

Analisis Efisiensi *Picker* Gudang Menggunakan *Data Envelopment Analysis*: Studi Kasus Segmentasi Tugas Eceran dan Borongan Pada Perusahaan Fashion Ritel

Amri Yanuar¹⁾

¹⁾D4 Logistik Bisnis, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung
Email: amri@ulbi.ac.id

Abstrak

Efisiensi tenaga kerja *picker* merupakan salah satu penentu utama kinerja operasional gudang pada perusahaan ritel fashion berbasis *e-commerce*. Penelitian ini bertujuan mengukur efisiensi *picker* menggunakan *Data Envelopment Analysis* (DEA) pada studi kasus sebuah perusahaan fashion ritel di Indonesia, dengan data transaksi *picking* harian selama periode November 2025–Juli 2026 (3.381 transaksi, 17 *picker*). Berbeda dengan penelitian DEA *picker* sebelumnya yang umumnya memperlakukan seluruh *picker* sebagai unit yang homogen, penelitian ini terlebih dahulu melakukan segmentasi tugas berdasarkan rasio kuantitas per transaksi, menghasilkan dua kelompok yang secara struktural berbeda: *picker* eceran (unit tunggal per transaksi) dan *picker* borongan (puluhan hingga ratusan unit per transaksi). Unit analisis (DMU) yang digunakan adalah *picker*-hari, bukan *picker* secara agregat, untuk memperoleh jumlah observasi yang memadai (362 DMU kelompok eceran; 358 DMU kelompok borongan). Model CCR dan BCC berorientasi output diterapkan dengan input berupa jam kerja aktif dan output berupa kuantitas serta jumlah transaksi, dilengkapi analisis *scale efficiency* dan *super-efficiency* (Andersen–Petersen). Data dibersihkan terlebih dahulu dari 6,2% transaksi dengan durasi tidak wajar (>2 jam), yang diidentifikasi sebagai anomali sesi pencatatan waktu pada sistem, bukan waktu kerja aktual. Hasil menunjukkan efisiensi rata-rata BCC berkisar 0,25–0,66, dengan *scale efficiency* yang secara konsisten rendah (0,08–0,79), mengindikasikan bahwa sebagian besar inefisiensi bersumber dari skala kerja harian yang tidak konsisten, bukan dari inefisiensi teknis *picker* itu sendiri. Temuan ini memberikan implikasi manajerial berupa perlunya penjadwalan kerja yang lebih konsisten serta kerangka metodologis bagi penelitian efisiensi tenaga kerja gudang yang memperhatikan homogenitas DMU dan kualitas data transaksional.

Kata Kunci: *Data Envelopment Analysis*, Efisiensi *picker*, Gudang, Segmentasi DMU, *Super-efficiency*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan perdagangan elektronik (*e-commerce*) di Indonesia telah mendorong perusahaan ritel, termasuk sektor fashion, untuk meningkatkan kapasitas dan kecepatan pemrosesan pesanan di gudang distribusi. Salah satu aktivitas paling padat karya dalam operasional gudang adalah proses *picking*, yaitu pengambilan barang sesuai pesanan dari lokasi penyimpanan (Dong et al., 2025; Neves-Moreira & Amorim, 2024; Bisma, et al., 2023). Efisiensi *picker* secara langsung memengaruhi kecepatan pemenuhan pesanan (*order fulfillment*), biaya operasional, dan pada akhirnya kepuasan pelanggan (Andrejić & Pajić, 2026).

Data Envelopment Analysis (DEA) merupakan metode nonparametrik berbasis pemrograman linear yang banyak digunakan untuk mengukur efisiensi relatif suatu *Decision Making Unit* (DMU) tanpa memerlukan asumsi bentuk fungsi produksi tertentu

(Mergoni et al., 2025). Metode ini telah diterapkan secara luas untuk mengevaluasi efisiensi gudang dan tenaga kerja *picking*, baik di tingkat internasional (Klump & Loske dalam Dong et al., 2025) maupun pada konteks perusahaan Indonesia (Nawakasari et al., 2025; Fatmawati et al., 2023).

