

Agent-Based Modeling untuk Anomali Toleransi Harga Energi dan Gaya Hidup dalam Strategi Operasional

Fajar Anzari¹, Hendra Setyo Haryadi², Diah Andianingsari³, Adhi Dharma Suriyanto⁴, Setyadi Tri Yoga⁵, Anggun Yuli Asih⁶

¹Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sains Indonesia, Jawa Barat, Indonesia
e-mail: ¹fajar.anzari@lecturer.sains.ac.id,

^{2,3,4}Program Studi Teknik Industri, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia
e-mail: ²hendra.hyy@bsi.ac.id, ³diah.dhn@bsi.ac.id

^{4,5}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia
e-mail: ⁴adhi.ais@bsi.ac.id, ⁵setyadi.seg@bsi.ac.id

⁶Program Studi Informatika, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia
e-mail: ⁶anggoenzi@gmail.com

Diterima	Direvisi	Disetujui
20-06-2026	01-07-2026	22-07-2026

Abstrak - Toleransi harga yang tidak seimbang melahirkan penyimpangan dalam pola konsumsi. Studi ini menganalisis anomali tersebut menggunakan metode *Agent-Based Modeling* (ABM) hibrida yang dikembangkan pada platform Mesa dengan bahasa pemrograman Python serta mengintegrasikan agen berbasis *Large Language Models* (LLM). Model ini divalidasi melalui uji akurasi prediksi untuk menjamin keandalan hasil simulasi dalam mencerminkan perilaku konsumen nyata menggunakan data empiris dari 100 subjek. Analisis distribusi data mengonfirmasi perbedaan yang mencolok pada ambang batas toleransi kritis, di mana rata-rata toleransi kenaikan harga kopi mencapai 30,24%, berbanding terbalik dengan bahan bakar minyak (BBM) yang hanya 11,44%. Hasil eksperimen sistem menunjukkan penolakan terhadap implementasi gamifikasi harga BBM oleh 55,0% dari populasi karena fungsinya sebagai barang esensial. Model ABM memproyeksikan peningkatan drastis dalam penolakan ekstrem terhadap BBM ketika eskalasi harga menembus ambang psikologis sebesar 15%. Untuk mengatasi anomali perilaku tersebut, diajukan strategi operasional yang mencakup mekanisme subsidi silang dengan margin asimetris, fokus gamifikasi pada nilai tambah pengalaman, serta penyesuaian harga mikro di bawah 11%. Penerapan strategi ini bertujuan menekan gelombang protes psikologis dan menjaga kestabilan profit sektor energi.

Kata Kunci: *Agent-Based Modeling*, Toleransi Harga, Strategi Operasional

Abstract - Unbalanced price tolerance gives birth to deviations in consumption patterns. This study analyzed the anomaly using a hybrid *Agent-Based Modeling* (ABM) method developed on the Mesa platform with the Python programming language and integrating *Large Language Models* (LLM)-based agents. The model was validated through predictive accuracy tests to guarantee the reliability of the simulation results in reflecting real consumer behavior using empirical data from 100 subjects. The analysis of the distribution of data confirms a striking difference in the critical tolerance threshold, where the average tolerance of coffee price increases reaches 30.24%, inversely proportional to fuel oil (BBM), which is only 11.44%. The results of the system experiment showed rejection of the implementation of fuel price gamification by 55.0% of the population because of its function as an essential item. The ABM model projects a drastic increase in extreme rejection of fuel when price escalation breaks the psychological threshold of 15%. To overcome these behavioral anomalies, an operational strategy was proposed that included a cross-subsidy mechanism with an asymmetric margin, a gamification focus on experience added value, and micro price adjustments below 11%. The implementation of this strategy aims to suppress the wave of psychological protests and maintain the stability of the energy sector's profits.

Kata Kunci: *Agent-Based Modeling*, Price Tolerance, Operational Strategy

PENDAHULUAN

Ketidakpastian dalam tingkah laku konsumen, yang dipengaruhi oleh batasan rasionalitas pengambilan keputusan, menciptakan kompleksitas dalam sistem

perdagangan ritel kontemporer (Tsiatsios et al., 2023). Struktur persaingan di antara entitas pasar dipengaruhi oleh reaksi konsumen terhadap pergerakan harga dalam sebuah ekosistem adaptif yang kompleks (Deng, 2023). Fenomena perilaku yang mencolok adalah toleransi



harga yang tidak simetris, di mana produk gaya hidup memiliki ketidakpekaan harga yang kuat, kontras dengan reaktivitas tinggi pada kebutuhan energi pokok (Tsiatsios et al., 2023). Dengan demikian, perencanaan strategi harga dinamis perlu merancang model yang mempertimbangkan tidak hanya biaya operasional, tetapi juga faktor psikologis yang memengaruhi utilitas konsumen (Cornacchione et al., 2023). Perkiraan elastisitas harga permintaan yang lazim menggunakan analisis regresi ekonometrik dinilai memiliki keterbatasan akibat ketergantungan yang tinggi pada data historis yang tidak dinamis (Vidal-Lamolla et al., 2024).

Penelitian sebelumnya telah berhasil mengukur elastisitas permintaan air dengan metode ABMS (Vidal-Lamolla et al., 2024) serta memodelkan kompetisi harga ritel secara evolusioner dalam sistem berjenjang. Namun demikian, literatur yang ada belum merinci simulasi yang secara khusus memanfaatkan fungsi self-adaptive untuk menguji bagaimana sistem merespons terhadap perubahan harga yang dipicu oleh loyalitas digital (Lopes & Casais, 2026). Belum pula ada perbandingan sistematis yang dilakukan terhadap anomali kurva permintaan non-linear pada produk bergaya hidup yang memiliki fleksibilitas harga premium lebih tinggi (Zhang, 2025). Selain itu, model-model komputasional yang ada sebelumnya cenderung mengabaikan pengaruh tren makroekonomi jangka panjang dan faktor-faktor kebijakan fiskal yang rumit terhadap perilaku agen (Li et al., 2024). Ditambah lagi, strategi operasional yang diterapkan saat ini belum memasukkan penalaran internal agen generatif dan efek difusi opini sosial (*word-of-mouth*), yang penting untuk membentuk sentimen harga digital (Chu et al., 2025; Rachman, 2025).

