

## Efisiensi teknis dan inefisiensi perdagangan sektor pertanian kawasan Asia Tenggara

### *Technical efficiency and trade inefficiency in the agricultural sector of the Southeast Asia region*

Daffa Ibra Danendra<sup>1\*</sup>, Tanti Novianti<sup>1</sup>, Nia Kurniawati Hidayat<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pascasarjana Ilmu Ekonomi Pertanian, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

<sup>2</sup>Departemen Ekonomi Sumberdaya dan Lingkungan, Fakultas Ekonomi dan Manajemen, IPB University, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

\*Penulis korespondensi. Email: [daffadanendra@apps.ipb.ac.id](mailto:daffadanendra@apps.ipb.ac.id)

#### Keywords

technical efficiency  
trade inefficiency  
sustainable agricultural policy  
Stochastic Frontier Analysis  
agricultural trade

#### Abstract

Population growth and rising food demand place Southeast Asia's agricultural sector under increasing pressure to enhance productivity while reducing environmental pressures. Policy disparities, technological constraints, and trade liberalization may contribute to technical inefficiency and environmental pressures. This study aims to identify disparities in sustainable agricultural policies, measure the technical efficiency of the agricultural sector in Southeast Asia, and evaluate potential trade-induced inefficiency with implications for Indonesia. Unlike previous studies that generally examine technical efficiency, trade, and sustainable agricultural policy disparities separately, this study integrates these three aspects within a single regional analytical framework. A qualitative approach was employed to map agricultural policies, while technical efficiency was estimated using Stochastic Frontier Analysis with a transcendental logarithmic production function that includes emissions as one of the production variables. The results indicate that Southeast Asia's agricultural sector remains labor-intensive and operates under decreasing returns to scale (0.80). An average technical efficiency score of 0.81 suggests that agricultural output could be increased by approximately 19% through efficiency improvements, while both imports and exports significantly reduce technical inefficiency through technology transfer and competitive pressure. These findings suggest that improving agricultural performance in Southeast Asia requires synergy among technical efficiency, more efficient trade, and sustainable agricultural policies. The policy implications highlight the importance of strengthening technical efficiency, accelerating technological modernization, and leveraging trade as an instrument for sustainable agricultural productivity, particularly for Indonesia.

#### Kata kunci

efisiensi teknis  
inefisiensi perdagangan  
kebijakan pertanian  
berkelanjutan  
*Stochastic Frontier Analysis*  
perdagangan pertanian

#### Abstrak

Pertumbuhan penduduk dan peningkatan permintaan pangan menempatkan sektor pertanian kawasan Asia Tenggara pada tekanan untuk meningkatkan produktivitas sekaligus mengendalikan tekanan lingkungan. Ketimpangan kebijakan, keterbatasan teknologi, dan liberalisasi perdagangan berpotensi memicu inefisiensi teknis dan tekanan lingkungan. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi ketimpangan kebijakan pertanian berkelanjutan, mengukur efisiensi teknis sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara, serta mengevaluasi potensi inefisiensi akibat perdagangan dengan implikasi bagi Indonesia. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya mengkaji efisiensi teknis, perdagangan, dan ketimpangan kebijakan pertanian berkelanjutan secara terpisah, penelitian ini mengintegrasikan ketiga aspek tersebut dalam satu kerangka analisis kawasan. Pendekatan kualitatif digunakan untuk memetakan kebijakan pertanian, sedangkan efisiensi teknis diestimasi menggunakan *Stochastic Frontier Analysis* dengan fungsi produksi *transcendental logarithmic* yang memasukkan emisi sebagai salah satu variabel produksi. Hasil menunjukkan bahwa sektor pertanian kawasan Asia Tenggara masih bersifat padat karya dengan kondisi *decreasing returns to scale* (0,80). Rata-rata efisiensi teknis sebesar 0,81 mengindikasikan potensi peningkatan *output* sekitar 19% melalui perbaikan efisiensi, sedangkan impor dan ekspor terbukti menurunkan inefisiensi teknis melalui alih teknologi dan tekanan kompetitif. Temuan tersebut menunjukkan bahwa peningkatan kinerja sektor pertanian kawasan Asia Tenggara memerlukan sinergi antara efisiensi teknis, perdagangan yang lebih efisien, dan kebijakan pertanian yang mendukung keberlanjutan. Implikasi kebijakan menekankan penguatan efisiensi teknis, modernisasi teknologi, serta pemanfaatan perdagangan sebagai instrumen peningkatan produktivitas pertanian berkelanjutan, khususnya bagi Indonesia.

## 1. Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk global yang terus meningkat menjadi tantangan utama bagi ketahanan pangan dunia karena meningkatkan kebutuhan pangan sekaligus memperbesar tekanan terhadap sektor pertanian sebagai penyedia pangan utama dan sumber eksternalitas lingkungan (Salasa 2021; Ibnu 2024). Tantangan tersebut menjadi hal yang krusial seiring proyeksi populasi dunia yang mencapai sembilan miliar jiwa pada tahun 2050, sehingga meningkatkan tekanan terhadap sistem produksi pangan, terutama di negara berkembang yang masih menghadapi keterbatasan kapasitas ekonomi dan teknologi (Trakem dan Fan 2024; Sukmawati 2025). Kondisi ini juga menjadi perhatian penting bagi negara-negara anggota Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) yang didominasi oleh negara berkembang dengan karakteristik ketergantungan tinggi pada sektor pertanian (Rozci dan Inti 2023). Dukungan sumber daya alam, iklim tropis, dan luas wilayah menjadikan pertanian sebagai sektor strategis yang tidak hanya menopang penghidupan masyarakat, tetapi berperan penting dalam ketahanan pangan dan kontribusi produk domestik bruto (PDB) nasional di tengah tekanan global seperti perubahan iklim dan dinamika demografi (Soekapdjo dan Esther 2019; Lin et al. 2022; Rahman et al. 2024; Nga et al. 2024).

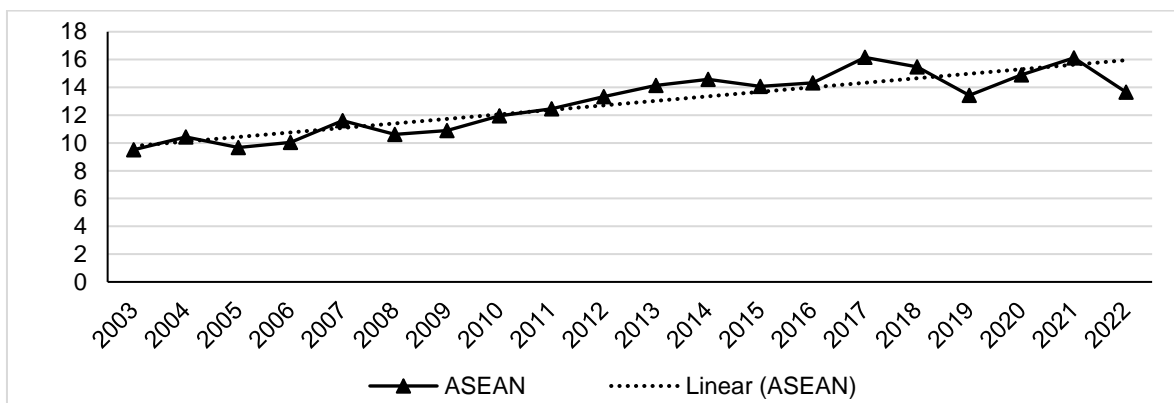
Kontribusi PDB sektor pertanian di Kamboja, Laos, Myanmar, dan Vietnam (CLMV) yang cukup tinggi berkaitan erat dengan karakteristik negara-negara tersebut yang masih berada pada tahap industrialisasi awal dan sangat bergantung pada sektor primer (Wanwiwat 2019). Besaran nilai PDB cukup bervariasi, yaitu Myanmar sebesar 22,72%, Kamboja sebesar 17,08%, Laos sebesar 16,14%, dan Vietnam sebesar 11,96%. Dengan nilai kontribusi PDB sektor pertanian kawasan Asia Tenggara tersebut, praktik pertanian yang masih dilakukan relatif tradisional disebabkan oleh keterbatasan teknologi, dominasi penduduk perdesaan, serta lemahnya pengembangan sektor hilir yang menyebabkan pertanian tetap menjadi sumber utama penghidupan masyarakat (Abidin 2021; Perbiansya dan Gustini 2022).

Selain menghadapi tuntutan peningkatan produksi pangan, sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara juga dihadapkan pada berbagai tantangan struktural yang berkaitan dengan efisiensi penggunaan sumber daya. Tantangan tersebut di antaranya adalah praktik budi daya yang sangat bergantung pada input konvensional, khususnya pupuk kimia, sebagai strategi peningkatan produktivitas (Makino dan Inthlangsee 2023). Penggunaan input tersebut tidak hanya berdampak pada peningkatan biaya produksi, tetapi juga memicu degradasi lingkungan, penurunan kualitas tanah, dan pencemaran lingkungan (Duong dan Ngo 2022). Lebih lanjut, belum optimalnya adopsi teknologi pertanian modern serta lemahnya sistem manajemen lahan dapat memperburuk ketimpangan antara potensi dan realisasi pada produktivitas lahan (Wijaya dan Nurcahyo 2022). Kondisi tersebut akan memengaruhi pasokan *output* pertanian, yang akan memberikan efek kompleks pada kuantitas produksi, penjualan, standar mutu dalam perdagangan domestik, harga dan kuantitas dalam perdagangan internasional, serta strategi keberlanjutannya dalam menjaga ketahanan pangan antarwilayah (Lee dan Jones 2023).

Berbagai penelitian telah mengkaji efisiensi sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara menggunakan pendekatan frontier maupun produktivitas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kinerja sektor pertanian antarnegara ASEAN masih sangat beragam dan dipengaruhi oleh perbedaan struktur ekonomi, kapasitas teknologi, serta dukungan kebijakan pertanian (Khan dan Ullah 2020; Trakem dan Fan 2024). Di sisi lain, studi mengenai perdagangan pertanian ASEAN umumnya berfokus pada integrasi pasar, daya saing ekspor, dan liberalisasi perdagangan regional. Namun demikian, keterkaitan antara efisiensi teknis sektor pertanian dan dinamika perdagangan masih relatif jarang dianalisis secara terintegrasi.

Permasalahan tersebut menjadi semakin kompleks karena peningkatan produktivitas pertanian sering kali diikuti oleh peningkatan tekanan terhadap lingkungan. Dalam praktiknya, penggunaan pupuk kimia yang berlebihan dapat mencerminkan inefisiensi dalam pemanfaatan input produksi. Tren ini terlihat dari peningkatan penggunaan pupuk kimia di kawasan Asia Tenggara yang terus meningkat setiap tahun dengan rata-rata kenaikan sekitar 0,21 juta ton (Gambar 1). Peningkatan tersebut tidak hanya menunjukkan rendahnya efisiensi teknis dalam sistem produksi pertanian, tetapi juga menimbulkan berbagai eksternalitas negatif terhadap lingkungan, seperti pencemaran tanah dan air serta peningkatan emisi yang berdampak pada keberlanjutan ekosistem pertanian (Bibi et al. 2021). Oleh karena itu, diperlukan kebijakan pertanian yang lebih berorientasi pada prinsip keberlanjutan, khususnya di kawasan Asia Tenggara yang sebagian besar negara anggotanya merupakan negara berkembang dengan ketergantungan tinggi pada sektor pertanian. Di satu sisi, negara-negara tersebut menghadapi tekanan untuk meningkatkan produktivitas guna memenuhi kebutuhan pangan yang terus

meningkat. Namun, di sisi lain, strategi peningkatan produksi yang bertumpu pada intensifikasi penggunaan input kimia berpotensi memperbesar tekanan ekologis dan meningkatkan emisi, sehingga menimbulkan dilema kebijakan antara pencapaian produktivitas dan keberlanjutan lingkungan dalam sistem pertanian di kawasan Asia Tenggara (Bhatti dan Fazal 2021).



