, serta analisis risiko. Bagian keempat berisi simpulan penelitian, dan bagian kelima memuat daftar pustaka yang digunakan.

2. METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan kuantitatif yang menggabungkan analisis spasial berbasis GIS, proyeksi permintaan, dan analisis kelayakan finansial. Objek penelitian adalah rancangan FT Purbalingga beserta 56 SPBU pada wilayah layanan, yaitu 17 SPBU di Kabupaten Purbalingga, 26 SPBU di Banyumas, 6 SPBU di Banjarnegara, 4 SPBU di Kebumen, 2 SPBU di Cilacap, dan 1 SPBU di bagian selatan Kabupaten Pemalang.

Data primer berupa titik koordinat ke-56 SPBU. Karena data penjualan per SPBU tidak tersedia untuk publik, permintaan Pertamax tahun 2025 per SPBU diestimasi melalui disagregasi kebutuhan Pertamax Jawa Tengah menurut tipe SPBU (Pasti Pas, Pasti Prima, dan *Green Energy Station*) dan bobot wilayah, dengan faktor variasi acak 0,90–1,15 (simulasi Monte Carlo) untuk merepresentasikan keragaman antar-SPBU. Data sekunder meliputi jumlah kendaraan bermotor per kabupaten dari Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Tengah periode 2023–2025, alokasi penyaluran Pertamax Regional Jawa Bagian Tengah dari dokumen *Objective Throughput* (OT) Januari 2026, data topografi dan risiko bencana dari platform InaRISK Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), data tata ruang dari Kementerian Agraria dan Tata Ruang/Badan Pertanahan Nasional (ATR/BPN), serta data jaringan jalan OpenStreetMap.

Penentuan titik lokasi FT dilakukan dengan metode CoG, yaitu menghitung koordinat pusat gravitasi dari koordinat SPBU (X_i, Y_i) dan bobot w_i melalui Pers. (1) dan (2). Perhitungan menggunakan 21 SPBU yang membentuk klaster inti wilayah layanan, yaitu seluruh 17 SPBU di Kabupaten Purbalingga dan 4 SPBU di Kabupaten Banjarnegara yang berbatasan langsung. Bobot w_i adalah kapasitas mobil tangki maksimum yang dapat melayani SPBU sesuai kelas jalan aksesnya (16 KL atau 24 KL) sebagai proksi volume per pengiriman. Bobot ini dipilih karena volume penjualan aktual per SPBU tidak tersedia, sedangkan kelas jalan menentukan ukuran armada dan frekuensi pengiriman. Volume permintaan tahun 2026 tidak digunakan sebagai bobot CoG, tetapi digunakan sebagai bobot evaluasi jarak pada tahap validasi.

$$\bar{Y} = \Sigma(Y_i \times w_i) / \Sigma w_i \quad (1)$$

$$\bar{X} = \Sigma(X_i \times w_i) / \Sigma w_i \quad (2)$$

Titik CoG divalidasi menggunakan *buffer analysis* dan *coverage radius* berbasis QGIS pada radius pelayanan utama 30 km dan radius maksimum 50 km. Jarak tempuh jalan (d_i) dari lokasi terpilih ke setiap SPBU diperoleh dari analisis rute terpendek pada jaringan jalan OpenStreetMap di QGIS. Kinerja lokasi terpilih dibandingkan dengan titik CoG, kandidat alternatif, dan kondisi pasokan eksisting menggunakan jarak tempuh rata-rata tertimbang permintaan (Pers. (3)) serta beban angkut $\Sigma(D_{i,2026} \times d_i)$ dalam KL-km. Untuk lokasi pembanding, d_i diestimasi dari jarak garis lurus dikalikan faktor kelokan jalan 1,39, yaitu median rasio jarak jalan terhadap jarak garis lurus pada 56 rute lokasi terpilih. Kesesuaian lokasi selanjutnya dianalisis dari aspek topografi (*Digital Elevation Model*), risiko bencana (InaRISK), dan tata ruang (ATR/BPN).

$$\bar{d} = \Sigma(D_{i,2026} \times d_i) / \Sigma D_{i,2026} \quad (3)$$

Proyeksi permintaan Pertamax tahun 2026 disusun dengan model dekomposisi multiplikatif yang menggabungkan faktor pertumbuhan eksogen dan indeks musiman. Permintaan tahunan setiap SPBU dihitung dengan Pers. (4), dengan g_k laju pertumbuhan kendaraan bermotor kabupaten k tempat SPBU i berada (Pers. (5)), sedangkan permintaan bulanan diperoleh melalui Pers. (6) dengan indeks musiman s_m ($\Sigma s_m = 1$) yang memperhitungkan pergeseran Idulfitri ke bulan Maret 2026, libur sekolah, serta periode Natal dan Tahun Baru. Laju g_k dihitung sebagai rata-rata geometrik dengan n = 3 tahun pengamatan. Pilihan ini menghasilkan laju yang lebih konservatif daripada CAGR dua interval dan diambil karena data registrasi kendaraan tingkat kabupaten memuat lonjakan antar-tahun yang tidak mencerminkan pertumbuhan konsumsi BBM; sebagai contoh, jumlah kendaraan Kabupaten Banjarnegara turun pada 2024 lalu naik sekitar 81% pada 2025. Nilai permintaan tahun 2023 dan 2024 merupakan hasil rekonstruksi mundur (*backcasting*) yang hanya digunakan untuk menggambarkan tren.

