

Цифровізація на основі штучного інтелекту та її вплив на динаміку попиту на нафту і економічну траєкторію Індонезії

АНОТАЦІЯ. У цьому дослідженні використовується підхід на основі змішаних методів (економетрика та аналіз політики) для оцінки впливу технологічної трансформації на основі штучного інтелекту на попит на нафтопродукти в Індонезії та її загальну економічну траєкторію на шляху до реалізації візії «Золота Індонезія 2045». Дослідження зосереджується на трьох сферах: операційна ефективність, ключові макроекономічні показники (ВВП та торговельний баланс) та стратегічна узгодженість політики. Кількісний аналіз підтверджує значну позитивну кореляцію між впровадженням ШІ та підвищенням операційної ефективності у секторі переробки та збуту. Дані свідчать, що складні ШІ-додатки, такі як системи прогнозного технічного обслуговування та точне змішування палива (з досягненням $R^2 = 0,99$), призводять до відчутної економії операційних витрат та максимізації випуску продукції з існуючих вуглеводневих активів. Однак, макроекономічний ефект від ШІ виявляється помірним і суттєво обмеженим. Хоча ефективність, зумовлена ШІ, має статистично значущий, хоча й невеликий, позитивний вплив на зростання ВВП та зменшення дефіциту торгівлі нафтою та газом, ця вигода є незначною порівняно з постійними структурними проблемами. Позитивний вплив внутрішніх заощаджень суттєво нівелюється великим обсягом необхідного імпорту нафти та величезним фіскальним навантаженням через незавершені реформи субсидування палива, яке у 2022 р. сягнуло піку у 2,8 % ВВП. Відповідно, торговельний баланс у нафтогазовій галузі залишається критично дефіцитним, зафіксувавши збитки у розмірі 1,55 млрд доларів США та 1,58 млрд доларів США у травні та липні 2025 року відповідно. Дослідження підтверджує сильну стратегічну узгодженість «зверху вниз» між національними ініціативами у сфері ШІ (такими як STRANAS KA) та планами розвитку енергетики. Проте детальний якісний аналіз виявляє значні перешкоди у впровадженні, які стримують трансформаційний потенціал ШІ. Ці поширені бар'єри включають системні прогалини в інфраструктурі, слабкі практики управління даними, серйозний дефіцит цифрових навичок, високі початкові інвестиційні витрати та глибоку організаційну інерцію у великих підприємствах, що часто призводить до «пастки пілотних проектів», коли дрібні проекти не

¹ **Вірянта Мульджоно** — PhD, доцент факультету економіки та бізнесу Університету Себелас Марет/Університету Монаш в Індонезії (Суракарта, Індонезія). Сфера наукових інтересів: цифрова економіка, енергетична економіка, глобальний економічний розвиток та макроекономічна стабільність, поширення інновацій та конкурентні бізнес-моделі, застосування штучного інтелекту та безпека даних. Електронна пошта: wiryantomuljono@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8679-7767>

² **Падманабха Аджакса Сетянто** — науковець у галузі даних, аспірант програми «Інформаційні системи та технології», Школа електротехніки та інформатики, Технологічний інститут Бандунга (Institut Teknologi Bandung) (Бандунг, Індонезія). Сфера наукових інтересів: глобальні інновації, застосування штучного інтелекту, фінансові технології. Електронна пошта: padmanabhaadyaksasetyanto@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-4639-0961>



вдається масштабувати. Насамкінець, слід зазначити, що нинішня роль ШП значною мірою обмежується підвищенням операційної ефективності в межах існуючої, застарілої енергетичної системи. Щоб ШП став справжнім рушієм фундаментальних структурних змін, політичні заходи повинні рішуче пов'язати інвестиції в ШП з комплексною реформою енергетичних субсидій та прискоренням розвитку сектору відновлюваної енергетики як першочерговими національними цілями. Дане дослідження пропонує інтегрований техніко-економічний аналіз впровадження технологій у ресурсозалежній економіці, що розвивається.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: впровадження штучного інтелекту, стратегії цифрової трансформації, попит на нафтопродукти, економічне зростання, енергетичний сектор Індонезії, операційна ефективність, торговельний баланс, виклики впровадження.

Вступ

Прогнозується, що швидке економічне зростання Індонезії призведе до збільшення попиту на паливо, зміцнивши його зростаючий вплив на світовому енергетичному ринку. Виконавчий директор Інституту реформування основних послуг (IESR) Фаббі Туміва під час відкриття Економічно-торговельного представництва Індонезії в Тайбеї (ІЕТО) 2023 р. наголосив, що країна є найбільшим споживачем енергії в Південно-Східній Азії та входить до числа найбільших споживачів первинної енергії в Азіатсько-Тихоокеанському регіоні після Китаю, Індії, Японії та Південної Кореї³. Це зростання споживання енергії, у поєднанні з прогнозованим найближчим (2025 та 2026 рр.) щорічним зростанням ВВП на 4,8 %, підкреслює розширення ролі Індонезії на світовій енергетичній арені⁴.

Це зростання, ймовірно, спричинить збільшення споживання енергії в усіх секторах, включаючи транспорт та промисловість. З огляду на економічне зростання, прогнозується, що споживання енергії майже потроїться протягом наступних кількох десятиліть — з 195 млн тон нафтового еквіваленту (Мтн.н.е.) у 2020 році до 556,5 Мтн.н.е. у 2060 році. Нафта, разом з електроенергією, буде домінувати у зростанні попиту на енергію⁵. Очікується, що значна залежність транспортного сектору від бензину збережеться щонайменше до 2060 року, навіть попри зростання популярності електромобілів. Ця стійкість підкреслюється структурними викликами енергетичної трансформації Індонезії, де, незважаючи на амбітні цілі щодо нульових викидів, бюджетні обмеження та повільні темпи розбудови інфраструктури залишаються значними перешкодами (Ресосудармо та ін., 2023)⁶.

³ IESR — Indonesia Energy Transition Outlook (IETO) 2023. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/03/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2023.pdf>.

⁴ Міжнародний валютний фонд. (2025). Прогноз світової економіки, квітень 2025 р.: Критичний момент на тлі змін у політиці. МВФ.

⁵ Міжнародне енергетичне агентство (МЕА). (2024). Світовий енергетичний прогноз 2024. МЕА. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.

⁶ Resosudarmo, B. P., Effendi, Y., & Rezki, J. F. (2023). Огляд останніх подій: Перспективи енергетичної трансформації в Індонезії. *Бюлетень індонезійських економічних досліджень*, 59(2), 149–177. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2244806>

Згідно з даними Центру перепису та економічної інформації (CEIC)⁷, споживання нафти в Індонезії демонструвало стійку тенденцію до зростання з 1965 по 2023 рік, досягнувши піку в 1,62 млн барелів на добу (мб/д) у 2018 р. Це зростання можна пояснити демографічними та економічними факторами, зокрема зростанням населення, урбанізацією, появою середнього класу та розширенням промисловості. Однак у цьому контексті аналіз останніх даних щодо споживання нафти в Індонезії вказує на уповільнення темпів зростання (див. рис. 1).

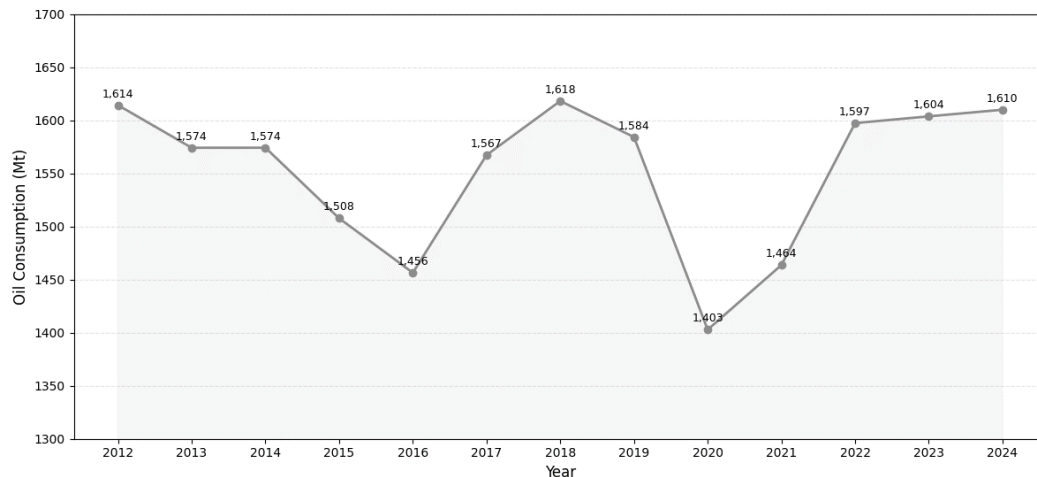


Рис. 1. Споживання нафти в Індонезії

Джерело: дані CEIC⁸

Так само, як зростання споживання нафти в Індонезії позитивно корелює з ВВП на душу населення, темпами урбанізації та розширенням транспортного сектору, втручання в енергетичну політику опосередковують або послаблюють цей взаємозв'язок. Такий аналіз надасть цінну інформацію для формування майбутньої енергетичної політики та сприяння диверсифікації енергетики в Індонезії.

Індонезія є нетто-імпортером сирової нафти та нафтопродуктів, і ця тенденція прискорила в останні роки. У міру зростання внутрішнього попиту на нафту імпортні потреби країни будуть зростати, що впливатиме на світові ціни на нафту та її ланцюги постачання. Завдяки значній

⁷ Дані CEIC. 2024. «Споживання нафти в Індонезії, 2012–2024 рр.». Центр перепису населення та економічної інформації. <https://www.ceicdata.com/en/indicator/indonesia/oil-consumption>

⁸ CEIC. (2024). Споживання нафти в Індонезії. <https://www.ceicdata.com/en/indicator/indonesia/oil-consumption>

чисельності населення та економіці, структури споживання енергії Індонезії надають їй більшого впливу на регіональних та міжнародних енергетичних форумах, таких як АСЕАН, G20, АПЕК та БРІКС+.

Щоб задовольнити зростаючий попит на енергію та зміцнити свої ринкові позиції, Індонезія стикається з викликами. Уряд встановив цілі щодо відновлюваних джерел енергії, але публічно визнав, що для задоволення зростаючих енергетичних потреб країни й надалі необхідні викопні види палива, такі як нафта та газ. Для розширення енергетичних проєктів надзвичайно важливо залучати як місцеві, так і іноземні інвестиції. Енергетична політика та ринкове регулювання стикаються з викликами, зокрема щодо субсидій та невизначеності в регуляторній сфері.

Звіти PwC про нафтогазовий сектор Індонезії (2024)⁹ показують, що Індонезія є шостим за величиною експортером СПГ, але видобуток нафти скорочувався, що вимагало імпорту для задоволення зростаючого внутрішнього споживання. У звіті підкреслювався значний дефіцит у досягненні цілей Індонезії щодо інвестицій у відновлювані джерела енергії та відзначався вплив глобальної енергетичної волатильності та геополітичної нестабільності на цей сектор.