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian terdahulu memperlakukan seluruh *picker* sebagai kelompok DMU yang homogen, padahal salah satu asumsi fundamental DEA mensyaratkan bahwa DMU yang dibandingkan harus homogen dalam sifat operasi yang dijalankan (Mohsenirad & Triantis, 2025). Ketika asumsi ini dilanggar, skor efisiensi yang dihasilkan berisiko mencerminkan perbedaan lingkungan kerja atau jenis tugas, bukan perbedaan inefisiensi yang sesungguhnya (Soffan et al., 2025). Pada praktiknya, di banyak gudang ritel fashion terdapat dua jenis tugas *picking* yang secara struktural berbeda: *picking* eceran (pesanan retail satuan,

frekuensi tinggi) dan picking borongan (pesanan grosir/*reseller* dalam jumlah besar per transaksi), sebagaimana ditemukan pada data studi kasus penelitian ini.

Selain itu, data transaksional gudang yang bersumber dari *Warehouse Management System (WMS)* rentan terhadap anomali pencatatan, seperti sesi kerja yang tidak tertutup dengan benar sehingga durasi tercatat menjadi tidak wajar. Isu kualitas data semacam ini jarang dibahas secara eksplisit dalam literatur DEA pada konteks gudang, padahal dapat memengaruhi validitas hasil secara signifikan jika tidak ditangani (Dong et al., 2025).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengukur efisiensi *picker* pada studi kasus sebuah perusahaan fashion ritel di Indonesia menggunakan model DEA CCR dan BCC berorientasi *output*; (2) mengusulkan kerangka segmentasi tugas berdasarkan karakteristik transaksi sebagai prasyarat homogenitas DMU sebelum pemodelan DEA; (3) menggunakan unit analisis *picker*-hari untuk memperoleh jumlah observasi yang lebih memadai dibandingkan pendekatan konvensional yang menjadikan *picker* sebagai DMU tunggal; dan (4) mengidentifikasi *picker* dengan praktik terbaik (*best practice*) melalui analisis *super-efficiency*. Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada kombinasi ketiga elemen metodologis tersebut—segmentasi tugas, DMU level harian, dan penanganan anomali kualitas data—yang belum banyak diintegrasikan secara eksplisit dalam penelitian efisiensi *picker* gudang sebelumnya.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Data Envelopment Analysis (DEA)

DEA pertama kali dikembangkan sebagai metode pemrograman linear untuk mengukur efisiensi relatif sekumpulan DMU yang menggunakan beberapa input untuk menghasilkan beberapa *output* (Mergoni et al., 2025). Dua model dasar yang paling umum digunakan adalah CCR (*constant returns to scale*) dan BCC (*variable returns to scale*). Model CCR mengasumsikan bahwa perubahan *input* akan menghasilkan perubahan *output* secara proporsional, sedangkan model BCC memperbolehkan skala hasil yang bervariasi, sehingga dapat memisahkan sumber inefisiensi menjadi inefisiensi teknis murni dan inefisiensi skala (*scale efficiency*), yaitu rasio skor CCR terhadap skor BCC.

Karena model CCR/BCC standar hanya mampu menyatakan suatu DMU efisien (skor 1) tanpa dapat membedakan tingkat keunggulan di antara DMU-DMU yang efisien tersebut, model *super-efficiency Andersen–Petersen* dikembangkan dengan mengeluarkan DMU yang dievaluasi dari himpunan referensinya sendiri, sehingga DMU efisien dapat memperoleh skor lebih besar dari satu dan dapat diperingkat secara lebih rinci (Arana-Jiménez et al., 2025).