Sumber: Diolah dari FAO (2025a)

**Gambar 1.** Tingkat penggunaan pupuk kimia kawasan Asia Tenggara secara agregat (juta ton), 2023–2022

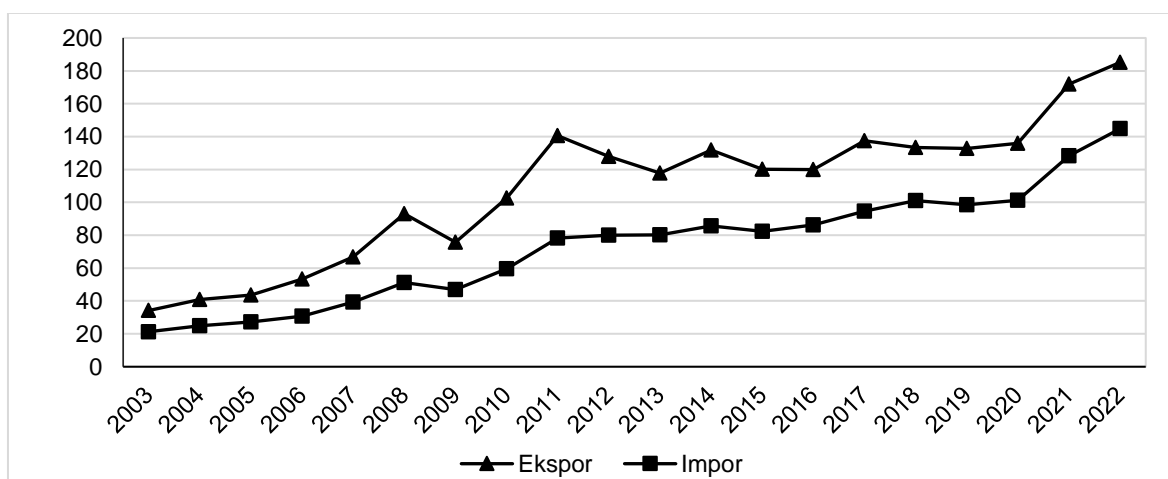
Di sisi lain, perbedaan kontribusi sektor pertanian terhadap PDB dan tenaga kerja antarnegara ASEAN menunjukkan adanya heterogenitas struktur ekonomi dan tingkat transformasi pertanian di kawasan. Indonesia menempati posisi menengah dalam kontribusi sektor pertanian terhadap PDB kawasan Asia Tenggara, dengan urutan kontribusi PDB pertanian terbesar pada tahun 2023, yaitu Myanmar (22,72%), Kamboja (17,08%), Laos (16,14%), Indonesia (12,53%), Vietnam (11,96%), Filipina (9,4%), Thailand (8,58%), Malaysia (7,79%), Brunei Darussalam (1,19%), dan Singapura (0,03%) (World Bank 2025). Hal tersebut mencerminkan peran strategis pertanian Indonesia dalam struktur ekonomi nasional, yang ditopang oleh luas wilayah, keanekaragaman hayati, dan kebutuhan pangan domestik yang besar (Utomo dan Wulandari 2024). Sebaliknya, Singapura mencatat kontribusi sektor pertanian paling rendah akibat keterbatasan lahan dan orientasi pembangunan ekonomi yang berfokus pada sektor jasa, inovasi, dan logistik, sehingga pertanian tidak menjadi prioritas utama pembangunan (Ulkhq 2024). Perbedaan kontribusi PDB sektor pertanian antarnegara di kawasan Asia Tenggara tersebut menunjukkan adanya variasi tingkat ketergantungan ekonomi terhadap sektor pertanian, yang berpotensi mencerminkan perbedaan tingkat efisiensi produksi dan kapasitas sistem pertanian di masing-masing negara (Bibi et al. 2021).

Meskipun sektor pertanian masih menjadi pilar ekonomi bagi banyak negara di kawasan Asia Tenggara, proporsi tenaga kerja pertanian menunjukkan tren menurun sejak 1990 hingga 2023 akibat industrialisasi dan urbanisasi (Rahmatullah dan A'yun 2024). Namun, Kamboja, Laos, dan Myanmar masih mempertahankan ketergantungan tinggi terhadap sektor pertanian dengan proporsi tenaga kerja di atas 50%, yang mencerminkan perbedaan tingkat transformasi struktural di kawasan Asia Tenggara. Indonesia, Thailand, dan Vietnam menunjukkan transisi struktural yang lebih seimbang, dengan kontribusi tenaga kerja pertanian berkisar antara 30% dan 32% akibat kombinasi luas lahan, peran ekspor, dan modernisasi produksi (Asadel et al. 2022; Thi 2022; Sereenonchai dan Arunrat 2022). Sebaliknya, Malaysia, Singapura, dan Brunei Darussalam memiliki kontribusi tenaga kerja pertanian yang sangat kecil karena dominasi sektor industri dan jasa, sementara tingginya proporsi tenaga kerja pertanian di negara agraris tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan kesejahteraan akibat rendahnya produktivitas dan keterbatasan akses teknologi (Lanoe et al. 2025). Kondisi tersebut menunjukkan bahwa besarnya kontribusi sektor pertanian terhadap PDB maupun penyerapan tenaga kerja belum tentu mencerminkan tingginya efisiensi pemanfaatan sumber daya, sehingga evaluasi efisiensi teknis menjadi penting untuk memahami kinerja sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara (Trakem dan Fan 2024).

Transformasi sektor pertanian kawasan Asia Tenggara memerlukan dukungan kuat dari sistem perdagangan pertanian yang berorientasi pada mutu dan efisiensi, bukan sekadar peningkatan volume ekspor. Harmonisasi standar produksi seperti ASEAN *Good Agricultural Practices* (ASEAN GAP) dengan sistem logistik, sertifikasi mutu, dan kebijakan perdagangan menjadi prasyarat penting agar produk pertanian kawasan Asia Tenggara mampu bersaing secara berkelanjutan di pasar regional dan

global (Robbani 2021). Selanjutnya, kebijakan perdagangan pertanian kawasan Asia Tenggara diatur melalui kerangka *ASEAN Free Trade Area (AFTA)*, *ASEAN Trade in Goods Agreement (ATIGA)*, dan *ASEAN Economic Community (AEC)*, yang berperan strategis dalam membentuk efisiensi perdagangan melalui penurunan hambatan tarif dan nontarif, penyederhanaan prosedur perdagangan, serta penguatan integrasi rantai nilai regional. Selain itu, penerapan standar ASEAN GAP tidak hanya berfungsi sebagai instrumen peningkatan mutu dan keamanan pangan, tetapi juga sebagai mekanisme institusional yang berpotensi menekan inefisiensi teknis dan perdagangan dengan mendorong adopsi praktik produksi yang lebih efisien, terstandar, dan berorientasi pada keberlanjutan.

Sinergi antara liberalisasi perdagangan, standardisasi produksi, dan kebijakan hilirisasi pertanian menjadi prasyarat penting dalam mendorong daya saing sektor pertanian kawasan Asia Tenggara tanpa mengorbankan efisiensi teknis maupun keberlanjutan lingkungan (Trakem dan Fan 2024; Danendra et al. 2025). Namun, peningkatan integrasi perdagangan tersebut tidak secara langsung mendukung dinamika perdagangan pertanian di kawasan Asia Tenggara yang telah berjalan secara efisien dan mampu mendukung kinerja produksi pertanian secara berkelanjutan. Pada penelitian Trakem dan Fan (2024), variabel perdagangan menunjukkan adanya inefisiensi akibat tekanan produksi *on-farm* yang berlebih, sehingga suatu negara terus memproduksi tanpa memperhatikan dampaknya. Lebih lanjut, berikut merupakan nilai perdagangan ekspor dan impor sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara selama dua dekade terakhir tersaji pada Gambar 2 berikut.



Sumber: Diolah dari FAO (2025b)

**Gambar 2.** Nilai ekspor dan impor agregat sektor pertanian kawasan Asia Tenggara (miliar USD), 2003–2022

Integrasi ekonomi ASEAN melalui AFTA, ATIGA, dan AEC masih dihadapkan pada berbagai sumber inefisiensi perdagangan intra-kawasan, yang antara lain tercermin pada ketergantungan struktural terhadap impor pangan serta potensi inefisiensi teknis akibat logistik jarak jauh dan intensifikasi input *on-farm* (Mizik 2021; Quaralia 2022; Trakem dan Fan 2024; Danendra et al. 2025; FAO 2025c). Dalam konteks tersebut, pengukuran efisiensi teknis dan identifikasi sumber inefisiensi perdagangan menjadi isu penting dalam menjawab tantangan produktivitas dan keberlanjutan sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara.

Meskipun literatur telah mengkaji efisiensi teknis sektor pertanian dan dinamika perdagangan di kawasan Asia Tenggara, sebagian besar penelitian masih membahas kedua aspek tersebut secara terpisah sehingga belum mampu menjelaskan keterkaitan antara kinerja produksi domestik dan inefisiensi perdagangan intrakawasan. Selain itu, kajian yang mengidentifikasi sumber inefisiensi perdagangan, baik yang terkait dengan efisiensi teknis, ketidaksinkronan kebijakan, maupun kesamaan struktur ekspor masih terbatas. Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang penting dan berpotensi menghasilkan pemahaman yang parsial dan implikasi kebijakan yang kurang tepat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang lebih komprehensif untuk menganalisis hubungan antara efisiensi teknis dan inefisiensi perdagangan dalam sektor pertanian kawasan Asia Tenggara.