$$D_{i,2026} = D_{i,2025} \times (1 + g_k) \quad (4)$$

$$g_k = (V_{k,2025} / V_{k,2023})^{1/n} - 1 \quad (5)$$

$$D_{i,m} = D_{i,2026} \times s_m \quad (6)$$

Model SARIMAX tidak digunakan untuk menghasilkan angka proyeksi akhir karena data penjualan bulanan per SPBU yang memadai untuk estimasi ordo, pembagian data latih dan uji, serta uji diagnostik residual tidak tersedia. Sebagai gantinya, ketidakpastian proyeksi dinyatakan melalui tiga skenario, yaitu skenario pesimis (laju pertumbuhan kendaraan tingkat provinsi sebesar 5,62% untuk seluruh SPBU), skenario dasar (g_k per kabupaten), dan skenario optimis (laju kabupaten tertinggi sebesar 19,72% untuk seluruh SPBU).

Analisis moda penerimaan membandingkan moda mobil tangki dan pipa baja dari FT Maos, yaitu terminal eksisting terdekat yang menerima Pertamax dari RU IV Cilacap melalui TT Lomanis. Arus kas disusun untuk horizon 20 tahun dengan asumsi pada Tabel 4, yaitu volume penerimaan 101.470 KL/tahun (±278 KL/hari), pendapatan berupa margin antara harga

jual BBM ke SPBU dan harga pokok pembelian yang dieskalasi 7,12% per tahun (1,03 × 1,04), OPEX yang dieskalasi 4% per tahun, pajak penghasilan 22%, penyusutan garis lurus tanpa nilai sisa, serta penggantian armada mobil tangki pada tahun ke-10 [15]. *Minimum Attractive Rate of Return* (MARR) ditetapkan dari WACC proyek tangki BBM tahun 2021 sebesar 9,38% yang disesuaikan dengan selisih BI-Rate November 2021 (3,50%) dan Maret 2026 (4,75%) [16], sehingga diperoleh 10,63% yang dibulatkan menjadi 11%. Kelayakan dinilai dengan NPV, IRR, *Profitability Index* (PI), dan *Payback Period*. Karena pendapatan kedua moda identik, moda juga dibandingkan berbasis biaya, yaitu nilai kini biaya dan biaya penerimaan terlevelisasi (*levelized cost of transport*, LCOT) pada Pers. (7). Sensitivitas diuji terhadap margin harga BBM, volume permintaan, eskalasi pendapatan, OPEX, dan MARR.

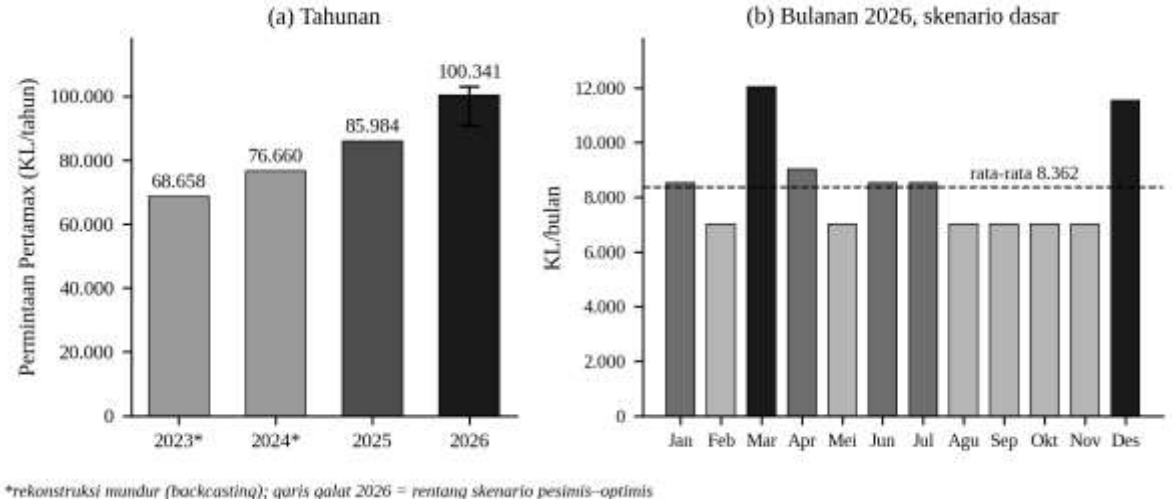
$$\text{LCOT} = [\text{CAPEX} + \Sigma_{t=1}^{T} \text{OPEX}_t / (1 + r)^t] / [\Sigma_{t=1}^{T} Q / (1 + r)^t] \quad (7)$$