2.2 Efisiensi Picker dan Gudang

Penelitian mengenai efisiensi *order picker* menggunakan DEA maupun metode sejenis telah berkembang seiring pertumbuhan *e-commerce*. Andrejić dan Pajić (2026) menerapkan DEA untuk mengevaluasi efisiensi 56 *order picker* pada perusahaan *e-commerce*, menggunakan variabel input jumlah hari kerja, total waktu *picking*, dan jam lembur, serta variabel *output* jumlah item, tingkat kesalahan, dan jumlah item di atas norma, kemudian merancang model alokasi bonus berbasis peringkat efisiensi. Dong et al. (2025) mengkaji efisiensi sistem *picker-to-parts* dari perspektif siklus hidup pesanan dan perilaku operasional, sementara Neves-Moreira dan Amorim (2024) mengembangkan strategi *picking* dalam konteks ritel *omnichannel* untuk meminimalkan interaksi antar-pelanggan. Pada konteks Indonesia, Nawakasari et al. (2025) menerapkan model DEA VRS berorientasi *output* untuk mengevaluasi 86 unit gudang distribusi FMCG dengan variabel input durasi *picking*, kerusakan gudang, dan *deadstock*, sedangkan Fatmawati et al. (2023) mengukur efisiensi proses produksi pada perusahaan garmen menggunakan DEA dengan variabel tenaga kerja dan jam kerja.

2.3 Homogenitas DMU dan Kualitas Data

Mohsenirad dan Triantis (2025) menegaskan bahwa asumsi homogenitas DMU dalam DEA sering kali diasumsikan tanpa pengujian eksplisit, padahal heterogenitas yang tidak ditangani dapat mendistorsi interpretasi efisiensi. Soffan et al. (2025), dalam studi efisiensi kantor pelayanan pajak di Indonesia, mengatasi masalah ini dengan menerapkan klustering *machine learning* sebelum DEA untuk memastikan homogenitas DMU—pendekatan yang secara konseptual sejalan dengan segmentasi tugas eceran-borongan yang diterapkan pada penelitian ini,

meskipun penelitian ini menggunakan kriteria domain (rasio kuantitas per transaksi) alih-alih klustering algoritmik.

2.4 Perluasan Dinamis: *Malmquist Productivity Index*

Untuk mengukur perubahan efisiensi antar-periode, literatur *DEA* mengembangkan *Malmquist Productivity Index (MPI)* yang mendekomposisi perubahan produktivitas menjadi perubahan efisiensi (*catch-up*) dan perubahan teknologi (*frontier-shift*) (Shojaie et al., 2024; Shakouri & Salahi, 2024). Zhou (2024) menerapkan pendekatan *DEA-Malmquist* tiga tahap untuk mengevaluasi efisiensi inovasi 49 perusahaan logistik yang terdaftar di bursa Tiongkok selama lima tahun. Pendekatan ini relevan sebagai arah pengembangan lanjutan dari penelitian ini, mengingat data yang tersedia mencakup rentang delapan bulan yang memungkinkan analisis tren efisiensi antar-bulan.

Sebagai pembanding tambahan dari sisi domain aplikasi, Alfath dan Ambarwati (2024) serta Tian et al. (2024) masing-masing menunjukkan penerapan *DEA* pada evaluasi kinerja keuangan perusahaan makanan-minuman dan penerapan *reinforcement learning* pada optimasi *replenishment* persediaan gudang, yang menegaskan luasnya spektrum aplikasi analisis efisiensi berbasis data pada konteks ritel dan logistik.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Data dan Sumber Data

Data penelitian bersumber dari sistem manajemen gudang (*WMS*) sebuah perusahaan fashion ritel di Indonesia, berupa log transaksi *picking* selama periode 1 November 2025 hingga 3 Juli 2026, mencakup 3.381 transaksi yang dilakukan oleh 17 *picker*. Setiap catatan transaksi memuat: nama *picker*, stempel waktu transaksi, nomor transaksi, kuantitas barang yang diambil, dan durasi pengerjaan.