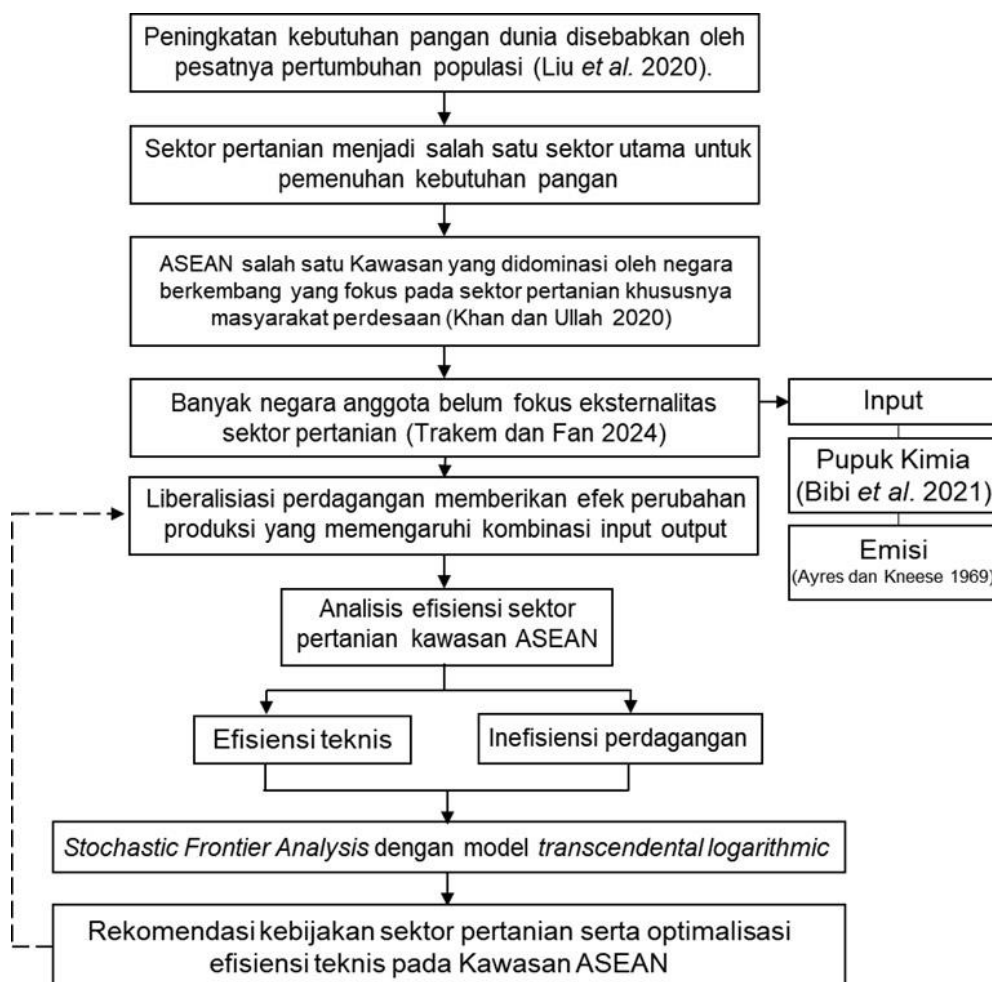
Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi ketimpangan kebijakan pertanian berkelanjutan, mengukur efisiensi teknis sektor pertanian kawasan Asia Tenggara, serta mengevaluasi potensi inefisiensi akibat perdagangan dengan implikasi bagi Indonesia. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengintegrasian analisis efisiensi teknis

sektor pertanian, inefisiensi perdagangan internasional, dan ketimpangan kebijakan pertanian berkelanjutan dalam satu kerangka analisis kawasan Asia Tenggara. Berbeda dengan penelitian terdahulu yang umumnya mengkaji aspek-aspek tersebut secara terpisah, penelitian ini menganalisis keterkaitan antara efisiensi teknis dan inefisiensi perdagangan untuk menghasilkan implikasi kebijakan yang lebih komprehensif bagi Indonesia dan kawasan ASEAN.

## 2. Metodologi

### 2.1. Kerangka pemikiran

Kerangka pemikiran penelitian yang digunakan untuk menganalisis efisiensi teknis dan inefisiensi perdagangan sektor pertanian kawasan Asia Tenggara disajikan pada Gambar 3. Hal yang melatarbelakangi penelitian ini adalah meningkatnya tekanan terhadap sektor pertanian kawasan Asia Tenggara akibat pertumbuhan populasi dan kebutuhan pangan, yang menuntut peningkatan *output* pertanian sekaligus pengendalian dampak lingkungan. Proses produksi pertanian dipandang sebagai sistem yang mengombinasikan input utama seperti tenaga kerja, lahan, modal, dan pupuk untuk menghasilkan *output*, tetapi berpotensi menimbulkan eksternalitas lingkungan berupa emisi.



Gambar 3. Kerangka pemikiran penelitian

Dalam konteks tersebut, perbedaan struktur ekonomi, tingkat teknologi, dan kapasitas kelembagaan antarnegara di kawasan Asia Tenggara kemudian menjadi faktor yang mendorong variasi dalam intensitas penggunaan input serta kinerja produksinya. Untuk menangkap heterogenitas tersebut, penelitian ini memetakan efisiensi teknis pertanian dan variabel inefisiensi perdagangan di negara-negara kawasan Asia Tenggara secara agregat, termasuk kerangka regional seperti ASEAN GAP, AFTA, dan kebijakan turunan lainnya yang mengatur standardisasi produksi, integrasi pasar, dan efisiensi rantai nilai yang tercermin dalam variabel *output*, lahan, tenaga kerja, modal, konsumsi pupuk

kimia, emisi, dan perdagangan pertanian (Bibi et al. 2021; Trakem dan Fan 2024). Selanjutnya, efisiensi teknis sektor pertanian ASEAN dianalisis menggunakan *Stochastic Frontier Analysis* (SFA), dengan ekspor bersih sebagai determinan inefisiensi yang merepresentasikan peran perdagangan. Variabel tersebut digunakan untuk menilai apakah integrasi perdagangan berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi melalui alih teknologi dan tekanan kompetitif, serta menjadi dasar perumusan rekomendasi kebijakan yang adaptif, berorientasi pada efisiensi, dan selaras dengan prinsip keberlanjutan tanpa menyamaratakan kondisi antarnegara.

## 2.2. Lingkup bahasan

Fokus penelitian adalah sektor pertanian dengan beberapa kategori dari FAO di masing-masing kawasan Asia Tenggara. Komoditas agregat tersebut adalah sereal, tanaman pangan, tanaman serat primer, pangan, buah-buahan, ternak primer, daging lokal, susu, komoditas nonpangan, tanaman penghasil minyak primer, umbi-umbian, tanaman gula primer, serta sayuran dan buah-buahan primer. Secara konseptual, keseluruhan komoditas tersebut mencakup dua kelompok besar, yaitu komponen *agrifood* dan *non-agrifood*.

Negara yang dianalisis dalam penelitian ini mencakup seluruh negara anggota ASEAN. Negara di kawasan Asia Tenggara yang secara resmi tergabung sebagai anggota ASEAN adalah Brunei Darussalam, Kamboja, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam. Periode analisis yang digunakan adalah selama 20 tahun terakhir atau dua dekade terakhir (2003–2022). Pengambilan periode analisis tersebut mengacu pada penelitian Trakem dan Fan (2024) bahwa untuk menganalisis efisiensi dalam kerangka makroekonomi dengan model *translog* dibutuhkan dataset yang lebih beragam dan berurut serta data yang lengkap. Lebih lanjut, periode 20 tahun tersebut dapat menangkap beberapa *global shocks* yang signifikan.

## 2.3. Data dan sumber data

Jenis data yang digunakan pada penelitian ini adalah jenis data sekunder berupa data panel dengan menggabungkan data antarwaktu (*time-series*) dan kerat lintang (*cross-section*). Data *time series* yang digunakan adalah data tahunan selama 20 tahun dari periode tahun 2003 hingga 2022. Pada data *cross-section*, jumlah negara yang digunakan dalam penelitian ini adalah 10 negara anggota ASEAN, yaitu Brunei Darussalam, Kamboja, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Filipina, Singapura, Thailand, dan Vietnam. Variabel penelitian yang digunakan beserta simbol, satuan, dan sumber datanya disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variabel penelitian dan sumber data

Variabel	Simbol	Satuan	Sumber
PDB sektor pertanian	OUTP	US\$	World Bank
Lahan pertanian	LAND	Ribu ha	FAO
Tenaga kerja aktif	LABR	Ribu jiwa	FAO
Pembentukan modal tetap bruto	CAPT	US\$	FAO
Konsumsi pupuk kimia	FERT	Ribu ton	FAO
Emisi sektor pertanian	EMIS	Mt CO <sub>2</sub> e	FAO
Ekspor sektor pertanian	EXPR	US\$	World Bank
Impor sektor pertanian	IMPR	US\$	World Bank

## 2.4. Pengumpulan data

Pengumpulan data dilakukan dari bulan Mei 2025 hingga Juni 2025 dengan beberapa tahapan. Tahapan penelitian yang dilakukan terdiri dari beberapa bagian, di antaranya adalah persiapan, perencanaan, pengumpulan data sekunder dan literatur pendukung, penyaringan dan verifikasi data, pengolahan data, interpretasi dan analisis hasil data, penarikan kesimpulan, penyusunan laporan akhir penelitian, dan evaluasi penulisan penelitian. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh melalui metode dokumentasi dari berbagai basis data internasional. Data PDB sektor pertanian, ekspor sektor pertanian, dan impor sektor pertanian dikumpulkan dari basis data World Bank, sedangkan data lahan pertanian, tenaga kerja sektor pertanian, pembentukan modal tetap bruto, konsumsi pupuk kimia, dan emisi sektor pertanian diperoleh dari basis data Food and Agriculture Organization (FAO). Seluruh data dikumpulkan melalui proses penelusuran dan pengunduhan (data retrieval) dari portal resmi masing-masing lembaga dalam format deret waktu dan panel kawasan Asia

Tenggara, kemudian dilakukan proses verifikasi, penyalarsan satuan, serta penyusunan ulang data agar konsisten dan siap digunakan dalam tahap analisis penelitian yang diinterpretasikan secara menyeluruh.

## 2.5. Analisis data

Penelitian ini menggunakan model *translog* karena memiliki fleksibilitas fungsional yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk fungsi produksi restriktif seperti Cobb-Douglas. Model *transcendental logarithmic (translog)* memungkinkan elastisitas substitusi antarinput yang bersifat variabel serta tidak mengasumsikan skala pengembalian maupun elastisitas substitusi yang konstan (Reinhard et al. 2000). Karakteristik tersebut menjadikan model *translog* lebih mampu merepresentasikan kompleksitas proses produksi sektor pertanian yang bersifat heterogen dan dinamis, khususnya dalam konteks data panel lintas negara yang teragregasi.