Menjawab kesenjangan dalam literatur penelitian, kajian ini menguji coba bagaimana pendekatan pemodelan komputasi yang bersifat hibrida dapat mereplikasi interaksi agen dengan keterbatasan kognitif, yaitu melalui heuristik dan aturan praktis untuk menentukan ambang batas penolakan pasar secara presisi (Tsiatsios et al., 2023). Selain itu, penelitian ini juga mengeksplorasi efektivitas intervensi digital, termasuk unsur gamifikasi seperti rencana digital, serta mekanisme subsidi silang, dalam meredakan dampak volatilitas harga dan meningkatkan keterlibatan pengguna di platform perdagangan (Fattras et al., 2022; Kunkel et al., 2021).

Dinamika toleransi harga dianalisis dalam studi ini dengan menggunakan model Agent-Based, di mana penetapan harga yang responsif terhadap permintaan (Jiang & Ai, 2017) diterapkan untuk menangkap ketidaksesuaian perilaku dari teori ekonomi standar. Tujuan sentral penelitian ini adalah untuk mengevaluasi ketahanan operasional dalam industri ritel terhadap berbagai kejutan ekonomi dan untuk menyusun pendekatan operasional yang mengakomodasi elastisitas harga yang berbeda guna memastikan profitabilitas perusahaan di era digitalisasi (Fattras et al., 2022). Simulasi ini juga berfungsi untuk menyajikan analisis visual yang

terorganisir sebagai landasan bagi pemangku kepentingan dalam merumuskan keputusan strategis (Pigorev, 2026).

Aspek inovatif dari riset ini terletak pada pengadopsian sebuah metodologi pemodelan komputasi yang bersifat hibrida, yang secara spesifik mengintegrasikan agen-agen yang ditenagai oleh *Large Language Models* (LLM). Dengan menggunakan LLM, penelitian ini berupaya menghasilkan perwujudan perilaku yang menunjukkan kemandirian yang lebih besar dan responsivitas yang lebih baik terhadap perubahan lingkungan (Xie, 2025). Melalui hasil simulasi yang mendalam, studi ini berkontribusi pada penentuan titik-titik krusial dari sudut pandang psikologis. Ditemukan bahwa rata-rata kapasitas individu untuk mentoleransi kenaikan harga BBM sangat terbatas, hanya mencapai sekitar 11,44%, yang berbanding terbalik dengan toleransi terhadap kenaikan harga kopi yang jauh lebih tinggi, yakni 30,24%. Lebih lanjut, sebagai wujud kontribusi aplikatif, penelitian ini mengusulkan berbagai taktik operasional. Taktik-taktik ini mencakup penerapan sistem subsidi silang yang mengelola margin secara asimetris (Cornacchione et al., 2023; Zhang, 2025), integrasi prinsip-prinsip gamifikasi untuk menambah nilai yang dirasakan oleh konsumen (Aydin, 2022; Lindqvist & Ph, 2026), serta penerapan stratifikasi harga mikro secara progresif. Pendekatan penyesuaian harga ini bertujuan untuk memodulasi dorongan psikologis konsumen saat mereka mengambil keputusan pembelian di lingkungan pasar yang selalu berubah (Selvanathan et al., 2024; Zhang, 2025).

METODE PENELITIAN

Pengembangan sistem adaptif kompleks untuk penelitian ini melibatkan penerapan metode Agent-Based Modeling (ABM) hibrida, yang mengintegrasikan agen-agen yang didukung oleh *Large Language Models* (LLM). Tujuannya adalah menciptakan simulasi perilaku yang lebih mandiri. Platform Mesa dengan bahasa Python dipilih sebagai fondasi teknologi untuk mengelola kompleksitas data industri dan meningkatkan efisiensi pemrosesan algoritma generatif (Pigorev, 2026). Inovasi metodologis ini terletak pada pemanfaatan LLM sebagai inti pemikiran agen otonom, merepresentasikan proses penalaran internal yang sensitif terhadap kondisi pasar. Hal ini memungkinkan penghindaran ketergantungan pada batasan ekonometrik yang kaku (Chu et al., 2025). Melalui integrasi ini, dinamika pasar makro dan fluktuasi harga muncul secara inheren dari pola interaksi antaragen yang terus belajar dan beradaptasi dalam kerangka jaringan sosial digital (Feltrin et al., 2023).

Simulasi interaksi agen otonom telah dilakukan dalam suatu lingkungan virtual. Di dalam lingkungan ini, setiap entitas yang berpartisipasi telah diberikan atribut-atribut yang bersifat khas, yang berasal dari data empiris yang berhasil dikumpulkan dari seratus subjek penelitian. Desain dari struktur agen-agen tersebut secara khusus mencakup kapasitas kognitif yang terbatas, penentuan ambang batas toleransi harga, adanya kecenderungan promosi,

penerapan logika akuntansi mental (mental accounting), dan juga pola distribusi motivasi.

Keterbatasan kapasitas kognitif mendorong agen untuk beroperasi dengan prinsip rasionalitas terbatas, di mana proses pengambilan keputusan mereka lebih banyak dipengaruhi oleh heuristik dan aturan praktis (rules of thumb) ketimbang kalkulasi ekonomi yang sempurna (Tsiatsios et al., 2023). Parameter toleransi harga, yang ditentukan secara spesifik untuk setiap komoditas, menunjukkan perbedaan yang mencolok: rata-rata ambang batas toleransi untuk Bahan Bakar Minyak (BBM) adalah 11,44% dengan pola perilaku konsumen yang seragam, sementara untuk kopi, angka tersebut mencapai 30,24%, yang mencerminkan aspek gaya hidup yang lebih beragam. Dalam hal kecenderungan terhadap promosi, setiap agen memiliki tingkat sensitivitas yang bervariasi terhadap strategi pemasaran digital, dengan rata-rata pengaruh promosi sebesar 3,75 pada skala 1-5 (Data Primer Penelitian, 2026). Logika akuntansi mental diterapkan sebagai kendala internal dalam pengambilan keputusan agen untuk mengeksplorasi sejauh mana aplikasi pembayaran dapat mengurangi persepsi negatif terhadap pengeluaran ("*pain of paying*") yang berpotensi memengaruhi keputusan pembelian (Ma et al., 2024). Selain itu, distribusi motivasi individual dikorelasikan dengan distribusi nilai ekstrem untuk memodelkan pilihan diskrit konsumen secara akurat dalam situasi pasar yang tidak stabil (Mubaricky et al., 2026).