Tabel 1 Segmentasi kelompok tugas *picker* berdasarkan rasio kuantitas per transaksi

Kelompok	Picker	Jumlah Transaksi	Rasio Qty/Transaksi (rerata)
Eceran	Ekki, Nisa, Rahmat, Roby	2.507	3,1
Borongan	Aldi, Babang, Fahri, Faisal, Fiqri, Gilang, Ridho, Tester 1, Utek, Utek	1.612	68,6
Dikeluarkan	Irpan, Dony Maulana, Dicky Aldilla	262	39,4 (anomali/n kecil)

Sumber: Data internal perusahaan (log transaksi *WMS*), diolah, 2026

3.2 Pembersihan Data (*Data Cleaning*)

Eksplorasi awal menunjukkan bahwa 211 dari 3.381 transaksi (6,2%) memiliki durasi pengerjaan lebih dari 5 jam, termasuk beberapa yang mencapai puluhan jam. Transaksi-transaksi tersebut menyumbang sekitar 60% dari total akumulasi durasi pada data mentah, sehingga sangat memengaruhi hasil pengukuran efisiensi apabila tidak ditangani. Pola ini diinterpretasikan sebagai anomali sesi pencatatan waktu pada sistem (*picker* tidak menutup sesi kerja dengan benar), bukan waktu kerja aktual. Oleh karena itu, analisis efisiensi pada penelitian ini menggunakan transaksi dengan durasi ≤ 2 jam (mencakup 80,6% dari seluruh transaksi), dengan ambang batas ini diuji sensitivitasnya pada ambang 1 jam dan 3 jam untuk memastikan kestabilan peringkat efisiensi (lihat bagian keterbatasan).

3.3 Segmentasi Kelompok Tugas

Untuk memenuhi asumsi homogenitas *DMU*, *picker* dikelompokkan berdasarkan rasio kuantitas terhadap jumlah transaksi (qty/transaksi). *Picker* dengan rasio di bawah 10 dikategorikan sebagai kelompok eceran (pesanan retail satuan), sedangkan *picker* dengan rasio 10 ke atas dikategorikan sebagai kelompok borongan (pesanan grosir/reseller). Berdasarkan kriteria ini diperoleh kelompok eceran beranggotakan 4 *picker* (Ekki, Nisa, Rahmat, Roby) dan kelompok borongan beranggotakan 10 *picker* (Aldi, Babang, Fahri, Faisal, Fiqri, Gilang, Ridho, Tester 1, Utek, Utek). Tiga *picker* (Irpan, Dony Maulana, Dicky Aldilla) dikeluarkan dari analisis utama karena pola data yang anomali (durasi kerja sangat singkat untuk kuantitas besar) atau jumlah observasi yang terlalu sedikit untuk estimasi yang andal, dan didiskusikan secara terpisah pada bagian keterbatasan.

3.4 Definisi Unit Analisis (DMU), Input, dan Output

Alih-alih menjadikan *picker* sebagai DMU tunggal yang diagregasi sepanjang periode penelitian (yang hanya menghasilkan 17 DMU dan tidak memenuhi kaidah kecukupan sampel *DEA*), penelitian ini mendefinisikan DMU sebagai kombinasi *picker*-hari kerja, yaitu satu hari kerja seorang *picker* merupakan satu unit observasi. Pendekatan ini menghasilkan 362 DMU pada kelompok eceran dan 358 DMU pada kelompok borongan. Variabel input adalah total jam kerja aktif per hari (dihitung dari akumulasi durasi transaksi yang telah dibersihkan). Variabel *output* terdiri atas dua: (1) total kuantitas barang yang diambil per hari, dan (2) jumlah transaksi yang diselesaikan per hari.