Pengolahan data dilakukan menggunakan Microsoft Excel, POM-QM untuk validasi kalkulasi CoG, serta QGIS untuk analisis spasial dan rute. Penelitian dilaksanakan melalui enam tahapan berurutan: (1) identifikasi persebaran SPBU dan estimasi permintaan Pertamax; (2) kalkulasi koordinat pusat gravitasi; (3) validasi jangkauan dan pembandingan jarak terhadap lokasi alternatif; (4) studi kelayakan wilayah dari aspek topografi, risiko bencana, dan tata ruang; (5) proyeksi permintaan 2026 beserta skenario dan identifikasi titik pasokan; serta (6) analisis kelayakan dan sensitivitas moda transportasi penerimaan. Hasil keenam tahapan disintesis untuk menghasilkan rekomendasi akhir rancangan FT Purbalingga.

3. PEMBAHASAN

A. Proyeksi Permintaan Pertamax Tahun 2026

Provinsi Jawa Tengah memiliki sekitar 819 unit SPBU dengan sebaran yang tidak merata akibat perbedaan aktivitas ekonomi, mobilitas kendaraan, dan kepadatan penduduk. Analisis kemudian dipersempit pada 56 SPBU wilayah layanan FT Purbalingga. Estimasi permintaan Pertamax ke-56 SPBU tersebut pada tahun 2025 sebesar 85.984,28 KL, sedangkan hasil rekonstruksi mundur untuk tahun 2023 dan 2024 masing-masing 68.657,67 KL dan 76.659,70 KL, yang menggambarkan tren kenaikan sekitar 11–12% per tahun (Gambar 1a).



**rekonstruksi mundur (backcasting); garis galat 2026 = rentang skenario pesimis–optimis*

Gambar 1. Tren dan Proyeksi Permintaan Pertamax Wilayah Layanan FT Purbalingga Tahun 2023–2026

Laju pertumbuhan kendaraan bermotor (Pers. (5)) pada kabupaten wilayah layanan berkisar antara 10,20% (Pemalang) dan 19,72% (Banyumas), sedangkan laju tingkat provinsi

sebesar 5,62% per tahun. Dengan Pers. (4), kebutuhan Pertamax tahun 2026 pada skenario dasar mencapai 100.341,0 KL atau rata-rata 8.361,75 KL per bulan, setara pertumbuhan tertimbang 16,70% terhadap tahun 2025 (Gambar 1a). Distribusi bulanan (Gambar 1b) menunjukkan puncak utama pada bulan Maret (12,0%; 12.040,9 KL) karena Idulfitri jatuh pada bulan tersebut, puncak kedua pada Desember (11,5%) karena periode Natal dan Tahun Baru, kenaikan sedang pada April (9,0%) serta Januari, Juni, dan Juli (8,5%), dan permintaan terendah (7,0%) pada Februari, Mei, serta Agustus–November. Rata-rata kebutuhan harian pada bulan Maret mencapai ±388 KL/hari, di atas rata-rata tahunan ±275 KL/hari, sehingga kesiapan stok perlu dibangun sebelum periode puncak.

Tabel 1 menunjukkan bahwa kebutuhan tahun 2026 berada pada rentang 90.816,6–102.940,4 KL atau −9,5% hingga +2,6% terhadap skenario dasar. Rentang ini asimetris karena skenario dasar sudah menggunakan laju pertumbuhan kabupaten yang relatif tinggi. Pada skenario optimis, kebutuhan tahunan melampaui kapasitas penerimaan rancangan moda mobil tangki (101.470 KL/tahun) sebesar 1,4% sehingga diperlukan tambahan ritase atau armada. Hasil ini sejalan dengan temuan bahwa permintaan bahan bakar memiliki komponen musiman dan lonjakan hari libur yang kuat [13]. Berbeda dengan studi peramalan permintaan Pertamax pada tingkat perusahaan yang memanfaatkan data penjualan historis [14], penelitian ini bekerja pada tingkat wilayah dengan permintaan hasil estimasi, sehingga hasilnya lebih tepat dibaca sebagai rentang perencanaan daripada angka titik.

Tabel 1. Skenario Proyeksi Kebutuhan Pertamax Tahun 2026

Skenario	Laju Pertumbuhan	Kebutuhan 2026 (KL)	Bulan Puncak/Maret (KL)	Rasio terhadap Kapasitas Mobil Tangki
Pesimis	5,62% (provinsi, seragam)	90.816,6	10.898,0	89,5%
Dasar	10,20–19,72% per kabupaten (tertimbang 16,70%)	100.341,0	12.040,9	98,9%
Optimis	19,72% (seragam)	102.940,4	12.352,8	101,4%

Ditinjau dari sisi pasokan, RU IV Cilacap berkapasitas pengolahan 348.000 barel per hari merupakan kilang terbesar di Indonesia dan menjadi sumber Pertamax Regional Jawa Bagian Tengah melalui TT Lomanis. Berdasarkan dokumen OT Januari 2026, alokasi penyaluran Pertamax TT Lomanis mencapai 108.804,2 KL/bulan atau 1.305.650,4 KL/tahun. Kebutuhan FT Purbalingga pada skenario dasar setara 7,69% dari alokasi tersebut (7,88% pada skenario optimis), sehingga pasokan regional mencukupi (Tabel 2). FT Maos, yang menerima Pertamax dari TT Lomanis, ditetapkan sebagai titik muat penerimaan FT Purbalingga karena merupakan terminal eksisting terdekat.