Pelaksanaan prosedur simulasi didasarkan pada panduan tindakan yang sistematis, sebuah strategi yang digunakan guna memelihara konsistensi model secara berkelanjutan (Fatras et al., 2022). Proses kerja simulasi ini selanjutnya diuraikan ke dalam tiga fase utama yang menjadi inti pelaksanaannya, yaitu input, proses, dan output. Sebagai titik awal analisis, dimasukkan statistik deskriptif dari data mentah yang dikumpulkan dari 100 responden. Data ini mencakup rincian pengeluaran dan identifikasi penyebaran outliers. Informasi tersebut kemudian dijadikan sebagai basis parameter untuk mengembangkan model yang ditujukan guna menyempurnakan kapabilitas teknologi penetapan harga dinamis, merujuk pada penelitian (Cornacchione et al., 2023).

Evaluasi keputusan yang dibuat oleh agen dilakukan dengan menggunakan model utilitas transaksi, sebuah metode yang krusial untuk menentukan sejauh mana laba psikologis dapat tercapai, terutama jika dibandingkan dengan harga referensi yang berlaku (Tsiatsios et al., 2023). Pada saat yang bersamaan, dalam tahapan ini, LLM memiliki kapabilitas untuk memproses secara dinamis sentimen harga digital serta berbagai bentuk opini sosial yang disampaikan secara lisan (*word-of-mouth*). Pemrosesan data yang dinamis ini esensial dalam membentuk dan mengarahkan perilaku agen ketika mereka berada pada proses pemilihan suatu layanan (Chu et al., 2025; Rachman, 2025).

Dalam tahapan menghasilkan luaran, data mentah simulasi akan dianalisis menggunakan

perangkat analitik visual otonom. Perangkat ini memiliki kemampuan untuk menyajikan visualisasi secara otomatis dan menganalisis data dalam bentuk grafis yang sistematis. Keluaran dari proses ini berfungsi sebagai landasan pendukung bagi para pemangku kepentingan dalam menyusun strategi dan membuat keputusan (Pigorev, 2026).

Keabsahan dan konsistensi model integritas ilmiah dalam rancangan penelitian ini telah ditegaskan melalui penyusunan kerangka pemodelan yang terstruktur dengan baik, di mana beragam variabel eksperimental telah diperhitungkan secara mendalam (Feltrin et al., 2023). Untuk memvalidasi simulasi, model diuji kemampuannya dalam memprediksi data di luar set pelatihan (*out-of-sample predictive power testing*), guna membuktikan relevansinya dalam merepresentasikan realitas operasional pasar ritel masa kini (Zhang, 2025). Analisis elastisitas jangka pendek yang dihasilkan dari proses pemodelan ini selanjutnya dimanfaatkan untuk menginformasikan desain strategi operasional, yang meliputi penerapan sistem subsidi silang margin yang tidak proporsional dan manuver penyesuaian harga dalam skala mikro (Selvanathan et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menguraikan temuan mendalam dari simulasi berbasis agen terkait anomali toleransi harga komoditas energi vital dan barang gaya hidup. Hasil simulasi ini diintegrasikan dengan analisis data empiris untuk merumuskan strategi operasional baru. Wawasan yang didapat dianalisis secara multidimensi guna menjelaskan perilaku konsumen rasionalitas terbatas yang membentuk ambang batas penolakan pasar. Model pencegahan berbasis data komputasi ini menawarkan inovasi strategis bagi manajemen ritel dalam mengelola ketidakpastian ekonomi masa depan.

Perilaku konsumen dalam merespons ketidakstabilan harga minyak bumi dan kopi telah direkam melalui data kuantitatif yang dihimpun dari partisipasi 100 responden. Tabel 1 menjadi sumber rangkuman dari parameter-parameter fundamental yang krusial untuk dimasukkan ke dalam kerangka pemodelan simulasi Agent-Based. Tabel tersebut menyajikan secara spesifik informasi mengenai sebaran tingkat toleransi konsumen terhadap harga dan perspektif konsumen mengenai sejauh mana promosi memengaruhi keputusan mereka.

Tabel 1. Ringkasan Statistik Parameter Kunci Simulasi

Statistik Deskriptif	Toleransi BBM (%)	Toleransi Kopi (%)	Pengaruh Promo (Skala 1-5)
<i>Mean</i>	11,44	30,24	3,75
<i>Std. Deviation</i>	6,54	16,98	0,92
<i>Minimum</i>	4,00	17,50	3,00

Statistik Deskriptif	Toleransi BBM (%)	Toleransi Kopi (%)	Pengaruh Promo (Skala 1-5)
Maximum	25,00	60,00	5,00

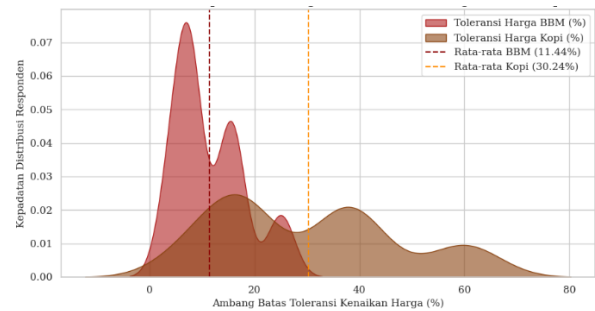
Sumber: Data Primer Penelitian (2026)

Tabel 1 memperlihatkan adanya kesenjangan karakteristik yang signifikan antara kedua jenis komoditas tersebut. Rata-rata toleransi terhadap Bahan Bakar Minyak (BBM) tercatat sebesar 11,44% dengan standar deviasi 6,54%, menunjukkan pola perilaku konsumen yang seragam akibat kebutuhan energi primer yang mendesak. Sebaliknya, kopi menunjukkan rata-rata toleransi 30,24% dengan standar deviasi 16,98%, mengindikasikan persebaran preferensi yang lebih luas, di mana tingkat loyalitas atau kesenangan hedonis konsumen sangat bervariasi. Pengaruh promosi yang mencapai rata-rata 3,75% menyiratkan bahwa strategi pemasaran promosi memiliki potensi besar untuk mereduksi penolakan terhadap harga, terutama untuk produk yang lebih peka terhadap fluktuasi harga. Data statistik ini menjadi landasan empiris vital dalam menentukan parameter agen dengan rasionalitas terbatas dalam model simulasi, guna menganalisis variasi perilaku untuk mengidentifikasi titik krusial penolakan pasar.