Sebagaimana dikemukakan oleh Christensen et al. (1973), fungsi produksi *translog* merupakan bentuk kuadrat dalam logaritma natural yang mampu menangkap interaksi antarinput sesuai kondisi empiris. Model persamaan yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Persamaan (1).

$$\begin{aligned} \ln OUTPit = & \beta_0 + \beta_1 \ln LANDit + \beta_2 \ln LABRit + \beta_3 \ln CAPTit + \beta_4 \ln FERTit \\ & + \beta_5 \ln EMISit + 0.5\beta_6 (\ln LANDit)^2 + 0.5\beta_7 (\ln LABRit)^2 \\ & + 0.5\beta_8 (\ln CAPTit)^2 + 0.5\beta_9 (\ln FERTit)^2 + 0.5\beta_{10} (\ln EMISit)^2 \\ & + \beta_{11} \ln LANDit \times \ln LABRit + \beta_{12} \ln LANDit \times \ln CAPTit \\ & + \beta_{13} \ln LANDit \times \ln FERTit + \beta_{14} \ln LANDit \times \ln EMISit \\ & + \beta_{15} \ln LABRit \times \ln CAPTit + \beta_{16} \ln LABRit \times \ln FERTit \\ & + \beta_{17} \ln LABRit \times \ln EMISit + \beta_{18} \ln CAPTit \times \ln FERTit \\ & + \beta_{19} \ln CAPTit \times \ln EMISit + \beta_{20} \ln FERTit \times \ln EMISit + vit \\ & - [\alpha_{vit} + \delta_1 \ln EXPit + \delta_1 \ln IMPit + \omega it] \end{aligned} \quad (1)$$

Berdasarkan model persamaan tersebut, fungsi produksi *translog* terdiri dari tiga komponen utama, yaitu komponen linear, komponen kuadrat, dan komponen interaksi antarinput. Lebih lanjut, pada model ini juga ditangkap model inefisiensi. Model persamaan tersebut dijelaskan pada Persamaan (2) hingga Persamaan (5) berikut. Komponen linear merepresentasikan pengaruh langsung masing-masing input produksi terhadap *output* sektor pertanian. Variabel lahan (LAND), tenaga kerja (LABR), modal (CAPT), pupuk kimia (FERT), dan emisi (EMIS) dimasukkan dalam bentuk logaritma natural untuk menangkap elastisitas parsial setiap input terhadap perubahan *output*. Komponen linear tersebut tersaji pada Persamaan (2) berikut.

$$\begin{aligned} \ln OUTPit = & \beta_0 + \beta_1 \ln LANDit + \beta_2 \ln LABRit + \beta_3 \ln CAPTit + \beta_4 \ln FERTit \\ & + \beta_5 \ln EMISit \end{aligned} \quad (2)$$

Lebih lanjut, komponen kuadrat digunakan untuk menangkap hubungan nonlinier antara input dan *output* dalam proses produksi pertanian. Keberadaan komponen ini memungkinkan model mengidentifikasi fenomena *diminishing marginal return* pada tingkat penggunaan input yang berbeda. Model kuadrat tersaji pada Persamaan (3) berikut.

$$\begin{aligned} \ln OUTPit = & 0.5\beta_6 (\ln LANDit)^2 + 0.5\beta_7 (\ln LABRit)^2 + 0.5\beta_8 (\ln CAPTit)^2 \\ & + 0.5\beta_9 (\ln FERTit)^2 + 0.5\beta_{10} (\ln EMISit)^2 \end{aligned} \quad (3)$$

Komponen interaksi menggambarkan hubungan teknologi produksi yang melibatkan kombinasi beberapa faktor produksi secara simultan. Bagian ini memungkinkan model mengidentifikasi apakah hubungan antarinput bersifat komplementer atau substitusi dalam proses produksi pertanian. Model interaksi tertera pada Persamaan (4) berikut.

$$\begin{aligned} \ln OUTPit = & \beta_{11} \ln LANDit \times \ln LABRit + \beta_{12} \ln LANDit \times \ln CAPTit \\ & + \beta_{13} \ln LANDit \times \ln FERTit + \beta_{14} \ln LANDit \times \ln EMISit \\ & + \beta_{15} \ln LABRit \times \ln CAPTit + \beta_{16} \ln LABRit \times \ln FERTit \\ & + \beta_{17} \ln LABRit \times \ln EMISit + \beta_{18} \ln CAPTit \times \ln FERTit \\ & + \beta_{19} \ln CAPTit \times \ln EMISit + \beta_{20} \ln FERTit \times \ln EMISit \end{aligned} \quad (4)$$

Komponen error dalam model terdiri atas gangguan acak ( $v_{it}$ ) dan komponen inefisiensi teknis ( $u_{it}$ ). Gangguan acak merepresentasikan faktor eksternal yang tidak dapat dikendalikan produsen, sedangkan komponen inefisiensi menunjukkan deviasi *output* aktual dari *frontier* produksi. Komponen *error* tersebut dirumuskan dalam Persamaan (5).

$$v_{it} = [\alpha_{it} + \delta \ln EXP_{it} + \delta \ln IMP_{it} + \omega_{it}] \quad (5)$$

dengan:

$\ln OUT_{it}$  = produk domestik bruto (PDB) riil sektor pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (US\$)

$\ln LAND_{it}$  = luasan lahan pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu ha)

$\ln LABR_{it}$  = jumlah tenaga kerja aktif sektor pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu jiwa)

$\ln CAPT_{it}$  = pembentukan modal tetap bruto sektor pertanian berdasar harga konstan tahun 2010 masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu US\$)

$\ln FERT_{it}$  = jumlah konsumsi pupuk kimia masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu ton)

$\ln EMIS_{it}$  = jumlah emisi yang dikeluarkan akibat aktivitas pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  Mt (CO<sub>2</sub>e)

$\ln EXP_{it}$  = nilai ekspor sektor pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu USD)

$\ln IMP_{it}$  = nilai impor sektor pertanian masing-masing negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$  (ribu USD)

$\beta_0$  = intersep

$\beta_1 - \beta_{20}$  = koefisien parameter yang diestimasi (efisiensi)

$\delta$  = koefisien parameter yang diestimasi (inefisiensi)

$v_i$  = *error* acak (*noise*)

$\alpha_{it}$  = inefisiensi

$\ln$  = logaritma natural

$i$  = 10 negara anggota ASEAN

$t$  = periode analisis (2003–2022)

Estimasi parameter dilakukan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE) untuk memperoleh pendugaan parameter populasi berdasarkan fungsi *likelihood*. Pengaruh masing-masing input terhadap kontribusi PDB sektor pertanian diuji menggunakan uji  $t$  pada tingkat signifikansi 5% dan 10%, dengan hipotesis  $H_0$  menyatakan bahwa input tidak berpengaruh signifikan dan  $H_1$  menyatakan sebaliknya.

$H_0 = t \text{ hitung} < t \text{ tabel}$  (input dalam model tidak memiliki pengaruh secara nyata)

$H_1 = t \text{ hitung} > t \text{ tabel}$  (input-input dalam model memiliki pengaruh secara nyata)

Selanjutnya, uji *likelihood ratio* (LR) digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian spesifikasi fungsi produksi, khususnya dalam membandingkan apakah bentuk Cobb-Douglas yang lebih parsimonious sudah memadai atau apakah bentuk *translog* yang lebih fleksibel secara statistik lebih unggul. Statistik LR dihitung sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (6).

$$\gamma = -2\{\ln[L(H_0)] - \ln[L(H_1)]\} \quad (6)$$

Nilai  $\ln[L(H_0)]$  merepresentasikan *log-likelihood* dari model Cobb-Douglas yang dibatasi, sedangkan  $\ln[L(H_1)]$  menunjukkan *log-likelihood* dari model *translog* tanpa pembatasan. Mengacu pada Battese dan Coelli (1988), selisih kedua nilai tersebut membentuk statistik LR yang diasumsikan mengikuti distribusi Chi-square ( $\chi^2$ ). Berdasarkan spesifikasi *translog*, elastisitas faktor produksi dihitung dengan menjumlahkan koefisien input, interaksi kuadratik, serta interaksi antarinput sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (7).

$$\frac{\delta \ln Y}{\delta \ln X_{it}} = \beta_{it} + \beta_{jj} \overline{\ln X_j} + \sum_{j \neq k}^k \beta_{jk} \overline{\ln X_k} \quad (7)$$

Estimasi efisiensi teknis mengacu pada model SFA yang dikembangkan oleh Battese dan Coelli (1988) dengan mengukur rasio antara *output* aktual dan *output* maksimum yang dapat dicapai, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (8). Nilai efisiensi teknis selanjutnya disajikan dalam bentuk *time-varying efficiency scores* untuk menggambarkan dinamika efisiensi antarnegara dan waktu.

$$TE_{it} = \exp(-u_{it}) = \exp[-(z_{it}; \delta + \omega_{it})] \quad (8)$$

dengan:

$TE_{it}$  = tingkat efisiensi teknis negara ( $i$ ) pada tahun ke- $t$

- $u_{it}$  = komponen inefisiensi teknis (nilai nonnegatif)  
 $Z_{it}$  = variabel-variabel penjelas yang memengaruhi efisiensi teknis  
 $\delta$  = koefisien parameter dari variabel inefisiensi  
 $\omega_{it}$  = komponen *error* acak (*noise*), diasumsikan berdistribusi normal

### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1. Determinan efisiensi dan inefisiensi sektor pertanian kawasan Asia Tenggara

Untuk menentukan bentuk fungsi produksi yang paling sesuai antara Cobb-Douglas dan *translog*, penelitian ini menggunakan pendekatan ekonometrik berbasis uji *Likelihood Ratio* (LR) sesuai dengan kaidah dalam SFA. Dalam kerangka ini, fungsi produksi Cobb-Douglas diperlakukan sebagai model tereduksi (*restricted*), sedangkan fungsi produksi *translog* merupakan model umum (*unrestricted*), sehingga Cobb-Douglas secara teoritis merupakan kasus khusus (*nested*) dari model *translog*. Oleh karena itu, uji LR menjadi prosedur yang tepat untuk menilai apakah perluasan bentuk fungsional menuju *translog* memberikan peningkatan kecocokan model yang signifikan.

Hasil estimasi menunjukkan bahwa nilai *log-likelihood* model Cobb-Douglas sebesar 33,57, sedangkan model *translog* menghasilkan nilai *log-likelihood* yang jauh lebih tinggi, yaitu sebesar 200,33. Berdasarkan perbedaan tersebut, statistik uji *likelihood ratio* antarspesifikasi mencapai 333,52, yang secara signifikan melampaui nilai kritis distribusi *Chi-square* pada berbagai tingkat signifikansi. Dengan demikian, hipotesis nol yang menyatakan bahwa spesifikasi Cobb-Douglas sudah memadai dapat ditolak secara sangat kuat, sehingga fungsi produksi *translog* dinilai lebih sesuai untuk merepresentasikan teknologi produksi sektor pertanian.

Selain perbandingan bentuk fungsional, keberadaan komponen inefisiensi teknis juga diuji melalui LR test of the *one-sided error*. Hasil pengujian menunjukkan nilai LR sebesar 54,23 dengan jumlah restriksi sebanyak empat. Nilai tersebut signifikan melebihi nilai kritis distribusi *Chi-square* campuran sebagaimana dirumuskan oleh Kodde dan Palm (1986). Dengan demikian, hipotesis nol yang menyatakan tidak adanya komponen inefisiensi teknis ( $\sigma_u^2 = 0$ ), sebagaimana diasumsikan dalam model OLS, dapat ditolak pada tingkat signifikansi  $\alpha = 0,000$ . Penolakan hipotesis nol tersebut menunjukkan bahwa deviasi *output* dari frontier tidak semata-mata disebabkan oleh error acak, melainkan secara signifikan dipengaruhi oleh inefisiensi teknis. Temuan ini diperkuat oleh estimasi parameter *gamma* ( $\gamma$ ). Pada model Cobb-Douglas, nilai *gamma* yang mendekati nol mengindikasikan bahwa batas efisiensi produksi hampir tidak berbeda dari estimasi OLS, sehingga struktur inefisiensi tidak teridentifikasi dengan baik. Sebaliknya, pada model *translog*, nilai *gamma* menunjukkan dominasi variansi inefisiensi teknis dalam total variansi residual. Hal tersebut menunjukkan bahwa struktur inefisiensi produksi hanya dapat ditangkap secara memadai ketika fleksibilitas teknologi, variasi elastisitas input, serta interaksi antarfaktor produksi diakomodasi melalui fungsi produksi *translog*.