Tabel 2. Neraca Pasokan dan Kebutuhan FT Purbalingga

Parameter	Nilai
Alokasi penyaluran Pertamax TT Lomanis (OT Januari 2026 × 12)	1.305.650,4 KL/tahun
Proyeksi kebutuhan FT Purbalingga 2026 (skenario dasar)	100.341,0 KL/tahun
Rasio kebutuhan terhadap alokasi	7,69%
Sisa alokasi	1.205.309,4 KL (92,31%)

B. Penentuan Lokasi Optimal *Fuel Terminal* Purbalingga

Perhitungan CoG menggunakan 21 SPBU klaster inti dengan bobot kapasitas mobil tangki sesuai kelas jalan, yaitu 19 SPBU berbobot 24 KL dan 2 SPBU berbobot 16 KL. Rekapitulasi data menghasilkan $\Sigma w_i = 488$, $\Sigma(Y_i \times w_i) = -3.602{,}3751$, dan $\Sigma(X_i \times w_i) = 53.382{,}2075$. Substitusi nilai tersebut ke dalam Pers. (1) dan (2) menghasilkan:

$$\bar{Y} = -3.602{,}3751 / 488 = -7{,}381916 \quad (8)$$

$$\bar{X} = 53.382{,}2075 / 488 = 109{,}389769 \quad (9)$$

Titik pusat gravitasi pada -7,381916 (lintang) dan 109,389769 (bujur) tervalidasi konsisten menggunakan Microsoft Excel maupun POM-QM. Berdasarkan *buffer analysis* terhadap titik CoG, teridentifikasi tiga kandidat wilayah, yaitu Ajibarang, Karanganyar, dan Purbalingga. Lokasi FT ditetapkan di wilayah Purbalingga pada koordinat -7,383276; 109,398409, sekitar 0,96 km dari titik CoG. Pergeseran ini dilakukan untuk menempatkan FT pada lahan terbuka seluas ±12,07 hektare yang memenuhi kriteria topografi, risiko bencana, dan tata ruang (Subbab C).

Tabel 3 membandingkan kinerja jarak lokasi terpilih dengan titik CoG, dua kandidat alternatif, dan kondisi eksisting. Kandidat dan terminal eksisting direpresentasikan oleh titik pusat kecamatan atau kota masing-masing, sedangkan kondisi eksisting diasumsikan setiap SPBU dipasok dari terminal terdekat antara FT Maos dan FT Tegal. Lokasi terpilih menghasilkan jarak tempuh rata-rata tertimbang 21,0 km, sedangkan titik CoG teoretis hanya 4,1% lebih rendah. Kandidat Karanganyar 12,0% lebih jauh, sedangkan Ajibarang lebih dari dua kali lipat karena berada di tepi barat wilayah layanan. Dibandingkan kondisi eksisting (45,7 km), FT Purbalingga memperpendek jarak tempuh rata-rata tertimbang sekitar 54% dan mengurangi beban angkut ±2,47 juta KL-km per tahun, setara ±206 ribu km perjalanan pergi-pulang mobil tangki 24 KL. Angka ini mencakup distribusi FT–SPBU; angkutan pasokan dari FT Maos ke FT Purbalingga belum diperhitungkan, sehingga penghematan biaya angkut total sistem perlu dikaji lebih lanjut. Penetapan lokasi ini konsisten dengan prinsip problem Weber [2], [3] dan dengan studi CoG yang menunjukkan penurunan total jarak dan biaya distribusi [12].

Tabel 3. Perbandingan Kinerja Jarak Lokasi Terpilih dan Lokasi Pembanding

Lokasi	Jarak Rata-rata Tertimbang (km)	SPBU ≤30 km	Jarak Maksimum (km)	Beban Angkut (juta KL-km/tahun)	Selisih Beban terhadap Lokasi Terpilih
FT Purbalingga (terpilih)	21,0	40	40,6	2,11	–
Titik CoG	20,2	42	40,6	2,03	−4,1%
Karanganyar	23,6	25	52,0	2,37	+12,0%
Ajibarang	43,8	15	85,6	4,39	+107,9%
Eksisting (FT Maos/FT Tegal)	45,7	17	81,5	4,58	+117,1%

Catatan: bobot jarak adalah kebutuhan 2026 skenario dasar; jarak diestimasi dari jarak garis lurus × faktor kelokan 1,39. Untuk lokasi terpilih, jarak jalan hasil analisis rute QGIS memberikan rata-rata tertimbang yang sama (21,0 km) dengan jarak maksimum 50,1 km.