1. Analisis Deskriptif dan Anomali Toleransi Harga

Data yang telah berhasil dihimpun melalui analisis mengindikasikan adanya jurang psikologis yang signifikan dalam cara konsumen mempersepsikan nilai dari berbagai macam produk. Perbedaan fundamental ini terjelma dalam pemisahan yang kaku antara pemenuhan kebutuhan paling mendasar yang bersifat fungsional dan pengeluaran untuk barang-barang yang merepresentasikan gaya hidup. Untuk kategori komoditas energi primer, contohnya bahan bakar minyak (BBM), konsumen menetapkan ambang batas yang sangat rendah untuk kenaikan harga yang dapat mereka terima. Hal ini didasari oleh kesadaran bahwa energi memainkan peran sentral yang tidak tergantikan dalam menjaga kelancaran aktivitas mobilitas dan ekonomi sehari-hari. Berbeda halnya dengan kopi, di mana konsumen menunjukkan tingkat toleransi yang jauh lebih tinggi terhadap kenaikan harga, dengan fleksibilitas yang cukup besar. Hal ini mengimplikasikan bahwa penentuan harga jual kopi tidak lagi hanya berakar pada biaya produksinya, tetapi lebih berfokus pada bagaimana produk tersebut dapat menghasilkan pengalaman emosional yang positif dan kenikmatan bagi konsumen, sehingga mereka lebih cenderung menerima perubahan harga. Fenomena ini menegaskan bahwa dalam ekosistem pasar ritel modern, motivasi pembelian konsumen tidak sepenuhnya didorong oleh pertimbangan ekonomi yang ketat. Sebaliknya, faktor penentu perilaku konsumen lebih banyak dipengaruhi oleh kerangka

mental atau "*mental accounting*," di mana setiap alokasi dana memiliki persepsi sensitivitas harga yang sudah terinternalisasi melalui pengaruh sosial dan budaya.



Gambar 1. Kurva Kepadatan Ambang Batas Inelastisitas Harga (BBM vs Kopi)

Visualisasi pada Gambar 1, menggunakan estimasi kepadatan kernel, menyajikan distribusi probabilitas terkait batas toleransi kenaikan harga yang dapat diterima oleh 100 responden untuk komoditas bahan bakar minyak (BBM) dan kopi. Sumbu *horizontal grafis* memuat *persentase* kenaikan harga yang dapat ditoleransi oleh konsumen, sementara sumbu vertikal menampilkan kepadatan probabilitas responden pada rentang toleransi tertentu. Nilai rata-rata toleransi harga untuk BBM, yang teridentifikasi oleh garis vertikal putus-putus merah tua, berada pada angka 11,44%. Sementara itu, rata-rata toleransi harga untuk kopi ditunjukkan oleh garis putus-putus oranye pada angka 30,24%. Penempatan garis rata-rata BBM di sisi kiri grafik menunjukkan bahwa sebagian besar konsumen sangat memperketat penerimaan mereka terhadap fluktuasi harga komoditas energi pokok. Sebaliknya, posisi garis rata-rata kopi yang bergeser ke kanan secara visual memperkuat pandangan bahwa konsumen cenderung mengizinkan margin kenaikan harga yang lebih signifikan untuk produk-produk yang berkaitan dengan gaya hidup.

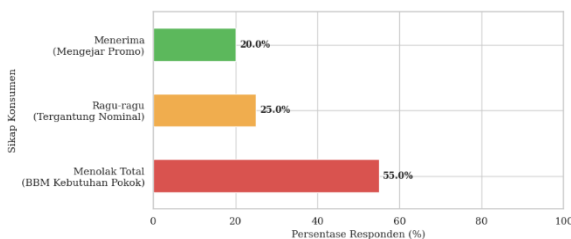
Dari kurva distribusi bahan bakar minyak (BBM) yang sangat berpuncak pada rentang 5% hingga 15%, terlihat adanya kesepakatan yang sangat solid di kalangan responden mengenai ambang batas toleransi harga energi. Persepsi dan tindakan yang kaku ini mencerminkan pandangan konsumen bahwa BBM adalah kebutuhan primer tanpa pengganti yang setara, sehingga kenaikan harga di atas rata-rata 11,44% diperkirakan akan menimbulkan penolakan yang kuat. Sementara itu, kurva distribusi konsumsi kopi, yang cenderung lebih datar dan puncaknya tersebar, secara implisit menunjukkan perbedaan signifikan dalam penilaian konsumen terhadap produk yang bersifat gaya hidup ini. Rentang distribusi kopi yang luas, melebihi 60%, menegaskan bahwa mayoritas responden tidak lagi mengevaluasi kopi berdasarkan pertimbangan ekonomis produksi, melainkan lebih kepada penciptaan nilai pengalaman hedonis yang membuat mereka lebih toleran terhadap fluktuasi harga.