3.5 Model Analisis

Efisiensi dihitung menggunakan model *CCR* (*constant returns to scale*) dan *BCC* (*variable returns to scale*) berorientasi *output*, mengikuti formulasi standar (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978; Banker, Charnes, & Cooper, 1984, sebagaimana dirujuk dalam Mergoni et al., 2025). *Scale efficiency* dihitung sebagai rasio skor *CCR* terhadap skor *BCC* untuk masing-masing DMU. Untuk DMU yang mencapai

skor efisiensi sempurna (=1) pada model *CCR*, dilakukan analisis *super-efficiency Andersen-Petersen* guna memperoleh peringkat yang lebih rinci di antara DMU-DMU efisien tersebut (Arana-Jiménez et al., 2025). Seluruh model diselesaikan menggunakan pemrograman linear (*linear programming*) yang diimplementasikan pada *Python* (pustaka *SciPy*, *solver HiGHS*).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Statistik Deskriptif

Data yang dianalisis mencakup 3.381 transaksi dari 17 *picker* sepanjang periode 1 November 2025–3 Juli 2026. Setelah pembersihan data (pengecualian 211 transaksi dengan durasi >2 jam), diperoleh 764 observasi *picker*-hari yang digunakan sebagai DMU, terbagi menjadi 362 DMU kelompok eceran dan 358 DMU kelompok borongan (setelah pengecualian tiga *picker* anomali).

4.2 Hasil Efisiensi CCR, BCC, dan Scale Efficiency

Tabel 2 dan Tabel 3 menyajikan skor efisiensi rata-rata untuk masing-masing *picker* pada kelompok eceran dan kelompok borongan.

Tabel 2 Skor efisiensi CCR, BCC, dan scale efficiency — kelompok eceran

Picker	CCR (rerata)	BCC (rerata)	Scale Efficiency
Rahmat	0,465	0,634	0,707
Ekki	0,087	0,495	0,170
Nisa	0,050	0,455	0,115
Roby	0,018	0,251	0,079

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026

Tabel 3 Skor efisiensi CCR, BCC, dan scale efficiency — kelompok borongan

Picker	CCR (rerata)	BCC (rerata)	Scale Efficiency
Utek	0,508	0,664	0,744
Ridho	0,440	0,592	0,724
Utex	0,422	0,569	0,713
Fiqri	0,349	0,437	0,792
Gilang	0,316	0,406	0,765
Aldi	0,307	0,458	0,645
Tester 1	0,306	0,614	0,514
Fahri	0,287	0,410	0,671
Babang	0,284	0,392	0,681
Faisal	0,227	0,376	0,607

Sumber: Hasil pengolahan data penelitian, 2026

Pada kedua kelompok, skor *BCC* secara konsisten lebih tinggi daripada skor *CCR*, dan *scale efficiency* berada pada rentang rendah hingga sedang (0,079–0,792). Temuan ini mengindikasikan bahwa sebagian besar inefisiensi yang terdeteksi pada model *CCR* bersumber dari skala kerja harian yang kecil atau tidak konsisten, dibandingkan hari-hari dengan volume tinggi yang menjadi acuan *frontier* efisiensi—bukan semata-mata dari inefisiensi teknis *picker* secara individual. Hasil ini konsisten dengan literatur yang menunjukkan bahwa pemisahan efisiensi teknis dan efisiensi skala penting untuk interpretasi kebijakan yang tepat (Mergoni et al., 2025).

4.3 Analisis Super-Efficiency

Pada kelompok eceran, hari kerja Rahmat pada 4 Mei 2026 memperoleh skor *super-efficiency* sebesar 1,655, mengindikasikan output pada hari tersebut dapat ditingkatkan hingga 65,5% sebelum kehilangan status efisiensinya—menjadikannya kandidat kuat sebagai rujukan praktik terbaik (*best practice benchmark*). Pada kelompok borongan, hari kerja Utex (11 Desember 2025) dan dua hari kerja Ridho (3 dan 24 Juni 2026) menunjukkan skor *super-efficiency* di atas 1,00 (1,038 dan masing-masing 1,018 serta 1,007), menunjukkan tingkat keunggulan yang lebih moderat dibandingkan kelompok eceran.