C. Analisis Kesesuaian Lahan dan Cakupan Layanan

Validasi *coverage radius* menunjukkan seluruh 56 SPBU berada dalam radius garis lurus 29,2 km dari lokasi terpilih, sehingga seluruhnya tercakup dalam radius pelayanan utama 30 km. Berdasarkan jarak tempuh jalan, 40 SPBU (71%) berjarak ≤30 km, 55 SPBU berjarak ≤50 km, dan satu SPBU di Kebumen berjarak 50,1 km atau tepat pada batas radius maksimum. Hasil *buffer analysis* membagi wilayah distribusi menjadi tiga zona utama, yaitu FT Tegal pada

wilayah utara, FT Maos pada wilayah selatan, dan FT Purbalingga pada wilayah tengah dengan konsentrasi SPBU tertinggi, sehingga strategis sebagai pusat distribusi untuk mengurangi ketergantungan pasokan dari FT lain yang lebih jauh. Pendekatan berbasis GIS ini konsisten dengan kajian kesesuaian lokasi fasilitas BBM pada studi-studi sejenis [7]–[11].

Studi kelayakan wilayah menunjukkan lokasi calon FT berada pada zona elevasi rendah berdasarkan *Digital Elevation Model* (DEM), yang menurunkan beban kerja kendaraan tangki serta mendukung potensi integrasi infrastruktur pipa suplai pada masa mendatang. Berdasarkan data InaRISK, lokasi berada pada zona bahaya banjir rendah hingga sedang serta risiko tanah longsor yang sangat rendah, sehingga dinyatakan layak dengan syarat mitigasi hidrologi sebagai fokus utama. Dari aspek tata ruang berdasarkan data ATR/BPN, lahan seluas ±12,07 hektare yang saat ini berupa lahan terbuka/pertanian berada pada zona yang berpotensi untuk fungsi terbangun, dengan kebutuhan ruang operasional diperkirakan ±68.000 m² sehingga masih tersedia cadangan lahan ±52.000 m² untuk zona penyangga dan pengembangan kapasitas jangka panjang. Kesesuaian lahan dan tata ruang ini mendukung temuan bahwa perencanaan lokasi fasilitas perlu mempertimbangkan aspek regulasi tata ruang di samping efisiensi jarak dan biaya [17].

D. Analisis Moda Transportasi Penerimaan

Moda penerimaan dibandingkan untuk ruas FT Maos–FT Purbalingga. Asumsi arus kas disajikan pada Tabel 4, sedangkan hasil kelayakan dan biaya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 4. Asumsi Analisis Finansial Moda Penerimaan

Parameter	Mobil Tangki	Pipa Baja
Horizon analisis	20 tahun	20 tahun
CAPEX	Rp63,13 miliar	Rp1.005,63 miliar
OPEX tahun ke-1 (eskalasi 4%/tahun)	Rp24,52 miliar	Rp9,29 miliar
Volume penerimaan	101.470 KL/tahun	101.470 KL/tahun
Margin (harga jual Rp11.691,51/L − HPP Rp10.500/L)	Rp1.191,51/L	Rp1.191,51/L
Pendapatan tahun ke-1 (eskalasi 7,12%/tahun)	Rp120,90 miliar	Rp120,90 miliar
Penggantian aset	Rp63,13 miliar pada tahun ke-10	–
Penyusutan	Garis lurus 20 tahun	Garis lurus 20 tahun
Pajak penghasilan / MARR	22% / 11%	22% / 11%

Tabel 5. Hasil Kelayakan dan Biaya Moda Mobil Tangki dan Pipa Baja

Parameter	Mobil Tangki	Pipa Baja
NPV (20 tahun, MARR 11%)	Rp958,72 miliar	Rp244,59 miliar
IRR	128,0%	13,8%
Profitability Index	16,2	1,24
Payback Period	0,8 tahun	8,1 tahun
Nilai kini biaya (CAPEX + nilai kini OPEX)	Rp340,40 miliar	Rp1.102,24 miliar
Biaya penerimaan terlevelisasi (LCOT)	Rp421/L	Rp1.364/L

Kedua moda menghasilkan NPV positif dan IRR di atas MARR. Nilai IRR mobil tangki yang sangat tinggi (128,0%) perlu dibaca sesuai cakupan analisis: pendapatan kedua moda adalah margin penjualan BBM FT yang sama besar (±Rp120,90 miliar pada tahun pertama), sedangkan investasi yang diperhitungkan hanya aset moda penerimaan. Karena CAPEX mobil tangki relatif kecil, arus kas tahun pertama sudah melampaui investasi awal sehingga IRR menjadi sangat tinggi dan *payback period* kurang dari satu tahun. Dengan demikian, IRR tersebut merupakan imbal hasil investasi moda, bukan imbal hasil proyek FT secara keseluruhan yang juga mencakup lahan, tangki timbun, dan fasilitas terminal. Karena pendapatan kedua moda identik, pembanding yang lebih tepat adalah biaya: nilai kini biaya moda mobil tangki Rp340,40 miliar atau Rp421/L, kurang dari sepertiga moda pipa yang mencapai Rp1.102,24 miliar atau Rp1.364/L.