Індонезія зберегла за собою шосте місце серед найбільших світових експортерів скрапленого природного газу (СПГ) з обсягом виробництва 23,3 млн тон на рік. В інших аспектах видобуток сирої нафти в Індонезії ледве встигав за зростаючим споживанням, яке збільшилося з 1 400 млн барелів на добу у 2020 році до 1 585 млн барелів на добу у 2022 році, що призвело до збільшення імпорту нафти. Водночас видобуток газу в Індонезії перевищив цільовий показник державного бюджету, досягнувши 6 802 млн кубічних футів на добу у 2023 році.

Індонезія прагне досягти значного економічного зростання, маючи на меті стати однією з провідних світових економік до 2045 року, спираючись на двосторонню стратегію, що передбачає технологічний прогрес та надійне управління традиційним енергетичним сектором. Країна визначила цифрову трансформацію національним пріоритетом, запровадивши такі ініціативи, як «Making Indonesia 4.0» та Національну стратегію впровадження штучного інтелекту (2020–2045), спрямовані на підвищення продуктивності, конкурентоспроможності та інноваційності¹⁰. Прогнозується, що штучний інтелект стане ключовим рушієм, який до 2030 року може додати сотні мільярдів доларів до національного ВВП завдяки підвищенню ефективності та створенню нових можливостей у різних секторах.

Водночас нафтопереробна промисловість Індонезії залишається центральною для економіки, забезпечуючи життєво важливу енергію для

⁹ PwC «Інвестиції в нафтогазову галузь Індонезії» (2024). <https://www.pwc.com/id/en/pwc-publications/industries-publications/energy---utilities---mining-publications/oil-gas-guide-2025.html>

¹⁰ Kominfo (Міністерство комунікацій та інформаційних технологій). (2024). Національна стратегія впровадження штучного інтелекту (2020–2045). Kominfo. <https://www.kominfo.go.id/>

транспорту, виробництва та інших секторів. Історично нафтогазовий сектор був життєво важливим джерелом доходів та економічної стабільності, хоча на його внесок та майбутнє зараз впливають глобальні зміни у напрямку відновлюваних джерел енергії.

Проблематика статті та аналіз прогалин у наукових дослідженнях

Це дослідження присвячене критичній прогалині в науці на стику цифрової трансформації на основі штучного інтелекту (ШІ) та сектору переробки та збуту нафти в Індонезії. Незважаючи на стрімкий цифровий прогрес країни, ефективне впровадження ШІ для повної оптимізації ланцюга постачання енергії суттєво обмежується низкою операційних та інфраструктурних перешкод. Зокрема, потенціал передових систем ШІ обмежується недостатньою цифровою інфраструктурою, зокрема низьким рівнем проникнення широкосмугового інтернету в багатьох регіонах, що фундаментально обмежує можливість ефективного впровадження та масштабування цих систем. Одночасно існує значний дефіцит робочої сили, що вимагає підготовки висококваліфікованих кадрів, здатних ефективно використовувати та підтримувати складні технології ШІ для досягнення оптимальних результатів у секторі.

Необхідність ефективної цифрової трансформації підсилюється постійними структурними викликами у секторі переробки та збуту нафти. Цей сектор страждає від хронічного дефіциту внутрішніх потужностей, що змушує країну сильно та постійно покладатися на імпорту нафту. Ця структурна слабкість не тільки створює серйозні вразливості для національної енергетичної безпеки, але й чинить постійний, згубний тиск на національний платіжний баланс.

З наукової точки зору, в основі цієї проблеми лежить значний пробіл у дослідженнях, оскільки більшість існуючої літератури розглядає цифрову економіку та енергетичний сектор як чітко відокремлені утворення. Існує явна нестача комплексних досліджень, які б як кількісно, так і якісно досліджували, як конкретні, зумовлені ШІ досягнення у переробній нафтовій галузі Індонезії можуть безпосередньо пом'якшити структурний дефіцит потужностей і, як наслідок, зменшити залежність від імпорту. Важливо, що існує прогалина у демонстрації того, як ця ефективність, забезпечена ШІ, та подальше скорочення імпорту можуть, у свою чергу, стимулювати загальне макроекономічне зростання. Це дослідження спеціально розроблено для усунення цієї прогалини шляхом надання інтегрованого техніко-економічного аналізу впливу ШІ на попит у переробній галузі та його впливу на більш широке економічне зростання Індонезії.

Цілі та гіпотези дослідження

Головною метою цього дослідження є ретельне вивчення ролі штучного інтелекту (ШІ) у підвищенні операційної ефективності в індонезійській нафтопереробній галузі та визначення подальшого впливу цієї ефективності на економічне зростання. Для досягнення цієї головної мети в дослідженні спочатку буде кількісно оцінено, наскільки впровадження технологій на основі ШІ вплинуло на операційну ефективність сектору переробки, зосередившись на таких показниках, як використання потужностей нафтопереробних заводів та логістика розподілу. Цей кількісний аналіз базується на основній гіпотезі (H1), згідно з якою більш широке впровадження технологій ШІ (наприклад, прогновної аналітики та інтелектуальної логістики) позитивно корелює з підвищенням операційної ефективності в галузі. Це перевіряється на протипагу нульовій гіпотезі (H01), згідно з якою значущої кореляції не існує.

Після дослідження операційних змін у дослідженні буде розглянуто, як будь-яке підвищення ефективності, потенційно забезпечене ШІ, вплинуло на торговельний баланс Індонезії, зокрема на зменшення залежності від імпортованих нафтопродуктів у період 2015–2024 рр. Це призводить до другої кількісної гіпотези (H2), яка стверджує, що підвищення операційної ефективності має значний позитивний вплив на зменшення дефіциту торгівлі нафтою та газом і збільшення загального економічного зростання. Відповідна нульова гіпотеза (H02) передбачає відсутність значного позитивного впливу як на торговельний дефіцит, так і на економічне зростання. Насамкінець, дослідження має на меті контекстуалізувати ці висновки шляхом визначення ключових чинників, викликів та стратегічних міркувань щодо впровадження технологій ШІ для підтримки сталого економічного зростання, а також зрозуміти, як інтерв'ю з експертами та програмні документи висвітлюють взаємодію між ШІ, сектором переробки та економічним розвитком Індонезії. Цей якісний аспект побудовано навколо гіпотези змішаних методів (H3), яка стверджує, що стратегічна узгодженість між національною політикою у сфері ШІ та цифрової трансформації (наприклад, «Making Indonesia 4.0») та планами сектору переробки та збуту є вирішальним фактором для реалізації потенціалу ШІ, але цей потенціал одночасно обмежується проблемами впровадження, пов'язаними з прогалинами в інфраструктурі, нестачею кваліфікованих кадрів та організаційною інерцією. Нульова гіпотеза (H03) передбачає, що ця стратегічна узгодженість не має значення або що проблеми з впровадженням не є суттєвими для результату.

Ця комплексна концептуальна основа, що використовує дослідницький дизайн змішаних методів, дозволяє ретельно дослідити складні взаємозв'язки між технологічною трансформацією, динамікою енергетичного сектору та економічними результатами в індонезійському контексті.

Огляд літератури

Наукова література, присвячена економічному розвитку Індонезії, узагальнено поділяється на три окремі напрямки: дослідження цифрової трансформації та впровадження штучного інтелекту, аналіз енергетичного сектору та сектору переробки нафти, а також більш широкі макроекономічні дослідження. Цей огляд узагальнює ключові висновки з цих напрямків, критично оцінюючи існуючі дослідження з метою виявлення критичних перетинів та виділення прогалин, на усунення яких спрямовано це дослідження.

Впровадження штучного інтелекту та стратегії цифрової трансформації в Індонезії

Уряд Індонезії активно просував цифрову трансформацію в державних підприємствах (ДП), таких як *Pertamina*¹¹, заклавши важливу основу для впровадження штучного інтелекту (ШІ) в енергетичному секторі в період з 2015 по 2024 рік. ШІ революціонізує планування та прогнозування попиту в ланцюгу постачання, використовуючи величезні масиви даних та машинне навчання для створення точніших прогнозів, сприяння швидкому реагуванню на зміни ринку та оптимізації операцій (Кумар та ін., 2025)¹². Протягом цього періоду було запроваджено конкретні національні стратегії впровадження ШІ, визначивши пріоритетні напрямки розвитку.

Системи ШІ інтегрували дані з різних джерел, включаючи історичні дані про продажі, ринкові тенденції, супутникові дані та прогнози погоди, що дозволило державним підприємствам виявляти тонкі закономірності та досягати більшої точності прогнозування порівняно з традиційними методами. Це покращене передбачення попиту дозволило краще планувати виробництво, закупівлі та логістику розподілу, що в кінцевому підсумку призвело до більш оптимальної маршрутизації, зниження операційних витрат та покращення оперативності. У деяких випадках логістичні системи на основі ШІ продемонстрували потенціал для значного повернення інвестицій (ROI), суттєво сприяючи загальній операційній ефективності та зміцненню національної енергетичної безпеки, особливо в умовах існуючих викликів, таких як велика географічна розкиданість країни, залежність від імпорту та складна паливна мережа.

У цьому контексті технічна неефективність у логістиці нижнього сегмента ланцюга постачання — зокрема високі витрати на наземний

¹¹ Pertamina. (2024). *Річний звіт Pertamina за 2024 рік*. Pertamina.

¹² Kumar, P., Dadwal, S., Verma, R., & Kumar, S. (Eds.). (2025). *Digital transformation for business sustainability and growth in emerging markets*. Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781835491096>

транспорт уздовж завантажених коридорів, таких як термінали Джакарта-Танджунг-Герем — була емпірично задокументована (Хідаят, Мульйон, 2025)¹³. Їхня оптимізація маршрутів за допомогою лінійного програмування безпосередньо вирішує цю проблему; система, запропонована в цьому дослідженні, розширює цей обсяг, включаючи ширшу структурну стійкість. Завдяки впровадженню прогнозного технічного обслуговування на основі штучного інтелекту та високочастотного прогнозування попиту ми гарантуємо, що визначені ними економії не тільки реалізуються, але й підтримуються завдяки проактивному прийняттю рішень на основі даних.

У контексті індонезійської ініціативи «*Making Indonesia 4.0*» результати останніх досліджень свідчать, що цілеспрямовані державні заходи — такі як стимули до впровадження штучного інтелекту, розвиток інфраструктури для роботи з великими даними та регулювання «цифрових пісочниць» — прискорили перехід країни до цифрової економіки (Мульйон, 2021¹⁴; Мульйон та Сетіяваті, 2022¹⁵; Сарі, Насрудін, 2022¹⁶). Ці заходи підвищують продуктивність та операційну ефективність у виробництві, що впливає на промислову конкурентоспроможність та інтеграцію у глобальні ланцюги створення вартості. Ініціатива Індонезії «*Making Indonesia 4.0*» стала тестовим прикладом того, як країни із середнім рівнем доходу застосовують промислову політику для прискорення цифрової трансформації. Мульйон (2021) та Мульйон і Сетіяваті (2022) показують, що фінансові стимули для впровадження ІІІ, державні інвестиції в інфраструктуру великих даних та регуляторні пісочниці розширили експерименти на рівні підприємств у виробництві, тоді як Сарі і Насрудін (2022) документують підвищення операційної ефективності, оскільки підприємства кодифікують виробничі дані та автоматизують рутинні завдання. У сукупності ці дослідження свідчать про те, що керована політикою цифровізація підвищує продуктивність не лише завдяки поглибленню капіталу, а й завдяки реорганізації організаційних процесів — ефекти, що мають значення для позиції Індонезії в регіональних ланцюгах створення вартості та для ширшої дискусії щодо промислової стратегії в епоху ІІІ.