4.4 Implikasi Manajerial

Rendahnya *scale efficiency* pada kedua kelompok mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi *picker* kemungkinan lebih efektif dicapai melalui penjadwalan kerja yang lebih konsisten (menghindari hari kerja dengan volume sangat rendah yang tidak proporsional terhadap kapasitas *picker*), dibandingkan hanya berfokus pada pelatihan keterampilan individu. Selain itu, praktik terbaik yang teridentifikasi melalui analisis *super-efficiency* (seperti kasus Rahmat) dapat menjadi bahan investigasi lanjutan untuk mengidentifikasi kombinasi faktor operasional (jenis pesanan, waktu kerja, zona gudang) yang mendukung produktivitas tinggi.

4.5 Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, penelitian bersifat studi kasus pada satu

perusahaan, sehingga generalisasi hasil ke perusahaan atau sektor lain perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, kelompok eceran hanya beranggotakan empat *picker* (meskipun *DMU picker*-hari yang dihasilkan cukup banyak), sehingga variasi antar-individu yang dapat dibandingkan relatif terbatas. Ketiga, tiga *picker* dikeluarkan dari analisis utama karena pola data anomali; penanganan yang lebih baik terhadap kasus semacam ini (misalnya melalui verifikasi lapangan langsung ke jenis pekerjaan yang dilakukan) dapat memperkaya penelitian lanjutan. Keempat, ambang batas pembersihan data (2 jam) merupakan keputusan peneliti; meskipun uji sensitivitas pada ambang 1 dan 3 jam menunjukkan peringkat efisiensi yang relatif stabil, ambang yang berbeda tetap berpotensi menghasilkan variasi hasil. Kelima, kedua variabel output (kuantitas dan jumlah transaksi) memiliki korelasi yang cukup tinggi, yang idealnya dapat diperkaya dengan variabel output tambahan seperti tingkat akurasi pemenuhan pesanan atau kepatuhan terhadap norma kerja pada penelitian mendatang, sebagaimana dilakukan Andrejić dan Pajić (2026).

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini mengukur efisiensi *picker* gudang pada studi kasus perusahaan fashion ritel di Indonesia menggunakan *Data Envelopment Analysis*, dengan kerangka metodologis yang memperhatikan homogenitas DMU melalui segmentasi tugas eceran-borongan, penggunaan unit analisis *picker*-hari untuk kecukupan sampel, dan penanganan eksplisit terhadap anomali kualitas data transaksional. Hasil menunjukkan bahwa sebagian besar inefisiensi yang teridentifikasi bersumber dari skala kerja harian yang tidak konsisten (*scale efficiency* rendah), bukan semata-mata dari inefisiensi teknis *picker*. *Picker* dengan performa unggul teridentifikasi melalui analisis *super-efficiency* dan dapat dijadikan rujukan praktik terbaik.

Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) menerapkan *Malmquist Productivity Index* guna mengkaji perubahan efisiensi antar-bulan mengingat rentang data yang mencakup delapan bulan (Shojaie et al., 2024; Zhou, 2024); (2) memperluas cakupan penelitian ke beberapa gudang atau perusahaan untuk meningkatkan generalisasi temuan; (3) menambahkan variabel *output* terkait kualitas (tingkat akurasi, kepatuhan norma kerja) sebagaimana pendekatan Andrejić dan Pajić (2026); dan (4) mengembangkan mekanisme deteksi anomali

data *WMS* secara otomatis (misalnya menggunakan pendekatan klustering seperti Soffan et al., 2025) sebagai bagian terintegrasi dari proses pengukuran efisiensi tenaga kerja gudang.