Tabel 6 menunjukkan bahwa moda mobil tangki tetap layak pada seluruh kasus sensitivitas. Sebaliknya, moda pipa sangat sensitif terhadap pendapatan: NPV pipa mencapai titik impas ketika margin turun ±19,8% dan menjadi negatif bila pendapatan tidak dieskalasi. Kenaikan BI-Rate menjadi 5,75% pada Juli–Agustus 2026 [18] setara MARR ±12% dengan metode yang sama, dan pada kondisi tersebut NPV pipa turun menjadi Rp146,68 miliar, sedangkan NPV mobil tangki tetap Rp876,66 miliar.

Tabel 6. Sensitivitas NPV dan IRR terhadap Perubahan Asumsi

Kasus	NPV Mobil Tangki (Rp miliar)	IRR Mobil Tangki	NPV Pipa Baja (Rp miliar)	IRR Pipa Baja
Dasar	958,72	128,0%	244,59	13,8%
Margin harga −20%	711,22	98,3%	−2,91	11,0%
Margin harga +20%	1.206,22	157,7%	492,09	16,3%
Volume −9,5% (skenario pesimis)	841,26	113,9%	127,13	12,5%
Tanpa eskalasi pendapatan	472,21	119,1%	−241,92	7,1%
OPEX +20%	918,93	122,1%	229,52	13,6%
MARR 12%	876,66	128,0%	146,68	13,8%
MARR 13%	804,09	128,0%	59,90	13,8%

Secara teknis, moda pipa baja direncanakan menghubungkan FT Maos dengan FT Purbalingga sepanjang ±52,35 km dengan elevasi 51,41–293,5 m dan kelandaian maksimum ±9,4%, menggunakan pipa baja karbon API 5L Grade X42 berdiameter 10 inci, sambungan las mengacu API 1104, lapisan 3LPE, serta proteksi katodik. Dari aspek keselamatan, pipa menghilangkan paparan risiko lalu lintas dan bongkar-muat berulang pada moda mobil tangki, tetapi memerlukan pengendalian korosi, pemantauan kebocoran, dan pengelolaan jalur pipa yang melintasi permukiman serta lahan pertanian; pada moda mobil tangki, kinerja keselamatan sangat dipengaruhi iklim keselamatan operator [19]. Dari aspek keandalan, pipa memberikan aliran kontinu yang tidak terpengaruh kemacetan, sedangkan mobil tangki lebih fleksibel menghadapi gangguan tetapi kapasitas penerimaannya (±278 KL/hari) hanya setara rata-rata kebutuhan harian, sehingga kebutuhan bulan puncak (±388 KL/hari) harus dipenuhi dari stok tangki timbun berkapasitas kerja ±21.220 KL pada kondisi puncak. Dari aspek keberlanjutan, pipa umumnya menghasilkan emisi operasional per KL yang lebih rendah dan mengurangi lalu lintas kendaraan berat, tetapi investasinya hanya kompetitif pada volume besar. Dengan asumsi biaya mobil tangki bertambah sebanding volume dan biaya pipa relatif tetap, LCOT pipa baru

menyamai mobil tangki pada volume ±329 ribu KL/tahun atau ±3,3 kali proyeksi 2026. Temuan ini sejalan dengan kajian rantai pasok hilir yang menekankan peran perencanaan multimoda [6] dan sensitivitas keputusan lokasi terminal terhadap biaya konstruksi pipa [5].

Berdasarkan biaya, sensitivitas, dan fleksibilitasnya, moda mobil tangki dipilih sebagai moda penerimaan FT Purbalingga untuk tahap awal operasional. Moda pipa baja tetap layak secara teknis dan dapat disiapkan sebagai opsi strategis jangka panjang apabila volume distribusi meningkat signifikan atau FT Purbalingga dikembangkan menjadi terminal regional.