Таким чином, цей досвід є порівняльним орієнтиром для економік, які прагнуть збалансувати впровадження технологій з конкурентоспроможністю та справедливістю на світових ринках. На додаток до цього

¹³ Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing fuel distribution costs through vehicle routing problem modeling in Jakarta-Tanjung Gerem terminals. *Cost Efficiency through Vehicle Routing Models*, 3873–3884. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547>

¹⁴ Muljono, W. (2021). *Kepemimpinan digital: Modul PKN Tingkat II* [Digital leadership: National leadership training module level II]. Lembaga Administrasi Negara. ISBN: 978-602-7594-55-5

¹⁵ Muljono, W., & Setiyawati, S. (2022). Digital economy: the main power for digital industry in Indonesia. *International Journal of Technological Globalisation*, 15(4), 423–444. <https://doi.org/10.1504/IJTGM.2022.125908>

¹⁶ Sari, D. R., & Nasrudin, N. (2022). Constructing Indonesian digital economy index in determining economic policy priorities amidst the Covid-19 pandemic. *Economics and Finance in Indonesia*, 68(1), Article 5. <https://doi.org/10.47291/efi.2022.05>

промислового поштовху до цифровізації уряд Індонезії також інтегрував технології у свою стратегію енергетичної трансформації. Як детально описано в роботі Ресосудармо та ін. (2023)¹⁷, це включає амбітні цілі з боку попиту, такі як впровадження 2 млн електромобілів та 13 млн електромотоциклів до 2030 р., як частина розширеного національно визначеного внеску (E-NDC) країни. Однак Ресосудармо та ін. (2023) підкреслюють, що хоча ці цифрові та зелені переходи теоретично узгоджені, їх практична реалізація стикається зі значними фінансовими обмеженнями, що вимагає делікатного балансу між внутрішніми бюджетними асигнуваннями та міжнародним фінансуванням заходів щодо боротьби зі зміною клімату через такі механізми, як Партнерство за справедливий енергетичний перехід (з англ. Just Energy Transition Partnership, JETP).

Спільний звіт AC Ventures, BCG/BCG X та KADIN (Сяхрір та ін., 2024)¹⁸ розглядає фінансовий сектор Індонезії як політичну лабораторію для поширення (Gen)AI. У ньому задокументовано, як Predictive AI та Generative AI вже скорочують операційні витрати та розширюють охоплення послуг, а також прогнозується підвищення ефективності в усьому секторі, якщо впровадження відбуватиметься у великих масштабах. Важливо, що аналіз пов'язує інструменти на рівні компаній — моделі кредитного рейтингу, автоматизовані робочі процеси з дотримання вимог, інтерфейси для клієнтів на базі GenAI — з важелями політики на макrorівні: стандартами управління даними, пісочницями для нагляду та координацією між державним і приватним секторами через галузеві асоціації. Висуваючи на перший план ці механізми, звіт розглядає ШІ не лише як шок продуктивності, а й як інституційну проблему для регуляторів, які намагаються збалансувати інновації, фінансову стабільність та інклюзивність. Таким чином, досвід Індонезії пропонує порівняльну основу для країн із середнім рівнем доходу, які прагнуть регулювати ШІ у фінансовій сфері, не збільшуючи розбіжностей у доступі чи ризиках.

Однак більш обережне прочитання свідчить про те, що панівний оптимізм щодо траєкторії розвитку ШІ в Індонезії значною мірою спирається на заяви на макrorівні, а не на задокументовані результати впровадження. Прогнози консультаційних кіл (наприклад, BCG-Google) висувають на перший план сукупне підвищення ефективності, але рідко аналізують галузеві вузькі місця або ефекти розподілу. Натомість, останні мікродані підкреслюють нерівномірне поширення: Мулджоно та Сетіаваті

¹⁷ Resosudarmo, B. P., Effendi, Y., & Rezki, J. F. (2023). Survey of Recent Developments: Prospects of Energy Transition in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 59(2), 149–177. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2244806>

¹⁸ Sjahrir, P., Li, A., & Soerijadji, M. (2024). *Harnessing the power of (Gen)AI in Indonesian financial services*. AC Ventures; Boston Consulting Group (BCG); BCG X. <https://web-assets.bcg.com/1b/42/1554aac447d88aecbe1048285eed/harnessing-the-power-of-genai-in-indonesian-financial-services.pdf>

(2021)¹⁹ виявили, що великі підприємства інтегрують ІІІ відносно легко, тоді як МСП стикаються з суттєвими обмеженнями у доступі до технологій та кваліфікованої робочої сили. Ця розбіжність переорієнтовує політичний виклик від амбітних дорожніх карт до розробки цільових інструментів²⁰ — послуг з поширення технологій, професійного навчання та фінансування цифрової модернізації — які можуть узгодити впровадження на рівні підприємств із ширшими цілями конкурентоспроможності та інклюзивності.

Ключовим обмеженням, яке часто недооцінюється в літературі, є всеосяжний вплив цифрового розриву як фундаментального обмеження впливу ІІІ на макrorівні, особливо у фрагментованих секторах, таких як ланцюг постачання нафтопродуктів. Дослідження Світового банку (2023)²¹ критично вказує на те, що рівень проникнення фіксованого широкосмугового доступу в Індонезії залишається нижчим за середній показник АСЕАН, що «потенційно перешкоджає повномасштабному впровадженню рішень на основі ІІІ, які вимагають високошвидкісного підключення».

Значення цієї недостатньої інфраструктури часто недооцінюють; це не просто «перешкода» для впровадження, а системне вузьке місце, яке фундаментально спростовує припущення про ефективну, керовану даними роботу ІІІ, особливо в географічно розрізнених ланцюгах постачання. Залежність від застарілих, невідключених систем у багатьох частинах нафтового сектору фактично робить багато передових рішень на основі ІІІ неактуальними або непрацездатними без масштабних і потенційно неекономічних інвестицій в необхідну інфраструктуру.

Динаміка сектору переробки та збуту нафти

Дослідження переробного сектору нафтової галузі Індонезії зазвичай зосереджуються на його стратегічному значенні, операційних викликах та екологічних проблемах. Аналітики Pertamina вже давно наголошують на ролі сектору в національній енергетичній безпеці, а в кількох звітах задокументовано постійний дефіцит нафтопереробних потужностей у країні²². Ця залежність від імпорту палива, особливо бензину та дизельного палива, є постійною темою в літературі (Лахадалія та Суброто, 2025)²³.

¹⁹ Muljono, W., & Setiyawati, S. (2021). Consumers perception on continuance intention of online shopping. *Asia-Pacific Management and Business Application*, 9(3), 261–276. <https://doi.org/10.21776/ub.apmba.2021.009.03.5>

²⁰ Martini, M., Setiawan, D., Suryandari, R. T., Brahmana, R. K., & Asrihapsari, A. (2023). Determinants of digital innovation in micro and small industries. *Economies*, 11(6), 172. <https://doi.org/10.3390/economies11060172>

²¹ World Bank. (2023). Indonesia economic prospect report. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/publication/indonesia-economic-prospects-june-2023>.

²² Pertamina. (2024). Pertamina's 2024 annual report. Pertamina. <https://www.pertamina.com/>.

²³ Lahadalia, B., & Subroto, A. (2025). Downstreaming, Industrialization, and Energy Resilience in Responding to Economic Fragmentation and Contemporary Geopolitical Changes. *Proceeding Jakarta Geopolitical Forum*, 9(1), 24–42. <https://doi.org/10.55960/jgf.v9i1.290>

Хоча ці дослідження точно діагностують проблему залежності від імпорту, критична оцінка показує, що вони часто використовують традиційні рамки економічного та політичного аналізу, не враховуючи революційний потенціал нових технологій, таких як ШІ. Наприклад, їхні аналізи підвищення ефективності зазвичай ґрунтуються на традиційних методах капітальних інвестицій або оптимізації процесів, а не на прогнозованому технічному обслуговуванні чи логістиці на основі ШІ.

Крім того, дослідження часто висвітлюють екологічні виклики, з якими стикається галузь, підкреслюючи необхідність більш екологічних та стійких практик. Дж. Терезія (2023)²⁴ досліджує, як поточні та заплановані ініціативи з енергетичної трансформації у секторі переробки та збуту нафти та газу — галузі, яка перебуває під тиском необхідності адаптуватися до глобальних вимог декарбонізації та потребує значних інвестицій у модернізацію інфраструктури та впровадження нових технологій — можуть бути реалізовані, приділяючи особливу увагу викликам, пов'язаним із *справедливим* аспектом цієї трансформації. Хоча така оцінка є обґрунтованою, вона часто розглядає технологічну адаптацію переважно в контексті екологічного регулювання, а не досліджує, як передові цифрові інструменти, такі як штучний інтелект, можуть проактивно сприяти як екологічним, так і оперативним вигодам²⁵.

Глобальний енергетичний перехід: системні обмеження та розрив у дослідженнях

Глобальний енергетичний перехід стикається з постійною інерцією, і звіти таких організацій, як Міжнародне енергетичне агентство (МЕА)²⁶ та *Enerdata Global Energy Trends 2025*²⁷, одноставно підтверджують, що це не є лише наслідком технологічної недостатності. Навпаки, тривале домінування викопного палива глибоко вкорінене в економічних, політичних та соціальних системах. Дані МЕА та Enerdata конкретно підкреслюють, що глобальне споживання енергії, особливо в основних азіатських країнах, що розвиваються, включаючи Китай, Індію та Індонезію,

²⁴ Theresya, J. (2023, Oktober). *Mengoperasionalkan keadilan di dalam konsep transisi energi berkeadilan di Indonesia*. Indonesia Research Institute for Decarbonization (IRID). <https://dev.iris.or.id/en/mengoperasionalkan-keadilan-di-dalam-konsep-transisi-energi-berkeadilan-di-indonesia/>

²⁵ Institute for Essential Services Reform. (2024). *Indonesia energy transition outlook 2025: Navigating Indonesia's energy transition at the crossroads: A pivotal moment for redefining the future*. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/12/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2025-Digital-Version.pdf>

²⁶ International Energy Agency (IEA). (2024). *World energy outlook 2024*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>.

²⁷ Enerdata. (2025). *Global energy trend edition 2025: Continued growth in energy consumption and emissions*. <https://www.enerdata.net/system/files/publications/Enerdata-global-energy-trends-2025.pdf>

прискорюється, перевищуючи історичні темпи. Незважаючи на значне розширення потужностей відновлюваних джерел енергії, викопне паливо, зокрема вугілля та газ, зберігає своє домінування і продовжує зростати в абсолютному обсязі. Ця тенденція свідчить про критичну невдачу у досягненні достатнього розриву між зростанням валового внутрішнього продукту (ВВП) та викидами CO₂, підкреслюючи серйозну глобальну проблему у сфері клімату та розвитку.