6. REFERENSI

- Alfath, S., & Ambarwati, S. N. (2024). Analisis efisiensi kinerja perusahaan food and beverage dengan pendekatan Data Envelopment Analysis (DEA). *Journal of Policy*, 15(2), 94–99. <https://doi.org/10.20961/xd5nv910>
- Andrejić, M., & Pajić, V. (2026). An integrated hybrid model for evaluating performance and allocating incentives to order pickers in e-commerce fulfillment. *Mathematics*, 14(5), 885. <https://doi.org/10.3390/math14050885>
- Arana-Jiménez, M., Sánchez-Gil, M. C., Younesi, A., & Lozano-Ramírez, J. (2025). An enhanced hybrid interval slacks-based DEA model with super-efficiency and application. *Computational and Applied Mathematics*, 44(2), Article 76. <https://doi.org/10.1007/s40314-024-03007-8>
- Bisma, M. A., & Butarbutar, Y. K. Y. (2022). Analisis Beban Kerja Karyawan Warehouse Menggunakan Metode Work Load Analysis Pada Gudang PT Cipta Krida Bahari. *Jurnal Logistik Bisnis*, 12(2), 8–14.
- de Assis, R. F., de Paula Ferreira, W., & Ouhimmou, M. (2025). Order picking dataset from a warehouse of a footwear manufacturing company. *Data in Brief*, 61, Article 111837. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2025.111837>
- Dong, H., Huang, M., Lam, H. Y., Mo, L., Zhuang, X., & Zuo, M. (2025). Enhancing efficiency in the picker-to-parts e-commerce warehouse: A perspective based on order lifecycle and operational behavior computing. *Enterprise Information Systems*, 19(5–6), Article 2448832. <https://doi.org/10.1080/17517575.2024.2448832>
- Fatmawati, W., Marlyana, N., & Atina, A. G. (2023). Pengukuran tingkat efisiensi aktivitas proses produksi menggunakan metode Data Envelopment Analysis (DEA). *Jurnal Logistica*, 1(2), 30–35.
- Mergoni, A., Emrouznejad, A., & De Witte, K. (2025). Fifty years of data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 326(1), 389–412. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2024.12.049>
- Mohsenirad, S., & Triantis, K. (2025). Testing for heterogeneity in data envelopment analysis. *Annals of Operations Research*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s10479-024-06460-0>
- Nawakasari, N., Hanoum, S., & Salahudin, M. S. (2025). Analisis efisiensi gudang dengan menggunakan model Data Envelopment Analysis (DEA) di PT Nusa Indah. *INTECOMS: Journal of Information Technology and Computer Science*, 8(5), 1441–1450. <https://doi.org/10.31539/jpv11f92>
- Neves-Moreira, F., & Amorim, P. (2024). Learning efficient in-store picking strategies to reduce customer encounters in omnichannel retail. *International Journal of Production Economics*, 267, Article 109074.
- Shakouri, R., & Salahi, M. (2024). Malmquist–Luenberger productivity index for a two-stage structure in the presence of undesirable outputs and uncertainty. *Advances in Operations Research*, 2024, Article 6905897. <https://doi.org/10.1155/2024/6905897>
- Shojaie, S. E., Sadjadi, S. J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2024). Malmquist productivity index for two-stage network systems under data uncertainty: A real-world case study. *PLOS ONE*, 19(7), Article e0307277. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0307277>
- Soffan, S., Bramantoro, A., & Alzahrani, A. A. (2025). Combination of machine learning and data envelopment analysis to measure the efficiency of the Tax Service Office. *PeerJ Computer Science*, 11, Article e2672. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.2672>
- Tian, R., Lu, M., Wang, H., Wang, B., & Tang, Q. (2024). IACPPO: A deep reinforcement learning-based model for warehouse inventory replenishment. *Computers & Industrial Engineering*, 187, Article 109829.
- Zhou, F. (2024). Measurement of innovation efficiency in logistic enterprises: Evidence from China based on the three-stage DEA-Malmquist index model approach. *American Journal of Economics and Sociology*, 83, 331–381. <https://doi.org/10.1111/ajes.12545>