Pada sumbu vertikal grafik disajikan nilai kepadatan probabilitas, dengan titik tertinggi kurva bahan bakar minyak pada sekitar 0,075 mengindikasikan konsentrasi responden yang paling

tinggi pada ambang toleransi itu. Riset ini memfokuskan perhatian analitis utamanya pada rentang di bawah 15%, yaitu area di mana kurva BBM menunjukkan penurunan signifikan pasca melampaui nilai rerata 11,44%. Penurunan kurva yang dramatis di area ini secara kuantitatif memperkuat asumsi bahwa potensi konsumen untuk melakukan "penolakan total" terhadap produk atau layanan akan meningkat secara eksponensial setelah melewati ambang psikologis yang ditentukan. Interpretasi visual dari data ini secara konseptual sejalan dengan teori akuntansi mental, yang mengemukakan bahwa konsumen cenderung menetapkan standar penilaian yang lebih ketat untuk pengeluaran terkait energi dibandingkan dengan pengeluaran untuk kebutuhan gaya hidup yang lebih dipengaruhi oleh pertimbangan emosional dan penilaian subjektif.

2. Evaluasi Simulasi *Agent-Based* dan Intervensi Gamifikasi

Melalui simulasi utilitas stokastik, reaksi pasar terhadap peningkatan harga komoditas energi esensial diproyeksikan. Analisis ini mengungkapkan bahwa pengenalan tarif digital berujung pada penolakan massal dari mayoritas publik (55,00%), yang melihatnya sebagai ancaman terhadap pemenuhan kebutuhan dasar. Penolakan yang bersifat protektif ini dipicu oleh keprihatinan terhadap anggaran keluarga dan berpotensi merusak hubungan pelanggan jika diterapkan secara memaksa. Di sisi lain, segmen pasar yang kecil menunjukkan minat pada inisiatif promosi, membuka peluang bagi strategi digitalisasi yang menitikberatkan pada penawaran nilai, bukan sekadar manipulasi harga.



Gambar 2. Respon Eksperimen Gamifikasi Sistem Harga di SPBU

Hasil visualisasi data pada Gambar 2 memperlihatkan respons konsumen terhadap

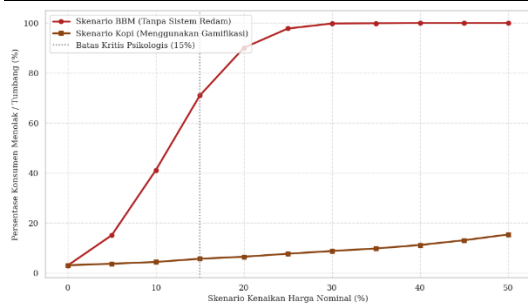
implementasi gamifikasi pada harga BBM di SPBU. Kategori "Menolak Total" mendominasi sebesar 55,0%, mengindikasikan penolakan kuat terhadap permainan harga pada komoditas pokok, yang menimbulkan hambatan psikologis. Konsumen beranggapan BBM adalah hak fundamental dengan harga stabil, sehingga gamifikasi dipandang sebagai upaya manipulatif yang mengganggu pengelolaan keuangan rumah tangga. Esensi BBM sebagai kebutuhan vital tidak memungkinkan untuk diadopsi ke dalam mekanisme permainan, mengingat konsumen menganggapnya sebagai biaya tetap yang esensial dan tidak seharusnya diganggu oleh elemen digital.

Keberadaan 25,0% konsumen dalam kategori "Ragu-ragu (Tergantung Nominal)" mengindikasikan kesediaan mereka untuk mempertimbangkan skema harga dinamis, namun sangat bergantung pada imbalan moneter. Keraguan dalam pengambilan keputusan mereka berasal dari kalkulasi untung-rugi yang belum pasti; partisipasi hanya akan terjadi apabila insentif gamifikasi dianggap mampu mengimbangi kendala teknis atau potensi kenaikan harga. Fenomena ini sejalan dengan konsep rasionalitas terbatas, di mana konsumen bergulat antara peluang keuntungan finansial dari promo dan kecemasan terhadap fluktuasi harga yang berisiko.

Konsumen yang "Menerima (Mengejar Promo)" mencapai 20,0% dan merupakan segmen paling fleksibel serta sangat terfokus pada keuntungan ekonomi seketika. Hal ini disebabkan oleh efektivitas mekanisme penghargaan dalam menggeser fokus konsumen dari kenaikan harga pokok ke profit jangka pendek yang ditawarkan aplikasi. Elemen gamifikasi terbukti ampuh dalam mendorong keterlibatan segmen ini, karena memenuhi dorongan psikologis mereka untuk meraih promo, sekaligus menyamarkan kerumitan fluktuasi harga. Kesimpulannya, analisis gabungan ketiga angka menyiratkan bahwa pasar ritel energi secara umum masih menganggap gamifikasi harga sebagai ancaman. Jalan keluarnya adalah transformasi perusahaan ke strategi yang lebih berorientasi pada nilai tambah, transparansi yang lebih tinggi, dan tidak merugikan harga pokok.

3. Proyeksi Kritis dan Formulasi Strategi Operasional

Berdasarkan simulasi yang telah dijalankan, teramati secara jelas adanya ambang batas psikologis krusial berkaitan dengan kenaikan harga bahan bakar minyak (BBM). Ketika ambang batas ini dilampaui, akan terjadi penurunan drastis dan eksponensial dalam volume pelanggan yang bertahan. Fenomena kritis ini secara bersamaan menegaskan betapa mendesaknya untuk melakukan evaluasi ulang terhadap metode operasional yang ada, agar tidak lagi terpaku pada kebijakan penetapan harga yang monoton dan tidak fleksibel. Sebagai sebuah langkah inovatif yang strategis, diajukan proposal untuk mengimplementasikan suatu kerangka kerja subsidi silang yang mengintegrasikan penerapan margin yang tidak simetris. Pendekatan ini melibatkan pembebanan sebagian margin keuntungan kepada produk-produk yang memiliki tingkat sensitivitas lebih rendah terhadap fluktuasi harga, seraya mengurangi beban margin pada produk-produk yang sangat rentan terhadap perubahan harga tersebut.