Ці системні виклики ускладнюються значним подвійним розривом, що спостерігається в існуючій науковій та галузевій літературі, що перешкоджає стратегічному застосуванню передових технологій для вирішення галузевих проблем. Перший розрив характеризується «вертикальним» підходом до технологій у дослідженнях, що стосуються штучного інтелекту (ШІ) та цифровізації. У цих роботах часто застосовується узагальнена макроекономічна перспектива, що підкреслює потенціал широкої ефективності у таких сферах, як фінанси чи промисловість загалом. Важливо, що вони часто не надають достатнього детального аналізу структурних та методологічних обмежень, притаманних впровадженню ШІ у конкретних, складних та географічно роздроблених секторах, таких як ланцюг постачання нафтопродуктів. Друга розбіжність впливає з літератури, що зосереджується на традиційному секторі переробки та збуту нафти. Ці дослідження переважно обмежуються аналізом звичайних операційних та економічних викликів — головним чином, нестачі переробних потужностей та значної залежності від імпорту — без ретельного вивчення чи кількісної оцінки того, як конкретні технологічні досягнення можна стратегічно інтегрувати для усунення цих стійких структурних недоліків. Ця подвійна обмеженість підкреслює глибоку прогалину в дослідженнях: помітну відсутність інтегрованих, детальних досліджень, які б ефективно поєднували теоретичний потенціал ШІ з нагальними, конкретними та структурно обмеженими вимогами сектору переробки та збуту енергоносіїв для забезпечення справжнього економічного та промислового переходу.

Індонезія перебуває на критичному етапі свого енергетичного шляху, намагаючись збалансувати стійке економічне зростання та стрімке зростання попиту на енергію з потребою у національному суверенітеті та стабільності. Залежність країни від значних внутрішніх запасів викопного палива підтримує її цілі енергетичної незалежності, але водночас сприяє екологічним проблемам через викиди. Хоча є ознаки поліпшення енергоємності, подальша залежність від цих видів палива вимагає більших зусиль для досягнення глобальних кліматичних цілей. Ця складна динаміка емпірично відображена в профілі «Енергетичний парадокс», показаному на рис. 2 та табл. 1.

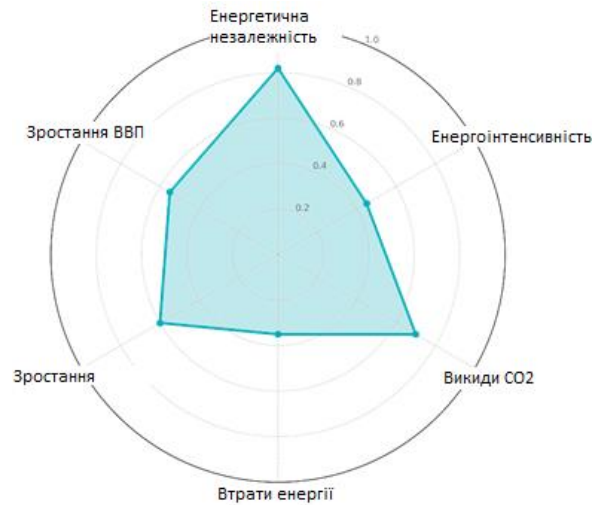


Рис. 2. Енергетичний парадокс Індонезії

Примітка: показники нормалізовано за шкалою від 0 до 1.

Джерело: розрахунки авторів (за даними різних джерел, 2025 р.).

Таблиця 1

ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ПАРАДОКС ІНДОНЕЗІЇ: ВИКЛИКИ ЗРОСТАННЯ, РЕСУРСІВ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ

Населення:	284 млн
Темпи зростання ВВП:	5,03 %/рік
Енергетична незалежність:	100
Загальне споживання/ВВП:*	73,0 (2005=100)
Викиди CO ₂ :	3,07 т CO ₂ /на душу населення
Рівень втрат електроенергії при передачі та розподілі:	8,52

Дані за останній рік, за якими є інформація: 2024

* за паритетом купівельної спроможності

Джерело: Enerdata (2025)²⁸

Профіль енергетичного парадоксу (рис. 2) підкреслює невідповідність між соціально-економічними чинниками Індонезії та її енергетичною безпекою. Хоча зростання ВВП та стабільність населення є відносно

²⁸ Enerdata, *Global Energy Trend Edition 2025: Continued Growth in Energy Consumption and Emissions* (Grenoble: Enerdata, 2025), <https://www.enerdata.net/system/files/publications/Enerdata-global-energy-trends-2025.pdf>.

високими — нормалізовані відповідно до 0,72 та 0,55 — виражений розрив у «енергетичній незалежності» свідчить про значну залежність від імпорту енергоносіїв та виявляє критичні вразливості. Візуалізація показує, що без структурної оптимізації на основі штучного інтелекту економічний імпульс країни навряд чи перетвориться на стійку енергетичну суверенність.

Незважаючи на свої ресурси, Індонезія стикається із значною загрозою своїй енергетичній безпеці через залежність від імпортової енергії, включаючи сиру нафту та нафтопродукти, що перевищує 50 %. Ця значна залежність робить країну вразливою до коливань світових цін на нафту, перебоїв у ланцюгах постачання та геополітичної нестабільності. Щоб досягти справжньої енергетичної самодостатності — ключового компонента національної незалежності, особливо в той час, коли країна відзначає 80-ту річницю Дня незалежності — Індонезія має величезні можливості у своїх невикористаних внутрішніх ресурсах. Розвідано лише близько 16 % із 128 нафтових і газових родовищ, що відкриває значні можливості для збільшення національних запасів завдяки прискоренню розвідки та освоєння нових і прикордонних регіонів.

Індонезія переслідує подвійну мету: підтримати існуючий нафтогазовий сектор і одночасно пройти складний та капіталомісткий перехід до нових та відновлюваних джерел енергії (НВДЕ). Перехід до НВДЕ, необхідний для пом'якшення наслідків зміни клімату, стикається з викликами, порівнянними з тривалим дозріванням сектору вичерпного палива, включаючи технологічну незрілість, перебої у постачанні та складну економіку проєктів. Зрештою, усі зацікавлені сторони повинні вжити стратегічних, узгоджених заходів для посилення внутрішнього видобутку нафти та газу вже зараз. Енергетична стійкість є стратегічним національним активом, що лежить в основі економічної та соціальної стабільності, тому досягнення енергетичної самодостатності є життєво важливим для Індонезії, щоб задовольнити власні потреби та діяти без зовнішнього тиску.

У 2024 році сектор переробки та збуту нафти та газу в Індонезії характеризувався значним втручанням уряду та залежністю від вичерпного палива. Уряд витратив значні кошти на субсидії на паливо, виділивши 56,1 трлн рупій на Peralite та 89,7 трлн рупій на Solar, а також ще 80,2 трлн рупій на субсидований скраплений газ, що вимагало запровадження нової системи реєстрації через перевищення квот споживання. Такі ініціативи, як програма BBM Satu Harga, також були спрямовані на забезпечення справедливого ціноутворення на паливо у віддалених районах, хоча сектор стикається з постійними викликами, такими як обмеження інфраструктури та скорочення внутрішнього виробництва.

З економічної точки зору Індонезія дуже вразлива до світових цін на нафту, при цьому чисті витрати на імпорт нафти зросли з 24 млрд доларів США у 2021 р. до приблизно 35 млрд доларів США у 2022 р. Ця

залежність створює навантаження на державний бюджет і впливає на домогосподарства через енергетичні субсидії. Якщо поточна тенденція збережеться, чистий імпорт нафти та газу може зрости до 100 млрд доларів США до 2050 р., що призведе до перенаправлення значної частки ВВП країни на закупівлю іноземної енергії.

Незважаючи на те, що енергетична політика Індонезії ставить за мету досягнення нульових викидів до 2060 р., вона містить певний парадокс, оскільки визначає нафтогазовий сектор як «пріоритетну сферу інвестицій» до 2040 р., прагнучи збільшити видобуток сирої нафти до 1 млн барелів на добу (б/д) до 2030 р. порівняно з 605 000 б/д у 2023 р. Такий підхід надає пріоритет максимальному використанню власних вуглеводнів перед досягненням вуглецевої нейтральності. Вископні палива, зокрема вугілля, продовжують домінувати у споживанні енергії, що викликає занепокоєння з екологічного погляду, оскільки, за прогнозами, запасів нафти вистачить лише на 9–10 років за поточних темпів споживання.

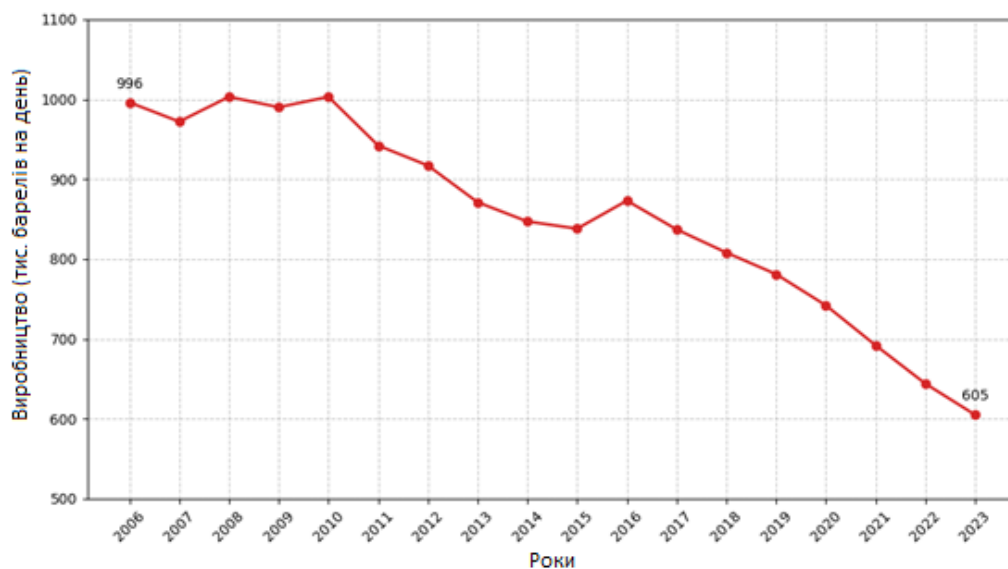


Рис. 3. Динаміка видобутку нафти в Індонезії (2006–2023)²⁹

Джерело: оброблені автором на основі даних Energy Institute (2023).

На рис. 3 відображено основну геоекономічну вразливість: видобуток нафти в Індонезії з 2010 року впав приблизно на 40 %. Сандул та ін.

²⁹ Energy Institute, *Statistical Review of World Energy 2023* (72nd ed.), in partnership with KPMG and Kearney (London: Energy Institute, 2023).

(2025)³⁰ інтерпретують це зниження як структурне, а не циклічне. Така траєкторія наражає ланцюг постачання енергії на зовнішні шоки та ускладнює адаптацію сектору переробки та збуту до глобального переходу. Розглядаючи це як проблему стійкості, скорочення підкріплює аргументи на користь оптимізації на основі штучного інтелекту — у поєднанні з динамічною адаптивною структурою — як інструменту промислової політики, а не суто технічного рішення. Пов'язуючи дефіцит у видобутку з цифровою модернізацією переробки, Індонезія може перепозиціонувати свій енергетичний сектор у глобальних ланцюгах створення вартості, водночас вирішуючи політичні компроміси між доступністю, конкурентоспроможністю та декарбонізацією, які турбують економіки з середнім рівнем доходу.