E. Analisis Risiko

Beberapa risiko dapat mengubah hasil perencanaan. Pertama, risiko kebijakan harga BBM: margin Pertamax dipengaruhi kebijakan harga, dan Tabel 6 menunjukkan bahwa penurunan margin ±20% sudah membuat moda pipa tidak layak. Kedua, penetrasi kendaraan listrik terus didorong kebijakan pemerintah meskipun masih menghadapi kendala harga dan infrastruktur pengisian [20]; dalam jangka panjang hal ini dapat menurunkan laju pertumbuhan permintaan bensin sehingga skenario pesimis perlu dijadikan batas bawah perencanaan kapasitas. Ketiga, perubahan pola konsumsi, misalnya perpindahan konsumen antara Pertalite dan Pertamax akibat perubahan harga relatif atau pembatasan BBM bersubsidi, dapat menggeser permintaan dengan cepat sehingga proyeksi perlu diperbarui setiap tahun dengan data penyaluran aktual. Keempat, risiko pembangunan lahan: lahan terpilih berupa lahan terbuka/pertanian sehingga memerlukan pengadaan tanah, penyesuaian peruntukan, dan mitigasi banjir; keterlambatan pada tahap ini lebih berdampak pada moda pipa yang juga memerlukan jalur sepanjang ±52 km. Kelima, kenaikan suku bunga acuan pada 2026 meningkatkan MARR dan menekan NPV pipa (Tabel 6). Secara keseluruhan, risiko-risiko tersebut lebih menekan alternatif berinvestasi besar dan berjangka panjang, sehingga memperkuat pilihan moda mobil tangki yang modular untuk tahap awal.

4. SIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan rancangan lokasi FT Purbalingga beserta cakupan layanannya melalui integrasi metode CoG, *buffer analysis* dan *coverage radius* berbasis GIS, proyeksi permintaan berbasis faktor pertumbuhan eksogen dan indeks musiman, serta analisis kelayakan finansial. Lokasi FT ditetapkan pada koordinat -7,383276; 109,398409 (±0,96 km dari titik CoG) dengan luas lahan ±12,07 hektare. Seluruh 56 SPBU berada dalam radius garis lurus 30 km, dan jarak tempuh rata-rata tertimbang ke SPBU 21,0 km atau sekitar 54% lebih pendek dibandingkan pasokan langsung dari terminal eksisting, serta lebih efisien daripada kandidat Karanganyar dan Ajibarang. Kebutuhan Pertamax wilayah layanan tahun 2026 diproyeksikan 100.341 KL (rentang skenario 90.817–102.940 KL) dengan puncak pada bulan Maret dan Desember, dan dapat dipenuhi oleh alokasi pasokan regional dari RU IV Cilacap. Moda mobil tangki merupakan pilihan paling sesuai untuk tahap awal karena biaya penerimaan terlevelisasinya (Rp421/L) kurang dari sepertiga moda pipa (Rp1.364/L) dan tetap layak pada seluruh kasus sensitivitas, sedangkan moda pipa baru kompetitif apabila volume meningkat sekitar 3,3 kali lipat. Keterbatasan penelitian ini terletak pada penggunaan permintaan SPBU hasil estimasi, bobot CoG berbasis kelas jalan, dan belum diperhitungkannya angkutan pasokan FT Maos–FT Purbalingga dalam perbandingan jarak. Penelitian lanjutan disarankan menggunakan data penyaluran aktual per SPBU untuk estimasi model SARIMAX beserta validasi *out-of-sample*, pembobotan CoG berbasis volume, serta kajian pengadaan lahan dan HSSE yang lebih rinci.

5. DAFTAR PUSTAKA

[1] Presiden Republik Indonesia, *Peraturan Presiden Nomor 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional*, Perpres No. 22 Tahun 2017, Mar. 2017.

[2] A. Weber, *Theory of the Location of Industries*, C. J. Friedrich, Trans. Chicago: University of Chicago Press, 1929.

[3] S. H. Owen and M. S. Daskin, "Strategic facility location: A review," *European Journal of Operational Research*, vol. 111, no. 3, pp. 423–447, Dec. 1998.

[4] C. Lima, S. Relvas, and A. P. F. D. Barbosa-Póvoa, "Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions," *Computers & Chemical Engineering*, vol. 92, pp. 78–92, 2016.

[5] F. Qudsi, R. T. Cahyono, and N. F. Sa'idah, "Modeling and optimization of location selection of fuel terminal considering vessels and pipeline operations," dalam *Proceedings of the 4th International Conference on Informatics, Technology and Engineering 2023 (InCITE 2023)*, Atlantis Highlights in Engineering, vol. 21, 2023, pp. 223–234, doi: 10.2991/978-94-6463-288-0_20.

[6] Y. Kazemi and J. Szmerekovsky, "Modeling downstream petroleum supply chain: The importance of multi-mode transportation to strategic planning," *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, vol. 83, pp. 111–125, 2015.

[7] A. J. Dakhil, "Distributing and evaluating the locations of petrol stations in Diwaniyah, using geographical information systems," *International Journal of Intelligent Systems and Applications in Engineering*, vol. 11, no. 5s, pp. 428–441, 2023.

[8] V. A. Maharani, M. Ramadhini, M. Nurhayati, M. A. E. Rahadianto, and E. L. Isnaini, "Fuel stations location suitability analysis in Bandar Lampung using geographic information system," *Jurnal Inotera*, vol. 8, no. 2, 2023, doi: 10.31572/inotera.vol8.iss2.2023.id276.

[9] H. F. Suhandri and N. F. Nozlan, "Analysis of public facility (petrol pump station) localization by using geographic information system (GIS). Case study: Ayer Hitam–Batu Pahat, Johor," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 1205, no. 1, Art. no. 012071, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1205/1/012071.