Gambar 3. Proyeksi ABM dengan Laju Penolakan Konsumen Berdasarkan Eskalasi Harga

Analisis skenario tanpa mitigasi untuk bahan bakar minyak (BBM) menunjukkan keberatan konsumen yang tinggi (70%) ketika harga naik 15%. Hal ini menandakan harga BBM telah melewati batas sensitivitas, yang membuat kenaikan harga yang berkelanjutan membebani konsumen. Kenaikan 15% tersebut menyebabkan pelanggan berkurang drastis, karena energi dianggap sebagai pengeluaran tetap yang memberatkan anggaran rumah tangga. Sebaliknya, skenario kopi dengan gamifikasi hanya menimbulkan keberatan 6% terhadap kenaikan harga yang sama. Ini membuktikan bahwa gamifikasi efektif meredam persepsi negatif terhadap kenaikan harga melalui insentif terukur.

Kondisi pasar yang terjadi pada produk pokok seperti BBM menunjukkan indikasi kegagalan total manakala terjadi penolakan sebesar 100% akibat kenaikan harga 30%, yang berujung pada terhentinya seluruh transaksi. Angka ini merupakan produk dari sebuah skenario simulasi yang dijalankan tanpa mempertimbangkan strategi mitigasi, dan didasarkan pada ambang batas toleransi tertinggi yang dapat diterima oleh responden berdasarkan data primer yang diperoleh. Analisis data primer mengindikasikan bahwa batas toleransi maksimal konsumen terhadap kenaikan harga BBM hanya berada pada rentang 25,00%. Mengingat tidak ada responden yang teridentifikasi mampu menerima kenaikan harga lebih dari 25%, simulasi yang menggunakan pendekatan ABM memproyeksikan bahwa lonjakan harga hingga 30% yang melewati batas psikologis terendah akan menghasilkan penolakan total atau kegagalan pasar yang komprehensif, di mana tidak ada transaksi yang terjadi. Fenomena ini diperkuat oleh fakta bahwa konsumen memandang BBM sebagai komoditas primer yang mutlak dibutuhkan dan tidak memiliki alternatif, sehingga respons mereka terhadap kenaikan harga yang melewati batas toleransi menjadi sangat dramatis dan berkembang secara eksponensial.

Dibandingkan dengan produk gaya hidup seperti kopi, lonjakan harga 50% ternyata hanya berujung pada penolakan 15%. Data ini berasal dari simulasi yang menggabungkan intervensi gamifikasi, memanfaatkan fleksibilitas psikologis yang melekat pada produk gaya hidup. Produk kopi menunjukkan toleransi yang jauh lebih tinggi terhadap kenaikan harga, dengan nilai rata-rata 30,24% dan batas maksimal 60,00%. Tingkat penolakan 15% ketika harga naik 50% adalah bukti keberhasilan intervensi gamifikasi, contohnya melalui elemen seperti lencana

digital. Strategi gamifikasi ini bekerja dengan cara memanfaatkan parameter pengaruh promosi (rata-rata 3,75) untuk menggeser perhatian konsumen dari harga dasar kepada nilai pengalaman yang lebih kaya. Mengingat kenaikan 50% masih berada di bawah batas empiris maksimum yang dapat diterima oleh konsumen kopi (60%) dan diperkuat oleh dorongan gamifikasi yang meminimalkan persepsi negatif, proyeksi simulasi menunjukkan bahwa 85% konsumen akan tetap mempertahankan pola pembelian mereka, hanya menyisakan 15% yang menolak, meskipun terdapat kenaikan harga yang signifikan.

Angka-angka yang dihasilkan bukan sekadar nilai kuantitatif semata, tetapi merupakan luaran dari proses analisis melalui pengujian tekanan (stress test) yang dilakukan dalam kerangka model komputasi. Analisis ini dirancang untuk mengungkap ambang batas di mana mekanisme harga suatu sistem dapat mengalami kegagalan atau sebaliknya, mampu menunjukkan ketahanan yang kuat, yang secara fundamental dipengaruhi oleh pola perilaku psikologis konsumen sebagaimana terekam dalam data primer. Bukti empiris ini menegaskan efektivitas gamifikasi dalam menjaga kelenturan kurva permintaan, yang berkontribusi pada retensi 85% pelanggan. Keberhasilan ini didorong oleh kemampuannya untuk mempertahankan persepsi nilai guna produk pada level yang sangat positif, meskipun dihadapkan pada kenaikan harga yang substansial.

Kesenjangan signifikan antara kedua kurva menunjukkan bahwa kegagalan sistemik akibat penetapan harga yang keliru dapat dihindari dengan mengubah strategi operasional. Penolakan 100% pada skenario BBM disebabkan oleh ketiadaan mitigasi, sementara keberhasilan skenario kopi menegaskan bahwa gamifikasi mendorong agen rasional terbatas untuk tetap setia pada ekosistem perusahaan. Dampaknya bagi manajemen operasional adalah keharusan menerapkan subsidi silang margin asimetris; margin BBM dikorbankan untuk mempertahankan pelanggan, lalu diimbangi oleh margin produk kopi yang lebih tinggi dan rendahnya tingkat penolakan. Hal ini mengindikasikan bahwa ketahanan bisnis jangka panjang dibangun melalui manajemen risiko perilaku konsumen yang diukur dengan pemodelan komputasi.

Mengacu pada evaluasi komprehensif atas data simulasi dan temuan lapangan yang telah diuraikan, berikut ini kami hadirkan proposisi strategi operasional. Tujuannya adalah untuk memastikan resiliensi bisnis ritel energi di tengah kondisi pasar yang penuh ketidakpastian, khususnya terkait volatilitas harga. Seluruh rancangan strategi ini dibangun atas dasar prinsip-prinsip yang kokoh, demi memelihara stabilitas margin keuntungan melalui penerapan manajemen perilaku konsumen yang terukur secara kuantitatif.