Історично в споживанні енергії Індонезією переважали викопні палива, причому з початку 2000-х до середини 2010-х рр. спостерігалось значне зростання використання невідновлюваних ресурсів, зокрема вугілля. Станом на 2020 рік відновлювані джерела енергії становили менше 10 % загального споживання енергії, причому сонячна та вітрова енергія мали мінімальний внесок. Залежність від вугілля, яке замінило нафту та газ як основне джерело енергії, викликає екологічні занепокоєння через вищі викиди вуглецю. Водночас видобуток сирової нафти та підтверджені запаси в Індонезії скоротилися, що, за прогнозами, призведе до вичерпання запасів за 9–10 рр. за рівнем 2020 р. (див. рис. 4).

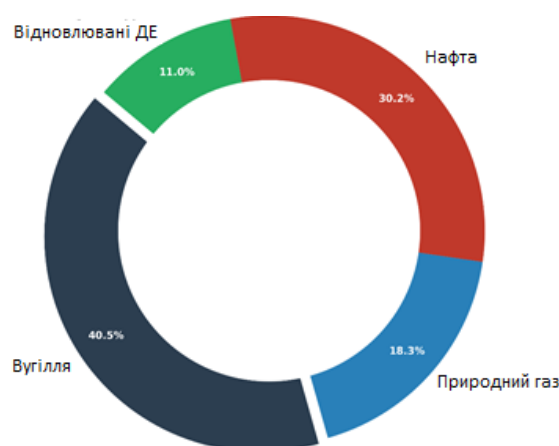


Рис. 4. Структура загального споживання енергії в Індонезії

Джерело: основні дані Міністерства енергетики та мінеральних ресурсів (2024)³¹.

³⁰ Сандул, М., Стрільчук, Ю. та Прімерова, О. (2025). Вплив фінансових механізмів сталого розвитку на еволюцію глобальних ланцюгів створення вартості. *Міжнародна економічна політика*, (42), 26–56. <https://doi.org/10.33111/iep.eng.2025.42.02>

³¹ Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia, *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023* (Jakarta: MEMR, 2024).

Важливо, що прискорений перехід на чисту енергію, зосереджений на електрифікації та енергоефективності, пропонує потужне економічне та екологічне рішення. За цим сценарієм, до 2050 року витрати на імпорту вичопного палива можуть бути втричі нижчими, ніж за сценарієм «бізнес як завжди». Аналіз показує, що економія від скорочення імпорту вичопного палива до 2050 року перевищить необхідні інвестиції в технології чистої енергії. Такі заходи, як обов'язкові стандарти енергоефективності та швидка електрифікація транспорту, є ключовими для значного зниження кінцевого попиту на енергію, що забезпечить як зниження витрат, так і підвищення енергетичної безпеки.

Енергетичний ландшафт Індонезії у 2024 р., як показано на рис. 4, свідчить про значну залежність від вичопного палива, причому на вугілля та нафту разом припадає понад 70 % загального споживання. Ця домінанта вуглецевих джерел підкреслює критичний «перехідний розрив» у національній промисловій структурі, що узгоджується зі структурними занепокоєннями, висловленими Сандул та співавт. (2025) у контексті еволюції глобальних ланцюгів створення вартості³². З точки зору економічної та промислової політики це є обмежуючим фактором для конкурентоспроможності: вуглецеві ресурси прив'язують підприємства до застарілих ланцюгів створення вартості в той час, коли глобальні ринки посилюють стандарти викидів Обсягу-3. Хоча частка відновлюваних джерел енергії (11 %) залишається скромною порівняно з часткою вугілля (40,5 %), цей дисбаланс означає, що ринкових сил само по собі недостатньо для прискорення переходу. Тому необхідні цілеспрямовані політичні заходи — від встановлення цін на вугілля і цільових кредитів на низьковуглецеву модернізацію до стандартів енергоефективності, що управляються цифровими засобами. Використовуючи такі промислові важелі, як субсидії на інновації та зелені державні закупівлі, Індонезія може оптимізувати поточну енергоефективність за допомогою цифрового управління, одночасно цілеспрямовано розширюючи можливості для впровадження низьковуглецевих альтернатив у своєму національному енергетичному балансі.

Важливо, що аналіз показує: економія від скорочення імпорту вичопного палива за сценарієм APS перевищить інвестиції, необхідні для технологій чистої енергії, до 2050 року. Крім того, обов'язкові мінімальні стандарти енергоефективності для будівель, побутової техніки та обладнання, а також політика швидкої електрифікації транспорту можуть значно знизити кінцевий попит на енергію. Дані чітко підкреслюють економічні ризики, пов'язані з нинішнім курсом Індонезії на збільшення імпорту вичопного палива. Вибір на користь переходу на чисту енергію,

³² Сандул, М., Стрільчук, Ю., Прімерова, О. (2025). Вплив фінансових механізмів сталого розвитку на еволюцію глобальних ланцюгів створення вартості. *Міжнародна економічна політика*, (42), 26–56. <https://doi.org/10.33111/iep.eng.2025.42.02>

зосередженого на електрифікації та енергоефективності, не тільки обіцяє зменшити вуглецевий слід країни, але й пропонує значні економічні переваги завдяки зниженню загальних енергетичних витрат та підвищенню енергетичної безпеки (див. рис. 5).

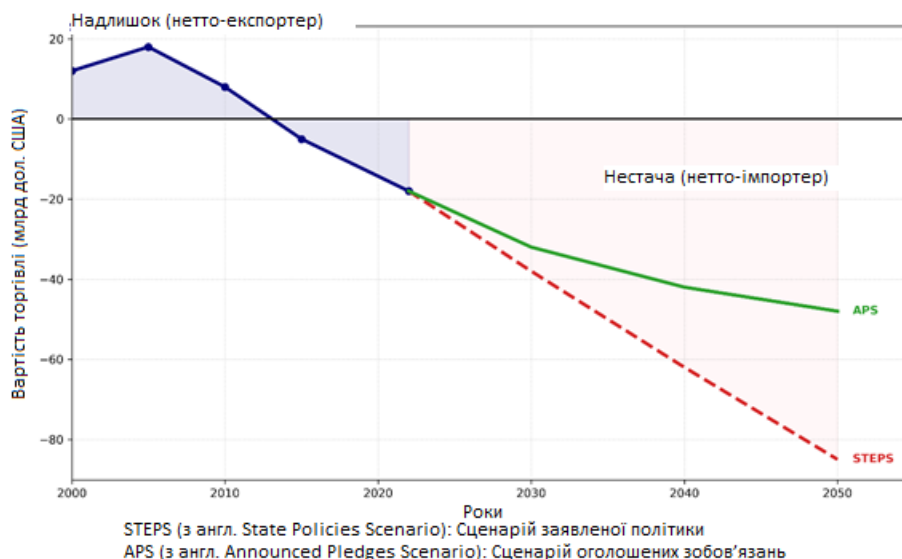


Рис. 5. Прогноз вартості торгівлі нафтою та газом Індонезії (2000–2050)

Примітки: значення вище нульової лінії вказують на чистий експортний профіцит, тоді як від'ємні значення відображають чисті імпортні витрати. STEPS (Сценарій заявленої політики) відображає поточні траєкторії політики; APS (Сценарій оголошених зобов'язань) передбачає повне виконання кліматичних зобов'язань. (прим. авторів)

Джерело: вдосконалено авторами на основі даних Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), «Дорожня карта енергетичного сектору до нульових викидів в Індонезії» (Париж: МЕА, 2022).

Довгострокові прогнози на рис. 5 ілюструють серйозні економічні наслідки нинішньої енергетичної траєкторії Індонезії. За сценарієм «Заявленої політики» (STEPS) перехід від статусу чистого експортера до статусу структурного чистого імпортера може призвести до щорічного дефіциту торговельного балансу, який до 2050 року перевищить 80 млрд доларів США — це фінансове навантаження загрожувє стійкості національної економіки. Однак сценарій оголошених зобов'язань (APS) пропонує більш сталий шлях, за якого впровадження механізмів зеленого фінансування та цифрових інструментів підвищення ефективності може зменшити ці витрати на імпорт майже на 50 %. Ця розбіжність підтверджує, що

«енергетичний парадокс» Індонезії — це не лише проблема з постачанням, а й виклик, зумовлений політикою. Досягнення траєкторії APS вимагає радикальної зміни в управлінні промисловістю, відходу від традиційної залежності від викопного палива на користь цифрової оптимізованої низьковуглецевої інфраструктури, інтегрованої в стратегічну систему соціально-економічної стійкості.

Це дослідження має на меті заповнити важливу прогалину в наукових знаннях, вивчаючи, як цифровізація на основі штучного інтелекту в секторі переробки та збуту нафти в Індонезії може сприяти економічному зростанню як безпосередньо, так і опосередковано. Замість того, щоб покладатися на загальні спостереження, ми детально розглянемо конкретні застосування штучного інтелекту, такі як прогнозування попиту, оптимізація роботи нафтопереробних заводів та управління логістикою. Ми оцінимо їхній вплив на результати діяльності сектору та, відповідно, на національну економіку. Такий підхід дасть нове та детальне розуміння того, як Індонезія може використовувати технологічні інновації у традиційній галузі для досягнення своїх економічних цілей.

Поєднання якості послуг та технічної оптимізації

Теоретична основа цифрової оптимізації в цьому дослідженні виходить за межі суто технічних показників. Вона спирається на ширшу дискусію про досконалість цифрових послуг. За даними Мульджоно та Сетяваті (2021)³³, якість цифрових послуг, особливо в таких сферах, як точність доставки, є ключовою для формування довіри користувачів та підтримки стабільної системи. У їхніх попередніх роботах розглядалася поведінка споживачів під час онлайн-покупок, але основна ідея залишається дуже актуальною для нафтового сектору: успіх цифрової платформи залежить від точної та своєчасної доставки ресурсів.

Останні дані з Індонезії показують, що технічна неефективність у логістиці переробки та збуту все ще є основною перешкодою для досягнення високої якості послуг. Наприклад, високі витрати на наземні перевезення в завантажених коридорах, таких як Джакарта-Танджунг-Герем, визнано ключовим фактором, що впливає на операційні витрати (Хідаят і Мульджоно, 2025)³⁴. У своєму дослідженні автори вирішують ці проблеми шляхом оптимізації маршрутів за допомогою лінійного програмування та задачі маршрутизації транспортних засобів (з *англ.* Vehicle Routing

³³ Muljono, W., & Setiyawati, S. (2021). Consumers perception on continuance intention of online shopping. *Asia-Pacific Management and Business Application*, 9(3), 261–276. <https://doi.org/10.21776/ub.apmba.2021.009.03.5>

³⁴ Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing fuel distribution costs through vehicle routing problem modeling in Jakarta-Tanjung Gerem terminals. *Cost Efficiency through Vehicle Routing Models*, 3873–3884. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547>

Problem, VRP). Аналітична модель, представлена в цьому дослідженні, ґрунтується на цій основі, інтегруючи прогнозування попиту з високою частотою на основі штучного інтелекту. Такий підхід гарантує, що економія операційних витрат, досягнута на рівні терміналів, підтримується завдяки проактивним стратегічним коригуванням, а не реактивному плануванню.