Secara keseluruhan, hasil uji *likelihood ratio* baik dalam pemilihan bentuk fungsi produksi maupun dalam pengujian keberadaan komponen inefisiensi teknis memberikan justifikasi ekonometrik yang kuat bahwa penggunaan SFA berbasis fungsi produksi *translog* dengan estimator *maximum likelihood* merupakan spesifikasi model yang paling sesuai. Pembatasan bentuk fungsional Cobb-Douglas terlalu restriktif dan berpotensi menghasilkan estimasi yang bias, sementara model *translog* mampu merepresentasikan kompleksitas hubungan *input-output* serta variasi inefisiensi teknis dalam sektor pertanian kawasan Asia Tenggara secara lebih akurat dan konsisten secara statistik. Meskipun fungsi produksi *translog* memiliki fleksibilitas yang tinggi, model ini memiliki kelemahan berupa banyaknya parameter yang berpotensi mengalami multikolinearitas serta ketidakstabilan estimasi. Namun, potensi tersebut telah diminimalkan melalui proses penyaringan dan konsistensi data panel, sehingga estimasi tetap stabil. Lebih lanjut, hasil analisis determinan efisiensi dan inefisiensi disajikan pada Tabel 2.

Lebih lanjut, dalam interpretasi model *translog*, hasil analisis didasarkan pada nilai elastisitas input. Perhitungan elastisitas dilakukan untuk menggambarkan respons persentase nilai *output* pertanian terhadap perubahan persentase masing-masing input pada tingkat penggunaan aktualnya. Dalam kerangka fungsi produksi *translog*, interpretasi elastisitas didasarkan pada nilai elastisitas agregat setiap variabel, karena estimasinya mencakup seluruh komponen linier, kuadrat, serta interaksi antarinput yang terintegrasi dalam spesifikasi model. Selain itu, hasil perhitungan elastisitas dimanfaatkan untuk mengevaluasi kondisi *return to scale* (RTS), yang berfungsi sebagai indikator apakah sistem produksi pertanian di kawasan Asia Tenggara beroperasi pada kondisi skala hasil konstan, menurun, atau meningkat. Evaluasi ini memberikan pemahaman mengenai apakah sektor

pertanian telah mencapai skala produksi yang efisien, menghadapi penurunan tambahan produktivitas akibat ekspansi input, atau masih memiliki potensi untuk menghasilkan peningkatan *output* yang lebih dari proporsional melalui peningkatan input secara simultan, sebagaimana disajikan pada Tabel 3.

**Tabel 2.** Hasil analisis SFA model *translog* determinan efisiensi dan inefisiensi sektor pertanian kawasan Asia Tenggara, 2003–2022

Variabel	Parameter	Koefisien	Std. error	t-ratio	p-value
<b>Efisiensi</b>					
Konstanta	$\beta_0$	8,085	0,705	11,462	0,000 *
ln(land)	$\beta_1$	0,301	0,189	1,597	0,112
ln(labr)	$\beta_2$	-0,127	0,170	-0,745	0,457
ln(capt)	$\beta_3$	0,182	0,196	0,926	0,356
ln(fert)	$\beta_4$	0,525	0,197	2,672	0,008 *
ln(emis)	$\beta_5$	0,437	0,149	2,938	0,004 *
0.5[ln(land)] <sup>2</sup>	$\beta_6$	-0,001	0,075	-0,016	0,988
0.5[ln(labr)] <sup>2</sup>	$\beta_7$	0,096	0,035	2,762	0,006 *
0.5[ln(capt)] <sup>2</sup>	$\beta_8$	0,111	0,040	2,794	0,006 *
0.5[ln(fert)] <sup>2</sup>	$\beta_9$	0,102	0,035	2,900	0,004 *
0.5[ln(emis)] <sup>2</sup>	$\beta_{10}$	0,026	0,043	0,612	0,541
ln(land) x ln(labr)	$\beta_{11}$	0,036	0,041	0,878	0,381
ln(land) x ln(capt)	$\beta_{12}$	0,027	0,034	0,790	0,431
ln(land) x ln(fert)	$\beta_{13}$	-0,074	0,049	-1,512	0,132 *
ln(land) x ln(emis)	$\beta_{14}$	0,106	0,044	2,417	0,017 *
ln(labr) x ln(capt)	$\beta_{15}$	-0,055	0,025	-2,186	0,030 **
ln(labr) x ln(fert)	$\beta_{16}$	-0,036	0,029	-1,232	0,220
ln(labr) x ln(emis)	$\beta_{17}$	0,056	0,036	1,572	0,118
ln(capt) x ln(fert)	$\beta_{18}$	-0,046	0,029	-1,569	0,118
ln(capt) x ln(emis)	$\beta_{19}$	0,005	0,033	0,157	0,875
ln(fert) x ln(emis)	$\beta_{20}$	-0,157	0,032	-4,969	0,000 *
<b>Inefisiensi</b>					
Konstanta	$\delta_0$	4,755	0,884	5,380	0,000 *
ln(Imp)	$\delta_1$	-0,179	0,057	-3,150	0,002 *
ln(Exp)	$\delta_2$	-0,143	0,022	-6,437	0,000 *
<i>Sigma-squared</i>		0,016			
<i>Gamma</i>		0,713	*		
<i>Log likelihood</i>		200,330			
<i>LR Test</i>		54,237			
<i>Number of restrictions</i>		4			
<i>Number of iterations</i>		46			
<i>Number of cross-sections</i>		10			
<i>Number of time periods</i>		20			
<i>Total observations</i>		200			

Keterangan: \*, \*\*, \*\*\* signifikan pada taraf kepercayaan 1%, 5%, dan 10%  
 Sumber: Diolah dari FAO (2025b, 2025c) dan World Bank (2025)

Berdasarkan estimasi elastisitas *output* yang diperoleh dari fungsi produksi *translog*, struktur produksi pertanian di kawasan Asia Tenggara menunjukkan bahwa peningkatan *output* masih ditopang oleh kombinasi faktor input utama, dengan kontribusi yang relatif bervariasi antarfaktor produksi. Elastisitas tenaga kerja tercatat sebagai yang terbesar, yaitu sebesar 0,26, yang mengindikasikan bahwa peningkatan tenaga kerja sebesar 1%, *ceteris paribus*, berpotensi meningkatkan *output* pertanian sebesar 0,26%. Hal tersebut mencerminkan bahwa sektor pertanian kawasan Asia Tenggara masih memiliki karakteristik padat karya, di mana peran tenaga kerja tetap signifikan dalam proses produksi, terutama di negara-negara dengan tingkat adopsi teknologi yang belum merata. Lebih lanjut, kondisi tersebut menunjukkan urgensi kebijakan modernisasi dan inovasi teknologi pertanian agar tenaga kerja sektor pertanian siap digunakan dalam melakukan aktivitas usaha taninya. Beragam upaya tersebut dapat dicapai melalui mekanisasi adaptif, *digital agriculture*, dan penguatan kapasitas sumber

daya petani untuk meningkatkan efisiensi teknis (Geng et al. 2024; Rakholia et al. 2024). Selain itu, dominasi kawasan Asia Tenggara yang melakukan kegiatan subsidi input perlu diarahkan secara lebih selektif dan berbasis efisiensi, mengingat subsidi pupuk yang tidak disertai peningkatan manajemen produksi dan adopsi teknologi berpotensi memperbesar inefisiensi dan degradasi lingkungan. Adopsi teknologi presisi dan inovasi berbasis informasi mampu meningkatkan produktivitas sekaligus menurunkan pemborosan input di negara berkembang (Ricome et al. 2024).

**Tabel 3.** Nilai elastisitas dan kondisi *return to scale* kawasan Asia Tenggara, 2003–2024

Variabel input	Nilai elastisitas
<i>Land</i>	0,19
<i>Labor</i>	0,26
<i>Capital</i>	0,21
<i>Fertilizers</i>	0,11
<i>Emissions</i>	0,04
<i>Return to scale</i>	0,80

Sumber: Diolah dari FAO (2025b, 2025c) dan World Bank (2025)

Elastisitas modal sebesar 0,21 menunjukkan bahwa akumulasi modal fisik, termasuk mesin pertanian, peralatan produksi, dan infrastruktur pendukung, berkontribusi penting terhadap peningkatan *output*. Meskipun perannya tidak sekuat tenaga kerja, hasil tersebut menunjukkan bahwa investasi dan modernisasi teknologi tetap menjadi prasyarat utama dalam mendorong produktivitas pertanian di kawasan Asia Tenggara, sejalan dengan strategi intensifikasi berbasis teknologi yang semakin dominan dalam pembangunan pertanian regional. Elastisitas lahan yang relatif lebih rendah, yaitu sebesar 0,19, mengindikasikan bahwa ekspansi atau penambahan luas lahan bukan lagi sumber utama pertumbuhan *output* pertanian. Kondisi tersebut mencerminkan keterbatasan ketersediaan lahan produktif serta menurunnya efektivitas perluasan areal dibandingkan dengan peningkatan efisiensi dan intensifikasi produksi. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menekankan bahwa pertumbuhan sektor pertanian di negara berkembang semakin bergeser dari ekspansi lahan menuju optimalisasi penggunaan input dan teknologi (Sriboonchitta et al. 2017; Matsvai et al. 2022).

Sementara itu, elastisitas pupuk sebesar 0,11 menunjukkan bahwa peningkatan penggunaan pupuk hanya memberikan tambahan *output* yang relatif terbatas. Hasil tersebut mengindikasikan adanya kecenderungan *diminishing returns* terhadap input pupuk, sehingga strategi peningkatan produksi tidak lagi dapat bergantung pada intensifikasi input kimia. Dengan demikian, peningkatan efisiensi teknis, penerapan pertanian presisi, serta penguatan manajemen input menjadi semakin penting dalam mendorong produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Elastisitas emisi sebagai input sesuai dengan teori Ayres dan Kneese (1969) yang bernilai positif namun kecil, yaitu sebesar 0,04, mengindikasikan bahwa aktivitas produksi yang lebih intensif dan berpotensi meningkatkan emisi masih berkorelasi positif dengan peningkatan *output* pertanian. Meskipun kontribusinya relatif rendah, hal tersebut mengisyaratkan adanya hubungan antara ekspansi produksi dan tekanan lingkungan, yang menunjukkan bahwa sistem pertanian kawasan Asia Tenggara belum sepenuhnya bertransformasi menuju jalur pertumbuhan rendah emisi. Hal ini menegaskan pentingnya integrasi kebijakan lingkungan dan inovasi teknologi ramah lingkungan dalam proses peningkatan kinerja produksi pertanian (Nguyen et al. 2016; Trakem dan Fan 2024). Nilai elastisitas emisi yang positif dalam teori produksi pertanian tidak diindikasikan sebagai efek peningkatan, namun proses produksi masih bergantung pada praktik yang intensif dan berimplikasi lingkungan. Hubungan ini menunjukkan bahwa kenaikan *output* masih berjalan seiring dengan peningkatan tekanan lingkungan akibat keterbatasan adopsi teknologi ramah lingkungan. Oleh karena itu, peningkatan kinerja pertanian kawasan Asia Tenggara perlu diarahkan pada pemisahan antara pertumbuhan *output* dan peningkatan emisi melalui inovasi teknologi bersih serta kebijakan lingkungan yang lebih efektif (Ayres dan Kneese 1969).