Strategi subsidi silang margin asimetris dirancang sebagai inovasi operasional krusial untuk menjaga stabilitas keuntungan. Melalui optimasi harga yang presisi, strategi ini dapat secara instan menghasilkan peningkatan finansial yang berarti dalam kondisi pasar yang bergejolak. Margin keuntungan untuk komoditas vital seperti BBM ditekan serendah

mungkin sesuai batas pasar untuk menjaga persepsi harga yang adil, karena penetapan harga yang fleksibel sangat memengaruhi penilaian konsumen terhadap nilai layanan (Cornacchione et al., 2023). Pengorbanan margin tersebut secara sistematis dikompensasi melalui penetapan margin yang lebih tinggi pada produk konsumtif seperti kopi yang memiliki elastisitas harga rendah. Fenomena ini dijelaskan oleh kurva permintaan nonlinier yang menunjukkan toleransi harga premium pada barang-barang spesifik (Zhang, 2025). Pendekatan ini berakar pada pemahaman perilaku konsumen; kenaikan margin minor pada produk yang relevan secara psikologis bagi pelanggan tidak akan menimbulkan reaksi penolakan yang kuat, mengingat fungsi mekanisme kognitif dalam mengurangi "keberatan" saat berbelanja (Ma et al., 2024). Keberhasilan strategi ini bergantung pada integrasi data yang akurat mengenai volume penjualan dan kinerja produk, sehingga portofolio dapat dikelola sebagai satu kesatuan ekosistem untuk mencapai pendapatan yang optimal melalui kombinasi data pasar, utilitas, dan permintaan (Cornacchione et al., 2023; Fatras et al., 2022).

Gamifikasi diadaptasi sebagai layanan bernilai tambah untuk menstabilkan sentimen pasar dan meningkatkan retensi pengguna tanpa mengubah harga dasar. Dengan mengintegrasikan elemen permainan, fokusnya bergeser dari transaksi ke apresiasi pengalaman dan imbalan, karena konsumen lebih menghargai nilai pengalaman daripada penghematan finansial. Pergeseran ini menjadikan konsumen sebagai mitra berharga melalui nilai simbolis seperti rasa memiliki komunitas dan pengakuan status. Strategi ini krusial membangun hambatan keluar, karena personalisasi historis aplikasi menjadi investasi psikologis yang membuat perpindahan pengguna ke pesaing menjadi mahal. Infrastruktur digital yang kuat diperlukan untuk mempertahankan keterikatan pengguna dengan konten dinamis dan diagnostik, memastikan pertukaran nilai yang transparan. Pendekatan ini pada akhirnya memperkuat loyalitas jangka panjang melalui pengalaman pengguna yang memuaskan dan menyenangkan (Aydin, 2022; Kaushik & Vijay, 2023; Li et al., 2024; Lindqvist & Ph, 2026; Yang & Lee, 2025).

Penyesuaian harga mikro yang dilakukan secara progresif menjadi kunci manajemen volatilitas, yang dirancang untuk mengendalikan motivasi psikologis konsumen dalam pengambilan keputusan di pasar yang dinamis (Zhang, 2025). Melalui pemetaan komputasional, setiap perubahan harga dianalisis dampaknya terhadap perilaku agen dan bagaimana pola pembelajaran konsumen memengaruhi kompetisi harga ritel (Deng, 2023). Pendekatan ini memfasilitasi penyesuaian yang tidak memicu gejolak dengan mempertimbangkan waktu yang diperlukan konsumen untuk mencapai keseimbangan konsumsi baru, dipengaruhi oleh kebiasaan dan biaya penyesuaian jangka pendek (Selvanathan et al., 2024). Selain itu, strategi deteksi dini anomali data kualitas memungkinkan

pengelolaan guncangan sentimen pasar secara preventif, menghindari siklus manajemen yang reaktif (Mubaricky et al., 2026). Komunikasi nilai yang konsisten melalui interaksi digital yang terindividualisasi bertujuan untuk membangun loyalitas di ekosistem *e-commerce* yang kompetitif (Mendiratta & Rajput, 2026). Model otonom yang mampu mensimulasikan partisipasi konsumen dalam skala besar secara transparan menjadikan hasil simulasi sebagai dasar pengambilan keputusan operasional yang akuntabel (Fatras et al., 2022). Strategi harga yang dipersonalisasi, didukung oleh kemampuan mengelola ekspektasi harga melalui teknik mikro, efektif dalam meningkatkan retensi pelanggan (Capponi et al., 2021).

KESIMPULAN

Melalui pemanfaatan simulasi berbasis agen (ABM) hibrida, dinamika inelastisitas harga dan adaptasi perilaku konsumen telah berhasil digali. Hasil studi ini mengonfirmasi kesenjangan toleransi harga yang mencolok antara kebutuhan energi primer dan barang gaya hidup. Ambang batas psikologis rata-rata untuk Bahan Bakar Minyak (BBM) ditetapkan pada 11,44%, kontras dengan produk kopi yang mencapai 30,24%. Keakuratan model simulasi dibuktikan dengan pemetaan titik kritis psikologis kebijakan harga yang selaras dengan data empiris; peningkatan harga BBM sebesar 30% dilaporkan memicu kegagalan pasar total dengan tingkat penolakan 100%. Sebaliknya, pada produk gaya hidup, penerapan gamifikasi berhasil mereduksi sentimen negatif konsumen, sehingga kenaikan harga 50% hanya menghasilkan penolakan sebesar 15%.

Integrasi agen berbasis *Large Language Models* (LLM) ke dalam arsitektur Model Berbasis Agen (ABM) merupakan inovasi metodologis yang terbukti mampu menelusuri kembali nalar internal agen secara lebih independen dan adaptif terhadap kondisi pasar. Integrasi ini juga mendorong peningkatan pemahaman mengenai dampak akuntansi mental dan sentimen sosial pada keputusan konsumen. Keabsahan temuan simulasi telah dikuatkan melalui evaluasi kekuatan prediktif di luar data sampel, memperlihatkan keselarasan antara ekspektasi teoretis dengan perilaku aktual agen. Oleh karena itu, formulasi strategi operasional yang tangguh, meliputi subsidi silang margin yang asimetris dan penyesuaian harga mikro progresif, menjadi krusial untuk menjaga kesetiaan pelanggan di tengah fluktuasi pasar.

Sebagai langkah pengembangan, model simulasi ini sebaiknya dioptimalkan dengan sistem AI penentuan harga real-time, memungkinkan penyesuaian harga seketika berdasarkan respons konsumen (melalui media sosial) atau indikator makroekonomi. Disarankan pula menguji kebijakan harga di industri sejenis (telekomunikasi, transportasi digital) untuk memperluas dimensi prediktifnya. Secara keseluruhan, kajian ini meletakkan dasar bagi manajemen sistem industri yang adaptif dan humanis di pasar ritel modern.