Загалом, цей огляд літератури показує, що успішна цифрова трансформація в енергетичному секторі залежить від балансу між технічною точністю та якістю послуг. Мульджоно та Сетяваті (2021)³⁵ закладають основу для точності доставки, що формує довіру користувачів. Водночас Т. Бергер (2025)³⁶ надає технічні засоби для досягнення такої точності за допомогою архітектури RNN, яка виходить за межі традиційних економетричних моделей.

У цьому дослідженні використовується стратегічна концепція цифровізації як ланка, що поєднує ці ідеї. Вона підносить мікроопераційну ефективність, як це видно на прикладі коридору Джакарта-Танджунг-Герем, до рівня національної стратегії. Очікується, що цей зв'язок покращить операційну ефективність у секторі переробки та збуту нафти і газу, а також зміцнить національну фінансову стабільність. Це відповідає рекомендаціям SMERU (2023)³⁷ щодо створення більш прозорої, підзвітної та справедливої системи розподілу, що відповідає баченню IOG 4.0.

Відповідно до висновків Парка та Кіма (2024)³⁸, впровадження ШІ у світовому енергетичному секторі зараз зосереджено на підвищенні теплової ефективності та стабільності системи за допомогою структурного моделювання тем. Ця глобальна тенденція підтверджує технічний потенціал штучних нейронних мереж (ШНМ) у переробці та розподілі. Як зазначають Гош та ін. (2023)³⁹, технології ШІ стають дедалі важливішими для підтримання цілісності активів та усунення інформаційних прогалин у повторюваних процесах переробки та збуту, що безпосередньо запобігає втратам виробництва. У контексті індонезійського сектору переробки та збуту це підкреслює нагальність впровадження ШІ не лише для

³⁵ Muljono, W., & Setiyawati, S. (2021). Consumers perception on continuance intention of online shopping. *Asia-Pacific Management and Business Application*, 9(3), 261–276. <https://doi.org/10.21776/ub.apmba.2021.009.03.5>

³⁶ Berger, T. (2025). Deep learning and econometric time series analysis: An assessment of daily return forecasts. *Journal of Forecasting*, 45(1), 377–390. <https://doi.org/10.1002/for.70045>

³⁷ Al Izzati, R., Yusrina, A., & Suryahadi, A. (2023). *Estimating the effect of a fuel price increase on poverty and inequality: Evidence from a fuel subsidy reduction in Indonesia* (Research Note No. 1/JAN/2023). The SMERU Research Institute. <https://smeru.or.id/en/publication/estimating-effect-fuel-price-increase-poverty-and-inequality-evidence-fuel-subsidy>

³⁸ Park, C., & Kim, M. (2024). Utilization and challenges of artificial intelligence in the energy sector. *Energy & Environment*, 1–20. <https://doi.org/10.1177/0958305X241258795>

³⁹ Ghosh, D., Zailani, A. Z. A., & Sum, C. W. (2023). Growing application of artificial intelligence in optimising productivity and efficiency in oil and gas. *Applied Earth Resources Development*. <https://doi.org/10.3233/AERD230012>

операційної ефективності, а й як стратегії зменшення ризиків щодо невідомості постачання та глобальної волатильності цін.

Насамкінець, хоча в багатьох дискусіях підкреслюється потенціал ШІ в енергетичному секторі, існує значний пробіл у дослідженнях щодо його практичного застосування в ланцюжку створення вартості нафтопереробної галузі Індонезії. Це дослідження має на меті усунути цей пробіл, продемонструвавши, як точне моделювання ШІ може вирішити такі критичні проблеми, як залежність від імпорту палива та національний торговельний баланс, шляхом операційної оптимізації.

Матеріали та методи

У цьому дослідженні використовується дизайн дослідження з використанням змішаних методів для аналізу складних взаємозв'язків між технологією ШІ, попитом на нафтопродукти та економічним зростанням Індонезії. Такий дизайн необхідний як для статистичного вимірювання макроекономічних наслідків, так і для отримання глибокого розуміння політичних та галузевих факторів, що визначають ці тенденції.

Підхід та дизайн дослідження

Дослідження базується на послідовному пояснювальному підході. Початкова фаза є кількісною і зосереджена на виявленні статистичних взаємозв'язків та тенденцій у сфері інвестицій у ШІ, результатів діяльності нафтопереробного сектору та показників економічного зростання. Далі йде якісна фаза, спеціально розроблена для пояснення та деталізації кількісних результатів, що забезпечує багаті контекстуальні дані завдяки аналізу документів та консультаціям із зацікавленими сторонами. Цей послідовний метод забезпечує надійну валідацію та інтерпретацію статистичних закономірностей у конкретному індонезійському контексті.

Методи збору даних

Збір даних поєднує як кількісні, так і якісні аспекти, спираючись на надійні вторинні та первинні джерела, що охоплюють період з 2015 по 2024 рік.

Кількісні дані складаються виключно з часових рядів, зібраних з офіційних джерел та опублікованих звітів (первинні опитування не проводяться).

- Національна статистика: Дані щодо зростання ВВП, інфляції, торговельного балансу (включаючи імпорт/експорт нафти та газу) та інвестицій отримуються від Центрального бюро статистики (BPS) та Банку Індонезії.

- Дані про енергетичний сектор: Показники щодо видобутку нафти, споживання, потужності нафтопереробних заводів та обсягів імпорту/експорту збираються з Міністерства енергетики та мінеральних ресурсів (ESDM), Pertamina та міжнародних галузевих звітів.

- Дані щодо впровадження технологій: Показники щодо рівня впровадження штучного інтелекту, інвестицій у цифрову інфраструктуру та інвестицій у ІКТ отримуються від Міністерства комунікацій та інформаційних технологій, баз даних Світового банку та звітів з ринкових досліджень.

Якісні дані збираються для вивчення причин та механізмів, що лежать в основі кількісних тенденцій, причому збір даних зосереджується на періоді з липня по серпень 2025 року для проведення інтерв'ю.

- Аналіз документів: проводиться систематичний огляд ключових документів державної політики, включаючи дорожню карту «Making Indonesia 4.0», Національну стратегію впровадження ШІ та Національну енергетичну політику Індонезії (KEN). Сюди також входять довгострокові стратегічні плани державних підприємств, таких як Pertamina.

- Галузеві звіти та тематичні дослідження: аналіз зосереджується на детальних звітах консалтингових фірм та академічних дослідженнях щодо впровадження ШІ в конкретних індонезійських компаніях з метою розуміння практичного застосування та результатів.

- Інтерв'ю з експертами: проводяться напівструктуровані інтерв'ю з ключовими зацікавленими сторонами з використанням стандартизованого протоколу з відкритими запитаннями. Серед опитаних — урядовці з ESDM та Варпенас, керівники вищої ланки та технічні експерти з нафтової та технологічної галузей, а також науковці, що спеціалізуються на енергетичній політиці та застосуванні ШІ.

Методи аналізу даних

Аналіз даних для цього дослідження побудовано за принципом надійного змішаного підходу, що використовує окремі методи кількісного статистичного моделювання та якісної тематичної інтерпретації, які в кінцевому підсумку інтегруються за допомогою триангуляції. Ця інтеграція конкретно реалізується шляхом застосування гібридного аналітичного підходу, що відповідає рамкам Бергера (2025)⁴⁰. Поєднуючи моделі глибокого навчання на основі ШІ з традиційними економетричними еталонами, дослідження враховує властиву енергетичним даним складність.

Як свідчить дослідження Т. Бергера, простіші архітектури рекурентних нейронних мереж (RNN) можуть перевершувати обмежуючі моделі

⁴⁰ Berger, T. (2025). Deep learning and econometric time series analysis: An assessment of daily return forecasts. *Journal of Forecasting*, 45(1), 377–390. <https://doi.org/10.1002/for.70045>

ARMA, становлять методологічну основу підходу до динамічного моделювання на основі RNN, який використовується в цьому дослідженні. Завдяки об'єднанню цих обчислювальних переваг, дослідження ефективно заповнює прогалину між високочастотним оперативним прогнозуванням та довгостроковим структурним економічним аналізом у нафтовому секторі Індонезії.

Вибір архітектур рекурентних нейронних мереж для цього дослідження підкріплений останніми досягненнями в галузі економічного прогнозування в Індонезії. Hermansah et al. (2024)⁴¹ показали, що моделі RNN-LSTM демонструють набагато кращі результати, ніж традиційні методи, у прогнозуванні складних макроекономічних показників Індонезії, таких як інфляція, оскільки вони можуть обробляти нелінійні дані часових рядів. Використовуючи подібний метод глибокого навчання, інтегрована модель прогнозування в цьому дослідженні переносить цю прогностичну силу з аналізу рівня цін на прогнозування попиту на енергію. Це допомагає забезпечити відповідність розподілу палива змінам в економіці в режимі реального часу.

Кількісний аналіз даних

Статистичний аналіз та візуалізація даних, включаючи VAR-прогнози, були проведені за допомогою Stata, комплексного пакету, призначеного для відтворюваних досліджень та складного економетричного моделювання (StataCorp, 2025)⁴². Початкова фаза передбачає описову статистику для узагальнення ключових характеристик набору даних у часі. Основа аналізу базується на регресійному аналізі, а саме на множинній регресії, для вивчення взаємозв'язку між показниками впровадження ІІІ (інвестиції в ІКТ, цифрова інфраструктура), показниками діяльності нафтопереробної галузі (використання потужностей, рівні імпорту) та ВВП Індонезії.

Для аналізу динамічних взаємозв'язків та потенційної причинності між змінними будуть використані моделі часових рядів, такі як векторна авторегресія (VAR) або моделі ARDL⁴³. Крім того, може бути проведено аналіз «витрати-випуск», якщо будуть доступні достатньо детальні дані для відстеження прямих та непрямих економічних наслідків змін у секторі переробки та збуту нафти.

⁴¹ Hermansah, M. M., & Rodrigues, P. C. (2024). Indonesian inflation forecasting with recurrent neural network long short-term memory (RNN-LSTM). *Enthusiastic: International Journal of Applied Statistics and Data Science*, 4(2), 132–142. <https://doi.org/10.20885/enthusiastic.vol4.iss2.art5>

⁴² StataCorp. (2025). *Why Stata: The all-in-one statistical software package for data science*. <https://www.stata.com/whystata>

⁴³ Perron, P., & Yamamoto, Y. (2021). Testing for changes in forecasting performance. *Journal of Business & Economic Statistics*, 39(1), 148–165.

Аналіз якісних даних

Якісні дані, зібрані за допомогою поетапного підходу з липня по вересень 2025 року (включаючи інтерв'ю з експертами та аналіз документів), проаналізовані за допомогою тематичного контент-аналізу з використанням програмного забезпечення NVivo.