[10] N. L. P. Suciptawati, I. P. G. P. Dipa, and N. G. M. Pradantya Putra, "Analisis pola sebaran SPBU di Kota Denpasar," *Sepren*, vol. 5, no. 1, 2023, doi: 10.36655/sepren.v5i01.1224.

[11] B. A. H. Bedewy and M. H. Abdulameer, "Evaluating and improving the spatial distribution using GIS to avoid environmental risks and achieve safety for petrol stations in the Nile District Center in Mahaweel/Iraq," *International Journal of Safety and Security Engineering*, vol. 13, no. 3, pp. 433–444, Jul. 2023, doi: 10.18280/ijsse.130306.

[12] T. Rully and D. C. Aldenia, "Penggunaan metode center of gravity dalam penentuan lokasi gudang terhadap meminimkan biaya transportasi pada PT Elangperdana Tyre Industry," *JIMFE (Jurnal Ilmiah Manajemen Fakultas Ekonomi)*, vol. 6, no. 1, pp. 64–69, 2018.

[13] P. Więcek and D. Kubek, "The impact time series selected characteristics on the fuel demand forecasting effectiveness based on autoregressive models and Markov chains," *Energies*, vol. 17, no. 16, Art. no. 4163, Aug. 2024, doi: 10.3390/en17164163.

[14] M. Z. Taufikurrahman, R. Arifianti, and R. M. A. Hakim, "Analisis peramalan permintaan bensin Pertamax menggunakan metode time-series forecast pada PT Zindan Utama Jaya pada tahun 2024," *Jurnal Lentera Bisnis*, vol. 13, no. 3, pp. 1653–1666, 2024.

[15] E. L. Hardi, B. Witjaksana, and A. Patriadi, "Feasibility study of investment development of a clean water supply system for increasing water source discharge," *The Spirit of Society Journal*, vol. 7, no. 2, Aug. 2024, doi: 10.29138/scj.v7i2.2837.

[16] CNN Indonesia, "Cegat dampak global, BI tahan BI Rate di level 4,75% per Maret 2026," CNN Indonesia. https://www.cnnindonesia.com/ekonomi/20260317140636-78-1339029/cegat-dampak-global-bi-tahan-bi-rate-di-level-475-per-maret-2026. Diakses: 1 Okt. 2026.

[17] Y. Rahmawati, D. Despa, and A. Purba, "Evaluasi perwujudan program rencana tata ruang wilayah Kota Tangerang Selatan," *Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP)*, vol. 3, no. 2, 2023, doi: 10.23960/snip.v3i2.493.

[18] Kontan, "BI Rate tetap berada di level 5,75% pada Agustus 2026," Pusat Data Kontan. https://pusatdata.kontan.co.id/infografik/266/BI-Rate-Tetap-Berada-di-Level-575-pada-Agustus-2026. Diakses: 1 Okt. 2026.

[19] F. Lestari, R. Modjo, A. Wibowo, and R. Y. Sunindijo, "Influence of safety climate on safety performance in gas stations in Indonesia," *Safety*, vol. 9, no. 3, Art. no. 44, 2023, doi: 10.3390/safety9030044.

[20] D. F. Hakam and S. Jumayla, "Electric vehicle adoption in Indonesia: Lesson learned from developed and developing countries," *Sustainable Futures*, vol. 8, Art. no. 100348, Dec. 2024.

Daftar Simbol

$\bar{Y}$	=	Koordinat lintang (*latitude*) pusat gravitasi, derajat desimal
$\bar{X}$	=	Koordinat bujur (*longitude*) pusat gravitasi, derajat desimal
Y_i, X_i	=	Koordinat lintang dan bujur SPBU ke-i, derajat desimal
w_i	=	Bobot CoG: kapasitas mobil tangki sesuai kelas jalan akses SPBU ke-i, KL
$\bar{d}$	=	Jarak tempuh rata-rata tertimbang permintaan, km
d_i	=	Jarak tempuh dari lokasi FT ke SPBU ke-i, km
$D_{i,t}$	=	Permintaan Pertamax SPBU ke-i pada tahun t, KL
$D_{i,m}$	=	Permintaan Pertamax SPBU ke-i pada bulan m tahun 2026, KL
g_k	=	Laju pertumbuhan kendaraan bermotor kabupaten k, %/tahun
$V_{k,t}$	=	Jumlah kendaraan bermotor kabupaten k pada tahun t, unit
n	=	Jumlah tahun pengamatan (n = 3)
s_m	=	Indeks musiman bulan m ($\Sigma s_m = 1$)
LCOT	=	Biaya penerimaan terlevelisasi, Rp/KL (dikonversi ke Rp/L)
CAPEX	=	Investasi awal moda, Rp
$OPEX_t$	=	Biaya operasional tahun ke-t, Rp
Q	=	Volume penerimaan tahunan, KL
r	=	MARR, %/tahun
T	=	Horizon analisis, tahun
Σ	=	Notasi penjumlahan