REFERENSI

- Aydin, G. (2022). Mobile Multi-Brand Loyalty Programs: Elaborating Customer Value and Satisfaction. *International Journal of E-Business Research*, 18(1), 1–25. <https://doi.org/10.4018/IJEER.309397>
- Capponi, G., Corrocher, N., & Zirulia, L. (2021). Personalized pricing for customer retention: Theory and evidence from mobile communication Capponi. *Telecommunications Policy*.
- Chu, M., Terhorst, L., Reed, K., Ni, T., Chen, W., & Lin, R. (2025). LLM-Based Multi-Agent System for Simulating and Analyzing Marketing and Consumer Behavior. *IEEE International Conference on E-Business Engineering*.
- Cornacchione, E. B., Reginato, L., & Imoniana, J. O. (2023). administrative sciences Dynamic Pricing Models and Negotiating Agents: Developments in Management Accounting. *MDPI: Administrative Sciences*.
- Deng, G. . (2023). Dynamic price competition market for retailers in the context of consumer learning behavior and supplier competition: Machine learning-enhanced agent-based modeling and simulation. *Advances in Production Engineering & Management*, 13(4), 7–10. <https://doi.org/10.1023/A>
- Fatras, N., Ma, Z., & Jørgensen, B. N. (2022). An agent - based modelling framework for the simulation of large - scale consumer participation in electricity market ecosystems. *Energy Informatics*, 5(4), 1–31. <https://doi.org/10.1186/s42162-022-00229-0>
- Feltrin, R. J., Almeida, H. J. F., & Silveira, J. J. da. (2023). Complex network effects on price setting : an agent-based computational approach. *Artigo de Pesquisa DOI:*, 53, 7–40.
- Jiang, Z., & Ai, Q. (2017). Agent-based simulation for symmetric electricity market considering price-based demand response. *Journal of Modern Power Systems and Clean Energy*, 5(5), 810–819. <https://doi.org/10.1007/s40565-017-0270-7>
- Kaushik, H., & Vijay, A. (2023). Gamification in Mobile Apps : Assessing the Effects on Customer Engagement and Loyalty in the Retail Industry. *Journal of Information Technology and Digital World*, 5(4), 404–416.
- Kunkel, T., Lock, D., & Doyle, J. P. (2021). Gamification via mobile applications: A longitudinal examination of its impact on attitudinal loyalty and behavior toward a core service. *Psychology and Marketing*, February, 948–964. <https://doi.org/10.1002/mar.21467>
- Li, N., Gao, C., Li, M., Li, Y., & Liao, Q. (2024). EconAgent : Large Language Model-Empowered Agents for Simulating Macroeconomic Activities. *Proceedings Ofthe 62nd Annual Meeting Ofthe Association for Computational Linguistics*, 1, 15523–15536.
- Lindqvist, A. M., & Ph, D. (2026). Customer Retention in Digital Banking : The Role of Mobile App Experience and Personalization. *American Impact Review*, 1–28.
- <https://doi.org/10.66308/air.e2026023>
- Lopes, J. V., & Casais, B. (2026). Longitudinal perceptions of gamified loyalty programs (GLPs): a mix of slot machines and entertainment toys. *Journal of Research in Interactive Marketing*, June. <https://doi.org/10.1108/JRIM-10-2023-0383>
- Ma, Q., He, Y., Cheng, L., & Wang, M. (2024). Why does mobile payment promote purchases ? Revisiting the pain of paying , and understanding the implicit pleasure via selective attention. *PsyCh Journal Published by Institute of Psychology*, April, 760–779. <https://doi.org/10.1002/pchj.765>
- Mendiratta, A. D., & Rajput, N. K. (2026). Loyalty at the Crossroads : A Review of Digital Engagement Practices and Customer Retention in India ’ s urban E -Commerce Markets. *Journal of Advances and Scholarly Research In Allied Education*, 23(1), 44–55.
- Mubaricky, F., Pratama, S. A., Hidayat, M. K., Irfiani, E., & Hamidah, S. N. (2026). Transformasi Data Mutu Dengan Visual Analytics FMEA Sebagai Strategi Reduksi Cacat Pada UMKM Aksesoris. *Jurnal INSAN (Journal of Information Systems Management Innovation)*, 6(1), 21–30.
- Pigorev, D. (2026). Mesa Python platform for agent-based modelling. *Artificial Societies*, 16(3). <https://doi.org/10.18254/S207751800008176-2>
- Rachman, A. (2025). The Effectiveness of Loyalty Programs in Driving Customer Retention in Fashion Retail : A Systematic Literature Review. *International Journal Administration, Business & Organization*, 6(August), 106–113.
- Selvanathan, S., Jayasinghe, M., Selvanathan, E. A., & Rathnayaka, S. D. (2024). Dynamic modelling of consumption patterns using LA-AIDS : a comparative study of developed versus developing countries. In *Empirical Economics* (Vol. 66, Issue 1). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/s00181-023-02465-z>
- Tsiatsios, G. A., Leventides, J., Melas, E., & Poullos, C. (2023). A bounded rational agent-based model of consumer choice. *Data Science in Finance and Economics*, 3(August), 305–323.
- Vidal-Lamolla, P., Molinos-Senante, M., & Manel Poch. (2024). Understanding the Residential Water Demand Response to Price Changes: Measuring Price Elasticity with Social Simulations. *MDPI: Water*.
- Xie, Y. (2025). A Study on Dynamic Pricing of Hotels on Consumers ’ Purchase Intention Based on Prospect Theory and Regret Theory. *SHS Web of Conferences* 225, 01015 (2025), 01015.
- Yang, Q., & Lee, Y. (2025). What Drives the Digital Customer Experience and Customer Loyalty in Mobile Short-Form Video Shopping ? Evidence from Douyin (TikTok). *MDPI : Sustainability*.
- Zhang, J. (2025). Relationship between consumer behavior and price elasticity with the participation of case analysis. *Advances in Economics and Management Research*, 14, 423–430.