Аналіз змісту — це систематичний метод, що використовується для категоризації та інтерпретації текстових даних із політичних документів, галузевих звітів та стенограм інтерв'ю. Аналіз зосереджується на трьох основних темах: штучний інтелект (ШІ) (застосування, виклики, можливості), нафтопереробна галузь (переробка, розподіл, роздрібна торгівля) та економічне зростання (вплив на виробництво, доходи або зменшення залежності від імпорту). Аналіз може проводитися дедуктивно (перевірка заздалегідь сформульованих гіпотез) або індуктивно (виявлення тем на основі даних).

Програмне забезпечення NVivo спрощує цей процес. Воно полегшує кодування текстових сегментів у описові «вузли», що представляють значущі концепції. Воно також слугує центральним хабом управління даними та допомагає виявляти взаємозв'язки та закономірності між кодами за допомогою візуалізацій, запитів та ієрархій кодування. Новіші версії NVivo також містять функцію штучного інтелекту, що допомагає пришвидшити початкове ознайомлення з даними та їх кодування.

Триангуляція

Відповідно до Альвессона і Сандберга (2024)⁴⁴, це дослідження застосовує підхід проблематизації, щоб вийти за межі традиційного виявлення прогалин. Замість того, щоб виключно наголошувати на прогалинах у дослідженнях енергоефективності, воно критично аналізує припущення, що цифрові зміни у нафтогазовій галузі є нейтральними та технічними. Оцінка спроможності існуючих рамок управління реагувати на зміни, зумовлені штучним інтелектом, спонукає до подальшого дослідження взаємозв'язку між алгоритмами та національним цифровим контролем. Ця інтеграція має три основні цілі:

1. Валідація: порівняння статистичних кореляцій з кількісних моделей з даними з політичних документів та інтерв'ю з експертами для підтвердження гіпотез.

2. Пояснення: використання багатих контекстуальних якісних даних (наприклад, конкретних застосувань ШІ, таких як прогнозування попиту) для надання глибших пояснень механізмів, що лежать в основі статистичних взаємозв'язків, спостережуваних у кількісних результатах.

⁴⁴ Mats Alvesson and Jörgen Sandberg, *Constructing Research Questions: Doing Interesting Research*, 2nd ed. (London: SAGE Publications Ltd, 2024), <https://doi.org/10.4135/9781529682588>

3. Глибше розуміння: синтез усіх джерел даних забезпечує більш нюансоване розуміння, де навіть розбіжні висновки можуть бути використані як цінне джерело додаткових відомостей.

Результати

У цьому розділі представлені основні висновки, отримані як в результаті кількісного аналізу економічних та галузевих даних, так і в результаті якісного аналізу програмних документів та інтерв'ю з експертами, що стосуються цілей дослідження та порівняння спостережуваних тенденцій з існуючими дослідженнями та теоретичними ідеалами.

Кількісний вплив ІІІ у секторі переробки та збуту нафтопродуктів на макроекономічні показники

Впровадження заходів з підвищення операційної ефективності на основі ІІІ, зокрема покращення використання потужностей нафтопереробних заводів та зменшення втрат під час розподілу, продемонструвало статистично значущу позитивну кореляцію з одночасним покращенням ключових показників економічної ефективності Індонезії у період 2015–2024 років.

Кореляція між інвестиціями в ІІІ та національним зростанням, отримана на основі оцінки Stata SVAR, узагальнена в табл. 2. Дані свідчать, що, незважаючи на значне зростання індексу впровадження ІІІ, загальний вплив на ВВП залишається обмеженим структурними факторами.

Таблиця 2

КОРЕЛЯЦІЯ МІЖ ПІДВИЩЕННЯМ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАВДЯКИ ШТУЧНОМУ ІНТЕЛЕКТУ ТА ЗРОСТАННЯМ ВВП ІНДОНЕЗІЇ

Роки	Річний ВВП (%)	Індекс ефективності Індекс ефективності	Індекс інвестицій у ІІІ/ Індекс впровадження
2015	4,9	50	10
2016	5	51	12
2017	5.1	52	15
2018	5.2	53	20
2019	5	53	25
2020	-2,10*	50	40
2021	3,7	55	40
2022	5,3	58	55
2023	5,05	60	70
2024	5,03	62	85

*Джерело: розраховано авторами (2025) на основі результатів моделювання Stata SVAR та даних Центрального бюро статистики (BPS), Індонезія (2024).

*Примітка: дані за 2020 р. відображають аномалії, спричинені пандемією COVID-19 (прим.авт.)

Таблиця 2 наочно ілюструє цей компроміс. Індекс впровадження ШІ зростає з 10 до 85, а ефективність на нижчих рівнях ланцюга постачання збільшується на 24 відсотки. Однак зростання ВВП залишається на рівні близько 5 відсотків, за винятком 2020 року. Згідно з Т. Бергером (2025), цей розрив вказує на те, що поліпшення на мікрорівні завдяки глибокому навчанню самі по собі не змінюють макроструктури. Зростання ефективності значною мірою компенсується фіскальним гальмом, описаним Ресосудармо та ін. (2023), що зумовлене постійним тягарем субсидій на паливо. Крім того, як зазначають Соеманто та ін. (2014), без соціальної підзвітності та прозорості ці цифрові вигоди втрачаються, не встигнувши зробити свій внесок у національні рахунки. Хронологія ще чіткіше підкреслює цю тезу. З 2015 по 2019 рр. зростання ВВП залишалося стабільним на рівні близько 5% при лише незначному підвищенні ефективності та інвестицій у ШІ. 2020 р. порушує цю тенденцію: пандемія занурює ВВП у негативну зону та тягне вниз усі індекси. Після 2020 р. зростання повертається до попереднього тренду, тоді як індекс ШІ прискорюється. Це покращує операційну діяльність, але не виводить траєкторію ВВП за межі її структурного максимуму.

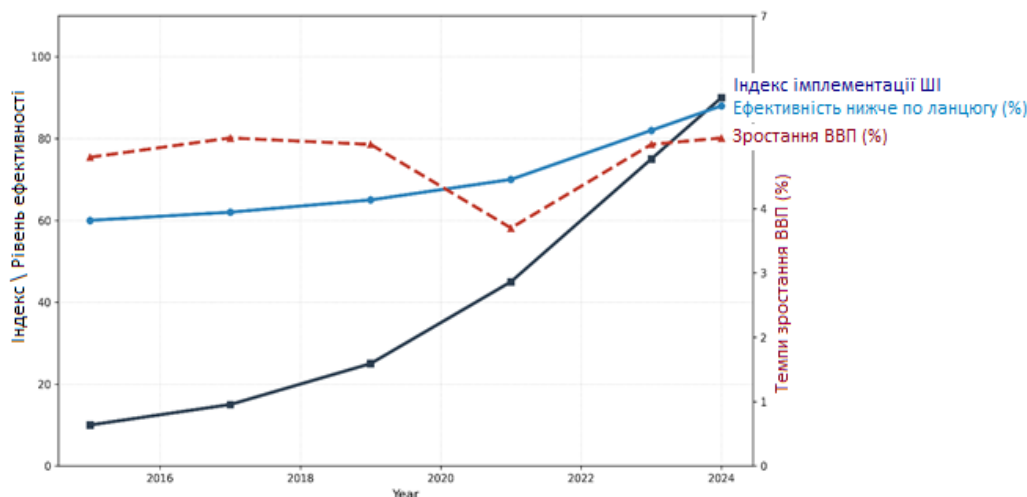


Рис. 6. Тенденції взаємодії між цифровізацією та макроекономічними показниками (2015–2024)

Примітки: для кращої наочності на графіку використовується пряме маркування. Впровадження ШІ та ефективність нафтової галузі вимірюються на основній осі, а зростання ВВП — на другорядній. (прим.авт.)

Джерело: узагальнено авторами на основі⁴⁵.

⁴⁵ World Bank, *World Development Indicators: Indonesia's GDP Growth 2015–2024* (Washington, DC: World Bank, 2025); and Author's internal calculations for AI Implementation Index.

На рис. 6 підкреслено помітну узгодженість між впровадженням цифрових технологій та макроекономічними результатами: індекс впровадження ІІІ стрибне з 45 до 90 після 2021 року, паралельно з 18-відсотковим зростанням ефективності переробки та збуту. Навіть попри коливання зростання ВВП (2020–2021 рр.), підвищення ефективності свідчить про те, що управління процесами за допомогою ІІІ може виступати промисловим стабілізатором — знижуючи одиничні витрати та вразливість до коливань цін на енергоносії.

Ця закономірність підтверджує доцільність використання політичних інструментів, що сприяють поширенню інструментів ІІІ серед підприємств (консультаційні послуги, спільні інфраструктури даних, програми підвищення кваліфікації), а не розглядають їх як пристрої, специфічні для окремих компаній. Мета полягає в тому, щоб інтегрувати цифрову ефективність у структуру витрат сектору, захищаючи конкурентоспроможність від зовнішніх енергетичних шоків та послаблюючи історичний зв'язок між промисловим випуском та традиційними вузькими місцями в ланцюгах постачання.

Таке посилене впровадження ІІІ демонструє позитивну кореляцію з Індексом ефективності нафтопереробки та збуту. Це послідовне, хоча й поступове, підвищення ефективності — незважаючи на постійні обмеження потужностей — свідчить про те, що впровадження ІІІ, ймовірно зосереджене на оптимізації існуючих операцій, логістики та прогнозування попиту в секторі переробки та збуту, сприяє підвищенню ефективності незалежно від значного розширення потужностей. Це надає попередні докази на користь гіпотези, що досягнення на основі ІІІ в енергетичному секторі сприяють економічному зростанню Індонезії.

Зокрема, збільшення інвестицій у технології ІІІ, особливо після запуску у 2020 році ініціативи «Making Indonesia 4.0», корелює зі значним підвищенням операційної ефективності переробки та збуту. Впровадження ІІІ у моделях оптимізації нафтопереробних заводів було пов'язане з підвищенням ефективності виробництва нафтопереробних заводів, що, відповідно, сприяло зростанню ВВП країни⁴⁶. Однак повний потенціал цієї позитивної динаміки залишається залежним від усунення обмежень інфраструктури та дефіциту кваліфікованих кадрів.

Торгівля нафтопродуктами (2015–2024)

Індонезія зберігає стабільний загальний профіцит торговельного балансу з травня 2020 року. Сукупний профіцит за перші 11 місяців 2024 р. досяг 28,89 млрд дол. США. Цей загальний позитивний результат зумовлений насамперед сектором, не пов'язаним з нафтою та газом, який

⁴⁶ Microsoft. (2025). Звіт «Штучний інтелект в Індонезії». *Microsoft News*.

зафіксував профіцит у розмірі 23,10 млрд дол. США з січня по травень 2025 р., ефективно компенсуючи постійний дефіцит у нафтогазовому секторі. Нафтогазовий сектор постійно спричиняє дефіцит торговельного балансу, головним чином через високий рівень імпорту. Наприклад, з січня по травень 2025 р. сектор зафіксував дефіцит у розмірі 7,72 млрд дол. США. Це підкреслює постійну залежність Індонезії від імпортованих нафтопродуктів.