Secara agregat, total elastisitas input sebesar 0,80 menunjukkan bahwa sektor pertanian ASEAN beroperasi dalam kondisi *decreasing returns to scale* (DRTS), di mana peningkatan seluruh input produksi secara simultan sebesar 1% hanya menghasilkan peningkatan *output* yang kurang proporsional. Kondisi tersebut mengindikasikan adanya keterbatasan efisiensi skala yang dapat bersumber dari fragmentasi usaha tani, ketimpangan adopsi teknologi, serta variasi kualitas institusi dan kebijakan antarnegara anggota kawasan Asia Tenggara. Fragmentasi usaha tani yang umum pada negara berkembang cenderung membatasi kapasitas adopsi skala ekonomi karena banyak unit produksi yang tetap beroperasi pada skala kecil tanpa akses terhadap modal atau teknologi yang

memadai, sehingga produktivitas per unit input menjadi kurang optimal. Lebih lanjut, nilai total elastisitas sektor pertanian dengan kondisi DRTS serupa juga ditemukan pada penelitian Trakem dan Fan (2024) di kawasan Asia Tenggara dengan nilai elastisitas sebesar 0,88. Penelitian serupa yang dilakukan oleh Khan dan Ullah (2020) di kawasan Asia Tenggara, tanpa negara Laos, juga menunjukkan nilai elastisitas sebesar 0,99 atau mendekati satu, yang menunjukkan bahwa kondisi *constant returns to scale*.

Perbedaan struktur kebijakan agraria dan dukungan pemerintah terhadap modernisasi pertanian antarnegara di kawasan Asia Tenggara menciptakan disparitas dalam kemampuan petani untuk mengakses pasar, teknologi, dan layanan pendukung, yang pada gilirannya memperlemah sinergi peningkatan skala produksi secara regional. Disparitas kebijakan pertanian di kawasan Asia Tenggara mencerminkan perbedaan kapasitas ekonomi dan kelembagaan antarnegara, di mana Singapura, Malaysia, Thailand, dan Indonesia relatif mampu mengintegrasikan GAP, regulasi input, pengawasan lapang, perdagangan, hilirisasi, dan kebijakan lingkungan sehingga GAP berfungsi sebagai instrumen peningkatan efisiensi dan daya saing (Hapsari et al. 2025), sedangkan Laos, Kamboja, dan Myanmar menghadapi kesenjangan implementasi akibat keterbatasan fiskal, penyuluhan, dan infrastruktur kebijakan (Danendra et al. 2025).

Terkait subsidi pupuk, Indonesia dan Vietnam masih mempertahankan intervensi luas dengan risiko inefisiensi (Nie et al. 2022), sementara Malaysia dan Thailand lebih selektif. Secara umum, negara berpendapatan rendah bergantung pada bantuan eksternal. Disparitas geografis juga membatasi efektivitas pengawasan lapang di negara kepulauan yang memiliki topografi kompleks seperti Filipina dan Laos. Keunggulan logistik memungkinkan Thailand, Vietnam, Malaysia, dan Indonesia mendorong hilirisasi dan nilai tambah dibandingkan dengan negara *landlocked* seperti Laos dan negara dengan instabilitas politik seperti Myanmar (Danendra et al. 2025). Oleh karena itu, peningkatan kinerja sektor pertanian tidak hanya memerlukan penambahan input, tetapi juga perbaikan efisiensi teknis, penguatan kapasitas kelembagaan, serta transformasi struktural yang mendorong produksi yang lebih efisien, berkelanjutan, dan inklusif (Bibi et al. 2021).

### **3.2. Nilai efisiensi teknis sektor pertanian kawasan Asia Tenggara**

Sejalan dengan kondisi skala produksi yang diidentifikasi, analisis kinerja sektor pertanian kawasan Asia Tenggara perlu diperluas pada aspek efisiensi teknis yang bersifat dinamis, mengingat kinerja *output* agregat sangat dipengaruhi oleh perubahan kemampuan sistem produksi dalam mengelola input dari waktu ke waktu. Tabel 4 menggambarkan bagaimana dinamika teknologi, kebijakan, dan struktur produksi memengaruhi tingkat efisiensi sektor pertanian kawasan Asia Tenggara sepanjang periode pengamatan.

Berdasarkan hasil estimasi *time-varying technical efficiency* sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara selama periode 2003–2022, Tabel 4 menunjukkan bahwa tingkat efisiensi teknis antarnegara dan antarperiode bersifat heterogen, baik secara spasial maupun temporal. Rata-rata efisiensi teknis kawasan Asia Tenggara sebesar 0,81, yang mengindikasikan bahwa secara agregat sektor pertanian di kawasan ini masih memiliki potensi peningkatan *output* sekitar 19% melalui pengurangan inefisiensi teknis, tanpa memerlukan tambahan input produksi. Hal ini mengonfirmasi bahwa sebagian besar kawasan Asia Tenggara belum sepenuhnya beroperasi pada batas efisiensi produksi, sehingga perbaikan dalam manajemen produksi, adopsi teknologi, serta efektivitas kebijakan pertanian berpotensi meningkatkan kinerja sektoral secara berkala. Heterogenitas kondisi agroekologi, ukuran lahan usaha tani, serta intensitas modernisasi pertanian juga berkontribusi terhadap perbedaan kemampuan negara dalam mengoptimalkan pemanfaatan faktor produksi, sehingga menghasilkan variasi efisiensi teknis yang cukup lebar di kawasan Asia Tenggara. Gambar 4 menunjukkan tren peningkatan efisiensi teknis sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara.

Secara dinamika waktu, rata-rata efisiensi teknis kawasan Asia Tenggara menunjukkan tren meningkat secara bertahap, dari 0,70 pada tahun 2003 menjadi 0,87 pada tahun 2022, meskipun masih disertai fluktuasi pada beberapa periode. Pola tersebut mencerminkan adanya perbaikan kemampuan sistem produksi pertanian dalam memanfaatkan input secara lebih efisien, seiring dengan proses modernisasi pertanian, penguatan kebijakan sektor riil, serta integrasi yang semakin dalam ke dalam rantai nilai regional dan global. Namun demikian, fluktuasi efisiensi yang masih terjadi mengindikasikan bahwa peningkatan kinerja tersebut belum sepenuhnya stabil dan tetap rentan terhadap guncangan eksternal, ketidakkonsistenan kebijakan, serta perbedaan kapasitas adaptasi teknologi antarnegara (Chandel et al. 2022).

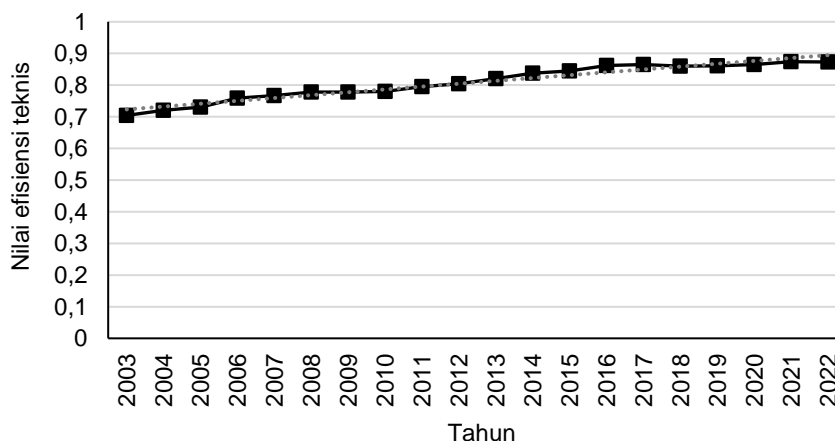
**Tabel 4.** Nilai *time-varying* efisiensi teknis sektor pertanian kawasan Asia Tenggara

Tahun	BRN	KHM	IDN	LAO	MYS	MYR	FLP	SGP	THA	VNM	AVG ASEAN
2003	0,23	0,33	0,96	0,27	0,98	0,57	0,95	0,97	0,97	0,82	0,70
2004	0,22	0,33	0,97	0,29	0,98	0,64	0,95	0,98	0,97	0,87	0,72
2005	0,18	0,42	0,98	0,31	0,98	0,63	0,96	0,95	0,97	0,92	0,73
2006	0,27	0,44	0,98	0,32	0,98	0,73	0,97	0,98	0,97	0,95	0,76
2007	0,26	0,46	0,98	0,34	0,98	0,78	0,97	0,96	0,98	0,96	0,77
2008	0,27	0,50	0,98	0,36	0,98	0,78	0,97	0,97	0,98	0,98	0,78
2009	0,26	0,51	0,98	0,40	0,99	0,78	0,97	0,95	0,98	0,96	0,78
2010	0,25	0,57	0,98	0,43	0,98	0,75	0,96	0,94	0,97	0,97	0,78
2011	0,29	0,46	0,98	0,46	0,98	0,88	0,97	0,97	0,98	0,98	0,79
2012	0,28	0,51	0,98	0,52	0,97	0,88	0,97	0,97	0,98	0,98	0,80
2013	0,36	0,52	0,98	0,53	0,98	0,93	0,97	0,98	0,98	0,98	0,82
2014	0,32	0,57	0,98	0,64	0,98	0,96	0,97	0,98	0,99	0,98	0,84
2015	0,28	0,61	0,99	0,73	0,98	0,94	0,97	0,98	0,99	0,98	0,85
2016	0,30	0,71	0,98	0,75	0,98	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,86
2017	0,29	0,74	0,99	0,73	0,99	0,98	0,97	0,99	0,99	0,99	0,86
2018	0,28	0,74	0,99	0,73	0,99	0,93	0,97	0,98	0,99	0,99	0,86
2019	0,30	0,73	0,99	0,75	0,99	0,92	0,97	0,99	0,99	0,99	0,86
2020	0,30	0,75	0,99	0,75	0,99	0,94	0,97	0,98	0,98	0,99	0,86
2021	0,33	0,78	0,99	0,76	0,99	0,96	0,97	0,98	0,99	0,99	0,87
2022	0,34	0,78	0,99	0,80	0,99	0,91	0,97	0,98	0,99	0,99	0,87
Rata-rata	0,28	0,57	0,98	0,54	0,98	0,84	0,97	0,97	0,98	0,96	0,81
Rank	10	8	2	9	1	7	5	4	3	6	-

Keterangan:

- BRN = Brunei Darussalam
- KHM = Kamboja
- IDN = Indonesia
- LAO = Laos
- MYS = Malaysia
- MYR = Myanmar
- FLP = Filipina
- SGP = Singapura
- THA = Thailand
- VNM = Vietnam

Sumber: Diolah dari FAO (2025b, 2025c) dan World Bank (2025)



Sumber: Diolah dari FAO (2025b, 2025c) dan World Bank (2025)

Gambar 4. Nilai rata-rata efisiensi teknis sektor pertanian kawasan Asia Tenggara

Lebih lanjut, secara teoritis, dalam kondisi institusional dan politik yang relatif stabil, efisiensi teknis sektor pertanian cenderung menunjukkan tren peningkatan secara bertahap seiring proses akumulasi teknologi dan pembelajaran produksi. Sebaliknya, fluktuasi efisiensi sering kali berkaitan dengan adanya guncangan struktural seperti konflik sosial, krisis iklim, atau kerusakan infrastruktur produksi; misalnya, studi empiris di Filipina menunjukkan bahwa penurunan produksi pertanian akibat guncangan iklim dapat meningkatkan intensitas konflik di wilayah pedesaan yang bergantung pada pertanian.

Selain itu, pada tingkat regional Asia Tenggara, peningkatan frekuensi bencana iklim seperti banjir dan kekeringan juga tercatat menimbulkan kerugian produksi pertanian yang besar dan mengganggu stabilitas sistem pangan, sehingga berpotensi memicu volatilitas kinerja sektor pertanian di berbagai kawasan Asia Tenggara (Croft et al. 2018).

Pada tingkat negara, Malaysia menunjukkan tingkat efisiensi teknis tertinggi dengan nilai rata-rata 0,98, diikuti oleh Indonesia (0,98) dan Thailand (0,98), yang menempati kelompok negara dengan kinerja efisiensi terbaik di kawasan. Tingginya efisiensi teknis pada negara-negara tersebut mencerminkan kemampuan sistem produksi pertanian dalam mengonversi input menjadi *output* secara optimal, yang sejalan dengan tingkat adopsi teknologi yang relatif maju, dukungan kebijakan input produksi yang lebih efektif, serta keterhubungan yang kuat dengan pasar regional dan global. Singapura (0,97) dan Filipina (0,97) juga menunjukkan kinerja efisiensi yang relatif tinggi, meskipun dengan karakteristik struktur sektor pertanian yang berbeda.

Sebaliknya, Brunei Darussalam mencatat nilai efisiensi teknis terendah dengan rata-rata 0,28, diikuti oleh Laos (0,54) dan Kamboja (0,57). Rendahnya tingkat efisiensi teknis pada negara-negara tersebut mengindikasikan adanya keterbatasan struktural dalam pemanfaatan faktor produksi, yang dapat bersumber dari skala usaha yang kecil, fragmentasi produksi, keterbatasan adopsi teknologi, serta lemahnya efektivitas kebijakan dan kelembagaan pendukung sektor pertanian. Secara khusus, rendahnya efisiensi Brunei Darussalam juga tidak terlepas dari orientasi pembangunan nasional yang tidak menempatkan sektor pertanian sebagai sektor unggulan, dengan fokus ekonomi yang lebih dominan pada sektor energi dan komoditas strategis *non-agrifood*. Sementara itu, di Filipina, meskipun nilai efisiensi relatif tinggi, struktur geografis kepulauan dan dominasi sektor perikanan menyebabkan tantangan tersendiri dalam koordinasi kebijakan, implementasi, serta pengawasan sektor pertanian secara menyeluruh (Kea et al. 2016; Radlińska 2023).

Secara keseluruhan, hasil estimasi *time-varying technical efficiency* menegaskan bahwa kinerja sektor pertanian kawasan Asia Tenggara tidak hanya ditentukan oleh ketersediaan input produksi, tetapi juga sangat dipengaruhi oleh faktor kelembagaan, kapasitas teknologi, dan konsistensi kebijakan. Oleh karena itu, upaya peningkatan efisiensi teknis di kawasan Asia Tenggara perlu diarahkan pada penguatan inovasi teknologi, perbaikan tata kelola sektor pertanian, serta harmonisasi kebijakan regional guna memastikan keberlanjutan peningkatan produktivitas dalam jangka panjang.

### **3.3. Inefisiensi perdagangan pada sektor pertanian kawasan Asia Tenggara**

Berdasarkan hasil estimasi fungsi inefisiensi teknis pada SFA dengan fungsi produksi *translog* (Tabel 2), variabel perdagangan yang direpresentasikan oleh impor ( $\ln(\text{Imp})$ ) dan ekspor ( $\ln(\text{Exp})$ ) menunjukkan hubungan negatif dan signifikan terhadap tingkat inefisiensi teknis sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara. Koefisien  $\ln(\text{Imp})$  bernilai  $-0,179$  dengan *p-value* sebesar 0,002, sedangkan koefisien  $\ln(\text{Exp})$  sebesar  $-0,143$  dengan *p-value* sebesar 0,000, yang keduanya signifikan pada taraf kepercayaan 1%. Tanda koefisien yang negatif mengindikasikan bahwa peningkatan aktivitas impor maupun ekspor berkorelasi dengan penurunan inefisiensi teknis, atau secara implisit berkontribusi pada peningkatan efisiensi teknis sektor pertanian kawasan Asia Tenggara.

Secara ekonomi, kondisi tersebut menunjukkan bahwa keterlibatan sektor pertanian kawasan Asia Tenggara dalam perdagangan internasional berperan sebagai mekanisme disiplin efisiensi, baik melalui skema impor maupun ekspor. Peningkatan impor, khususnya input antara, teknologi, dan barang modal pertanian, berpotensi memperbaiki kombinasi input produksi serta mendorong adopsi teknologi yang lebih efisien, sehingga mampu menekan pemborosan penggunaan faktor produksi domestik. Impor juga tidak semata-mata dipandang sebagai tekanan terhadap produsen lokal, melainkan sebagai sarana pembelajaran teknologi dan peningkatan efisiensi sistem produksi, terutama bagi negara-negara dengan keterbatasan kapasitas inovasi domestik (Sunge dan Ngepah 2020).

Sementara itu, pengaruh negatif dan signifikan ekspor terhadap inefisiensi teknis menunjukkan bahwa orientasi pasar eksternal mendorong produsen pertanian kawasan Asia Tenggara untuk meningkatkan efisiensi operasional guna memenuhi standar kualitas, konsistensi pasokan, dan daya saing harga di pasar internasional. Tekanan kompetitif dari pasar ekspor memaksa pelaku usaha pertanian untuk mengoptimalkan penggunaan input, memperbaiki manajemen produksi, serta menyesuaikan teknologi agar mampu beroperasi lebih dekat dengan batas efisiensi produksi. Dengan demikian, ekspor berfungsi sebagai saluran insentif yang memperkuat efisiensi teknis, bukan sekadar sebagai sumber pertumbuhan permintaan (Ma et al. 2023).

## 4. Kesimpulan dan implikasi kebijakan

### 4.1. Kesimpulan

Secara umum, sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara masih berada pada fase transisi di mana struktur produksi, kapasitas kelembagaan, dan kesiapan teknologi belum sepenuhnya mampu menopang peningkatan kinerja secara efisien dan berkelanjutan. Ketergantungan pada pola produksi tradisional, keterbatasan efisiensi skala, serta heterogenitas adopsi teknologi antar negara menunjukkan bahwa pertumbuhan sektor pertanian belum sepenuhnya ditopang oleh transformasi struktural yang kuat, sehingga integrasi perdagangan dan ekspansi aktivitas produksi belum secara otomatis menghasilkan peningkatan efisiensi teknis yang merata di kawasan. Hasil estimasi efisiensi teknis menunjukkan adanya kesenjangan kinerja antar negara, di mana negara dengan tingkat modernisasi dan dukungan kebijakan yang lebih kuat cenderung berada lebih dekat pada batas efisiensi produksi dibandingkan negara yang masih menghadapi keterbatasan struktural dalam sistem produksi pertaniannya.

### 4.2. Implikasi kebijakan

Kebijakan pembangunan pertanian di kawasan Asia Tenggara perlu diarahkan pada peningkatan efisiensi teknis sebagai sumber utama pertumbuhan produktivitas, terutama dalam kondisi *decreasing returns to scale* yang membatasi efektivitas ekspansi input. Dalam kondisi tersebut, peningkatan kinerja tidak lagi cukup mengandalkan penambahan lahan atau input produksi, tetapi lebih pada optimalisasi penggunaannya melalui adopsi teknologi, peningkatan kualitas tenaga kerja, serta perbaikan manajemen usaha tani. Sejalan dengan hal tersebut, investasi pada mekanisasi, digitalisasi, dan infrastruktur pendukung menjadi penting untuk mendorong transformasi sistem produksi yang lebih efisien dan berkelanjutan. Bagi Indonesia, implikasi tersebut juga menekankan perlunya percepatan modernisasi pertanian yang diikuti dengan penguatan kelembagaan petani dan peningkatan kapasitas adopsi teknologi secara lebih merata.

Di sisi lain, perdagangan juga perlu diposisikan sebagai instrumen yang memfasilitasi peningkatan efisiensi, bukan sekadar perluasan pasar. Kebijakan impor dapat diarahkan untuk membuka akses terhadap teknologi, mesin, dan input antara yang lebih berkualitas, sementara kebijakan ekspor difokuskan pada peningkatan daya saing berbasis kualitas dan nilai tambah. Untuk mendukungnya, kebijakan fasilitasi perdagangan menjadi penting dan dapat dilakukan, terutama melalui penyederhanaan prosedur, pengurangan hambatan nontarif, serta penguatan sistem logistik dan standar produk. Selain itu, perbedaan tingkat efisiensi teknis sektor pertanian di kawasan Asia Tenggara menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih adaptif, di mana negara dengan efisiensi rendah didorong melalui penguatan kapasitas dan akses sumber daya, sementara negara yang lebih efisien dapat berperan dalam mendorong difusi teknologi dan praktik terbaik di tingkat regional.

### Daftar pustaka

- Abidin MZ. 2021. Pemulihan ekonomi nasional pada masa pandemi Covid-19: analisis produktivitas tenaga kerja sektor pertanian. *Indones Treas Rev.* 6(2):117–138. <https://doi.org/10.33105/itrev.v6i2.292>
- Asadel S, Kurniawan A, Setiawan MCA. 2022. Implementasi Sendai *framework* terhadap respons bencana alam di Filipina tahun 2016-2020. *J Polit Issues.* 3(2):86–97. <https://doi.org/10.33019/jpi.v3i2.70>
- Ayres R, Kneese A. 1969. Production, consumption, and externalities. *Am Econ Rev.* 59(3):282–297. <https://www.jstor.org/stable/1808958>
- Battese GE, Coelli TJ. 1988. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalized frontier production function and panel data. *J Econom.* 38(3):387–399. [https://doi.org/10.1016/0304-4076\(88\)90053-X](https://doi.org/10.1016/0304-4076(88)90053-X)
- Bhatti MA, Fazal S. 2021. Impact of modernized agriculture and trade on carbon emissions: the role of fossil fuel and renewable energy consumption evidenced from ASEAN states. *iRASD J Energ Environ.* 2(2):55–66. <https://doi.org/10.52131/jee.2021.0202.0017>
- Bibi Z, Khan D, Haq I ul. 2021. Technical and environmental efficiency of agriculture sector in South Asia: a Stochastic Frontier Analysis approach. *Environ Dev Sustain.* 23(6):9260–9279. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-01023-2>
- Chandel R, Bahadur S, Khan A, Li X, Xia X. 2022. Farm-level technical efficiency and its determinants of rice production in Indo-Gangetic plains: a Stochastic Frontier model approach. *Sustainability.* 14(4):2267. <https://doi.org/10.3390/su14042267>
- Christensen LR, Jorgenson DW, Lau LJ. 1973. Transcendental logarithmic production frontiers. *Rev Econ Stat.* 55(1):28–45. <https://doi.org/10.2307/1927992>

- Crost B, Duquennois C, Felter JH, Rees DI. 2018. Climate change, agricultural production and civil conflict: evidence from the Philippines. *J Environ Econ Manag*. 88: 379–395. <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2018.01.005>
- Danendra DI, Hidayat NK, Amanda D. 2025. The Impact of ASEAN+6 sustainable policies on Indonesia's cocoa butter trade. *BIO Web Conf*. 171:04011. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202517104011>
- Duong DK, Ngo TQ. 2022. Impact of energy consumption and agriculture growth on the environmental degradation: evidence from ASEAN countries. *AgBioForum* [Internet]. [accessed 2025 Mei 20]; 23(1):116–128. <https://agbioforum.org/menuscrypt/index.php/agb/article/view/95>
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2025a. Fertilizers by product (thousand USD) [Internet]. Rome: Food and Agriculture Organization; [accessed 2025 May 20]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RFB>
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2025b. Land area in agricultural sector (thousand hectare) [Internet]. Rome: Food and Agriculture Organization; [accessed 2025 Mei 20]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/RL>
- [FAO] Food and Agriculture Organization. 2025c. Export and import in agricultural sector (thousand USD) [Internet]. Rome: Food and Agriculture Organization; [accessed 2025 Mei 20]. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/TCL>
- Geng W, Liu L, Zhao J, Kang X, Wang W. 2024. Digital technologies adoption and economic benefits in agriculture: a mixed-methods approach. *Sustainability*. 16(11):4431. <https://doi.org/10.3390/su16114431>
- Hapsari H, Saidah Z, Irfan Ghani M, Kartika N. 2025. Hubungan karakteristik petani dengan tingkat adopsi *good agricultural practices* (GAP) dan pendapatan usaha tani. *J Pertan Agros*. 27(1):67–76. <https://doi.org/10.37159/jpa.v27i1.36>
- Ibnu M. 2024. Tantangan sektor pertanian dalam memenuhi kebutuhan pangan berkelanjutan. *J Litbang Media Inf Penelitian, Pengemb dan IPTEK* [Internet]. [diakses 2026 Jan 13]; 20(2):135–148. [http://repository.lppm.unila.ac.id/54382/1/Artikel%20Jurnal%20Litbang%20Pati\\_ibnu.pdf](http://repository.lppm.unila.ac.id/54382/1/Artikel%20Jurnal%20Litbang%20Pati_ibnu.pdf)
- Kea S, Li H, Pich L. 2016. Technical efficiency and its determinants of rice production in Cambodia. *Economies*. 4(4):22. <https://doi.org/10.3390/economies4040022>
- Khan D, Ullah A. 2020. Comparative analysis of the technical and environmental efficiency of the agricultural sector: The case of Southeast Asia countries. *Custos e Agronegocio* [Internet]. [accessed 2025 Mei 20]; 16(3):2–28. <http://www.custoseagronegocioonline.com.br/numero3v16/OK%201%20technical%20english.pdf>
- Kodde DA, Palm FC. 1986. Wald criteria for jointly testing equality and inequality restrictions. *Econometrica*. 54(5):1243. <https://doi.org/10.2307/1912331>
- Lanoe HRNO, Hadiwijoyo SS, Seba ROC. 2025. Tantangan dan peluang Indonesia dalam Association of Southeast Asian Nations (ASEAN) untuk menghadapi ketahanan pangan pasca pandemi Covid-19. *J Niara*. 17(3):257–266. <https://doi.org/10.31849/niara.v17i3.25823>
- Lee I, Jones K. 2023. Is ASEAN the next big opportunity for us agricultural export expansion? *Choices*. 38(1):1–7. <https://doi.org/10.22004/ag.econ.337193>
- Lin H-I, Yu Y-Y, Wen F-I, Liu P-T. 2022. Status of food security in East and Southeast Asia and challenges of climate change. *Climate*. 10(3):40. <https://doi.org/10.3390/cli10030040>
- Ma Y, Brümmer B, Yu X. 2023. Trade development and agricultural productivity change: evidence from China. *World Econ*. 46(10):3136–3153. <https://doi.org/10.1111/twec.13389>
- Makino T, Inthlangsee B. 2023. A Comparative study between organic agriculture for vegetables and fruits production in Lao PDR and the MRL approach used by other countries in the Mekong Region. *J ASEAN Stud*. 11(2):391–415. <https://doi.org/10.21512/jas.v11i2.9235>
- Matsvai S, Mushunje A, Tatsvarei S. 2022. Technical efficiency impact of microfinance on small scale resettled sugar cane farmers in Zimbabwe. *Cogent Econ Finance*. 10(1):2017599. <https://doi.org/10.1080/23322039.2021.2017599>
- Mizik T. 2021. Theory vs practice: Patterns of the ASEAN-10 agri-food trade. *Open Agric*. 6(1):152–167. <https://doi.org/10.1515/opag-2021-0014>
- Nga PTH, Tien PC, Cuong NQ. 2024. The impact of climate change on economic growth: A study of ASEAN countries. *Tạp chí Nghiên cứu Tài chính - Marketing*. 15(2):16–29. <https://doi.org/10.52932/jfm.vi2.518>
- Nguyen BH, Takahashi Y, Yabe M. 2016. Environmental efficiency and economic losses of Vietnamese tea production: implications for cost savings and environmental protection. *J Fac Agric Kyushu Univ*. 61(2):383–390. <https://doi.org/10.5109/1686503>
- Nie F, Li J, Bi X, Li G. 2022. Agricultural trade liberalization and domestic fertilizer use: Evidence from China-ASEAN free trade agreement. *Ecol Econ*. 195:107341. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2022.107341>
- Perbiansya R, Gustini DR. 2022. Analisis perkembangan hukum dagang Indonesia pada Masyarakat Ekonomi ASEAN: upaya menjadi negara dagang unggul dalam sektor pertanian. *Nusant J Pendidikan, Seni, Sains dan Sos Hum* [Internet]. [diakses 2025 Mei 20]; 1(1):1–25. <https://journal.forikami.com/index.php/nusantara/article/view/82>
- Quaralia PS. 2022. Kerjasama regional dalam rantai pasokan pertanian untuk mencapai ketahanan pangan berkelanjutan: studi kasus ASEAN. *Padjadjaran J Int Relations*. 4(1):56–73. <https://doi.org/10.24198/padjjr.v4i1.37614>

- Radlińska K. 2023. Some theoretical and practical aspects of technical efficiency—the example of European Union agriculture. *Sustainability*. 15(18):13509. <https://doi.org/10.3390/su151813509>
- Rahman I, Pratiwi AC, Citaningati PR. 2024. Peran sektor pertanian dalam pertumbuhan ekonomi di Kawasan ASEAN. *J Ekon Pertan dan Agribisnis*. 8(1):125–138. <https://doi.org/10.21776/ub.jepa.2024.008.01.10>
- Rahmatullah D, A'yun IQ. 2024. Analisis degradasi lingkungan pada penduduk perkotaan di negara anggota ASEAN. *J Manag Spec [Internet]*. [diakses 2025 Mei 20]; 2(2):132–140. <https://journal.institercom-edu.org/index.php/JMS/article/view/520>
- Rakholia R, Tailor J, Prajapati M, Shah M, Saini JR. 2024. Emerging technology adoption for sustainable agriculture in India – a pilot study. *J Agric Food Res*. 17:101238. <https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101238>
- Reinhard S, Knox Lovell CA, Thijssen GJ. 2000. Environmental efficiency with multiple environmentally detrimental variables; estimated with SFA and DEA. *Eur J Oper Res*. 121(2):287–303. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(99\)00218-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(99)00218-0)
- Ricome A, Barreiro-Hurle J, Sadibou Fall C. 2024. Government fertilizer subsidies, input use, and income: the case of Senegal. *Food Policy*. 124:102623. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2024.102623>
- Robbani H. 2021. Development of the ASEAN qualification recognition framework (AQRf) on halal management standardization as a success strategy for ASEAN Free Trade Area (AFTA). *Literatus*. 3(2):180–190. <https://doi.org/10.37010/lit.v3i2.404>
- Rozci F, Inti RW. 2023. Kondisi dan strategi pertanian Indonesia dalam memenangkan ACFTA (Asean-China Free Trade Area). *J Ilm Manaj Agribisnis*. 11(2):71–80. <https://doi.org/10.33005/jjmaemagri.v11i2.14>
- Salasa AR. 2021. Paradigma dan dimensi strategi ketahanan pangan Indonesia. *Jejaring Adm Publik*. 13(1):35–48. <https://doi.org/10.20473/jap.v13i1.29357>
- Sereenonchai S, Arunrat N. 2022. Urban Agriculture in Thailand: Adoption Factors and Communication Guidelines to Promote Long-Term Practice. *Int J Environ Res Public Health*. 20(1):1. <https://doi.org/10.3390/ijerph20010001>
- Soekapdjo S, Esther AM. 2019. Determinasi pertumbuhan ekonomi berkelanjutan di ASEAN-3. *J Ilm Ekon dan Bisnis*. 16(2):176–182. <https://doi.org/10.31849/jieb.v16i2.2978>
- Sriboonchitta S, Liu J, Wiboonpongse A, Denoeux T. 2017. A double-copula Stochastic Frontier model with dependent error components and correction for sample selection. *Int J Approx Reason*. 80:174–184. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2016.08.006>
- Sukmawati DA. 2025. Analisis pengaruh variabel makroekonomi terhadap pengangguran di negara ASEAN. *Econ Financ Bus Rev*. 1(1):27–35. <https://doi.org/10.20885/efbr.vol1.iss1.art3>
- Sunge R, Ngepah N. 2020. Agricultural trade liberalization, regional trade agreements and agricultural technical efficiency in Africa. *Outlook Agric*. 49(1):66–76. <https://doi.org/10.1177/0030727019870551>
- Thi HNN. 2022. Farm mechanization and its impact on labour use among rice farming households: an experience from Thai Binh Province in Vietnam. *Int J Agric Ext [Internet]*. [2026 Feb 2]; 10(1):135–148. <https://esciencepress.net/journals/IJAE/article/view/4007/3016>
- Trakem V, Fan H. 2024. Agricultural trade liberalization, governance quality, and technical efficiency in the agricultural sector of Southeast Asia. *Heliyon*. 10(21):e39553. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39553>
- Ulkhag MM. 2024. Pengukuran efisiensi sektor logistik menggunakan data envelopment analysis. *Pros Semin Nas Teknol Energi dan Miner*. 4(1):177–182. <https://doi.org/10.53026/prosidingsntem.v4i1.49>
- Utomo SJ, Wulandari D. 2024. Sistem sewa lahan pertanian masyarakat pedesaan dalam perspektif ekonomi. *J Din Ekon Pembang*. 3(1):27–33. <https://doi.org/10.33005/jdep.v3i1.101>
- Wanwivat K. 2019. Industrial growth and development in Thailand 1980-2010: a lesson learned for CLMV. *Soc Sci Rev*. 156:51–70. <https://doi.org/10.24561/00018614>
- Wijaya A, Nurcahyo R. 2022. Agricultural mechanization in Indonesia and comparison to Southeast Asia countries. In: 12th Annual International Conference on Industrial Engineering and Operations Management, 2022 Mar 7–10, Istanbul, Turkey. Southfield: IEOM Society International. p. 1–10. <https://doi.org/10.46254/AN12.20220067>
- World Bank. 2025. Agriculture (% of GDP) [internet]. Washington DC: World Bank Data Indicators; [accessed 2025 Mei 20]. <https://data.worldbank.org/indicator/NV.AGR.TOTL.ZS>