Хоча штучний інтелект теоретично має потенціал для зменшення залежності від імпорту, його вплив залишається обмеженим. Застосування ШІ, яке стрімко зростає після 2020 р., зосереджується переважно на підвищенні операційної ефективності, що сприяє економії витрат на мікрорівні. Однак ці переваги поки що не змогли в достатній мірі компенсувати такі загальні фактори, як скорочення внутрішнього видобутку нафти та коливання світових цін на енергоносії, щоб ліквідувати торговельний дефіцит. Тим не менш, штучний інтелект продемонстрував помітний, хоча й помірний, вплив на уповільнення темпів зростання імпорту палива, головним чином завдяки оптимізації розподілу внутрішнього виробництва за допомогою таких інструментів, як прогнозування попиту та оптимізація ланцюгів постачання.

Політика переробки таких сировинних товарів, як нікель, та значний експорт пальмової олії відіграли важливу роль у компенсації торгового дефіциту нафти та газу, забезпечивши загальний торговий профіцит країни.

Інвестиції та впровадження ШІ (2015–2024)

Індонезія зарекомендувала себе як важливий гравець на світовому ринку штучного інтелекту завдяки значним інвестиціям та швидкому впровадженню технологій. У 2024 р. ринок штучного інтелекту оцінювався у 2,4 млрд дол. США, і, за прогнозами, він демонструватиме вражаючі темпи щорічного зростання на рівні 28,65 %, досягнувши 10,88 млрд дол. США до 2030 р.. Це зростання підкріплене різким збільшенням інвестицій у стартапи у сфері штучного інтелекту, які до 2024 р. сягнули 542,9 млн дол. США, що на 141,5% більше, ніж п'ять років тому.

Ця потужна підтримка відображається у широкому впровадженні: за повідомленнями, Індонезія може похвалитися найвищим у світі рівнем впровадження ШІ на робочих місцях — 92 %. До цієї тенденції долучаються як міжнародні, так і місцеві гравці, включаючи прямі іноземні інвестиції в такі проекти, як центр ШІ у Суракарті вартістю 200 млн доларів США. Місцеві новатори очолюють процес створення власних інновацій у різних секторах. Серед помітних прикладів інтеграції ШІ на внутрішньому ринку — ШІ-консультант eFishery для рибоводів та використання генеративного ШІ у Bank Rakyat Indonesia для обслуговування клієнтів. ШІ також підвищує ефективність у транспортному секторі, де логістичні

інтегратори використовують системи на базі ШІ для оптимізації термінів доставки та зменшення викидів. Ці події підкреслюють перехід Індонезії від споживача ШІ до його творця та інноватора, зміцнюючи її позиції у цифровій економіці.

Виклики сектору переробки та потенціал ШІ

Видобувний сектор нафтової галузі Індонезії стикається з постійними викликами, серед яких зниження видобутку нафти на старіючих родовищах, складні умови розвідки та обмежені інвестиції через низькі світові ціни на нафту та жорстку систему регулювання. Структурні проблеми, такі як вимоги щодо рівня вітчизняної складової (TKDN), нестача обладнання, обмеження робочої сили та застаріла правова система, ще більше уповільнюють прогрес.

Таблиця 3

ВПЛИВ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ НА ТОРГОВЕЛЬНИЙ БАЛАНС
ТА ЗАЛЕЖНІСТЬ ВІД ІМПОРТУ (2015–2024)

Рік	Вартість імпорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Вартість експорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Торговий баланс у нафтогазовій галузі (млн дол. США)	Тенденції інвестицій/впровадження ШІ (Індонезія)	Аналіз та порівняння
2015	Н/Д	Н/Д	Дефіцит (тривала тенденція)	Раннє усвідомлення та дослідження в галузі ШІ	З 2013 року баланс імпорту та експорту сирої нафти в Індонезії залишається дефіцитним. Ранні дискусії щодо ШІ зосереджувалися на потенціалі, але не містили конкретних даних щодо впровадження в секторі.
2016	Знизився порівняно з 2015 роком (імпорт палива)	Н/Д	Дефіцит зберігається	Помірне впровадження ШІ	Імпорт палива зменшився, можливо, під впливом коливань цін на нафту, а не штучного інтелекту.
2017	Зростання порівняно з 2016 роком (імпорт палива)	Н/Д	Дефіцит зберігається	Зростаючий інтерес до штучного інтелекту	Імпорт палива збільшився. На даному етапі немає очевидного прямого зв'язку з впливом ШІ.

Продовження табл. 3

Рік	Вартість імпорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Вартість експорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Торговий баланс у нафтогазовій галузі (млн дол. США)	Тенденції інвестицій/впровадження ШІ (Індонезія)	Аналіз та порівняння
2018	Збільшився порівняно з 2017 роком (імпорт палива)	Н/Д	Дефіцит зберігається	Початок реалізації перших проектів у сфері ШІ	Зростання імпорту. Перші ознаки впровадження ШІ в таких сферах, як профілактичне обслуговування або розвідка, ймовірно, були спрямовані на підвищення внутрішньої ефективності, а не на вплив на макроекономічний торговельний баланс.
2019	Зниження (через пандемію)	Н/Д	Дефіцит зберігається	«Making Indonesia 4.0» набирає обертів	Імпорт скоротився через пандемію. Розпочалися дискусії щодо потенціалу штучного інтелекту для «зниження торговельних витрат та підвищення продуктивності в усіх секторах».
2020	Зменшився (через пандемію)	Збільшився (порівняно з імпортом)	Дефіцит зберігся	Запущено Національну стратегію впровадження ШІ (2020–2045)	Пандемія значно знизила попит. Уряд запускає ключову стратегію ШІ, спрямовану на використання ШІ для національного розвитку.
2021	Збільшився порівняно з 2020 роком (сира нафта/паливо)	Зменшився (порівняно з імпортом)	Дефіцит збільшився	Збільшення інвестицій та досліджень у сфері ШІ	Відновлення призвело до зростання імпорту. Збільшення дефіциту попри зростання ШІ свідчить про те, що початкові зусилля у сфері ШІ були недостатніми для зміни тенденції. Глобальні дослідження показали, що ШІ мав «значний позитивний вплив на торгівлю», але переважно на користь експорту в тих країнах, де розвинуті можливості ШІ.

Закінчення табл. 3

Рік	Вартість імпорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Вартість експорту нафтопродуктів (млн дол. США)	Торговий баланс у нафтогазовій галузі (млн дол. США)	Тенденції інвестицій/впровадження ІІІ (Індонезія)	Аналіз та порівняння
2022	Збільшився порівняно з 2021 роком (сира нафта/паливо)	Зменшився (порівняно з імпортом)	Значний дефіцит	У 2024 році впровадження ІІІ зросло на 47 %, але переважно для підвищення операційної ефективності	Імпорт продовжував зростати. ІІІ використовується переважно для підвищення операційної ефективності, що свідчить про обмежений вплив на загальний торговельний баланс на цьому етапі.
2023	Н/Д	Н/Д	Дефіцит продовжувався	Сильне зростання впровадження ІІІ (87 % фахівців), 542,9 млн доларів інвестицій у стартапи в галузі ІІІ	Загальний торговельний баланс Індонезії був у профіциті, але нафтогазовий сектор у червні 2024 року все ще зафіксував дефіцит у розмірі 2,04 млрд доларів США. Хоча загальне впровадження ІІІ стрімко зросло, його вплив на торгівлю в секторі переробки та збуту, ймовірно, був обмежений через постійний дефіцит і зосередження уваги на ефективності. Дослідження підкреслили глобальну роль ІІІ у підвищенні продуктивності та економічної ефективності.
2024	Зниження імпорту, зафіксоване в січні 2025 року порівняно з січнем 2024 року	Зниження експорту, зафіксовано в січні 2025 року порівняно з січнем 2024 року	Дефіцит зберігався, але сприяв загальному профіциту торгового балансу	Найвищий рівень впровадження ІІІ на робочих місцях у світі (92%), інвестиції Microsoft у розмірі 1,7 млрд доларів, обсяг ринку 2,4 млрд доларів	Зафіксовано зниження як імпорту, так і експорту, що, ймовірно, відображає як ефективність, зумовлену ІІІ, так і динаміку світового ринку. Інтеграція ІІІ дедалі частіше розглядається як життєво важлива для «контролю над субсидованим мазутом» з метою скорочення бюджетних видатків. Високий рівень впровадження ІІІ забезпечує Індонезії вигідне становище, але залишаються такі виклики, як інфраструктура та кваліфікація кадрів.

Індонезія постійно стикається зі структурним дефіцитом торгового балансу нафти та газу, значною мірою залежачи від імпорту продуктів переробки, незважаючи на швидке впровадження ШІ. Це підкреслює розрив між теоретичним потенціалом ШІ та його поточним реалізацією, що відповідає більш широкому науковим дослідженням щодо країн з перехідною економікою. Хоча ШІ забезпечує ефективність на мікрорівні, системні виклики, такі як прогалини в інфраструктурі, нестача кваліфікованих кадрів та організаційна інерція, гальмують його трансформаційний потенціал. Отже, для повної максимізації внеску ШІ в економічне зростання необхідні постійні інвестиції в людський капітал та регуляторні рамки, щоб подолати ці структурні перешкоди. Такі ініціативи, як «Making Indonesia 4.0» та Національна стратегія ШІ, мають вирішальне значення для максимізації трансформаційного потенціалу ШІ, що потенційно змістить акцент на внутрішню додану вартість та зменшить потреби в імпорті. Однак ці переваги ще не змогли достатньо протидіяти більш загальним факторам, таким як зниження внутрішнього видобутку нафти та волатильність світових цін на енергоносії, щоб ліквідувати торговельний дефіцит.

На основі наданих результатів пошуку, ось таблиця, що показує тенденції у вартості імпорту/експорту нафтопродуктів, внесок у торговельний баланс (зокрема дефіцит/надлишок нафти та газу) та тенденції інвестицій/впровадження ШІ для Індонезії. Оскільки у результатах пошуку не було знайдено послідовного, загальнодоступного «індексу інвестицій у ШІ» з часовими рядами даних для Індонезії, у таблиці використовуються дані щодо темпів впровадження ШІ та показники зростання, де вони доступні, доповнені інформацією про торгівлю нафтопродуктами.

Таблиця 4

**ТЕНДЕНЦІЇ У ТОРГІВЛІ НАФТОПРОДУКТАМИ ТА РОЗВИТКУ ШІ
В ІНДОНЕЗІЇ (2015–2024)**

Рік	Вартість імпорту нафти та газу (млн дол. США)	Вартість експорту нафти та газу (млн дол. США)	Торговельний баланс нафти та газу (млн дол. США)	Тенденції інвестицій/впровадження ШІ	Примітки
2015	Н/Д	Н/Д	Дефіцит (продовження тенденції 2013 року)	Початкові етапи ініціатив з цифрової трансформації	З 2013 року Індонезія зазнає дефіциту в балансі імпорту та експорту сирої нафти.
2016	Знизився порівняно з 2015 роком	Н/Д	Дефіцит зберігається	Помірне впровадження штучного інтелекту	Імпорт нафтопродуктів, таких як паливо, зменшився у 2015–2016 роках.

Продовження табл. 4

Рік	Вартість імпорту нафти та газу (млн дол. США)	Вартість експорту нафти та газу (млн дол. США)	Торговельний баланс нафти та газу (млн дол. США)	Тенденції інвестицій / впровадження ІІІ	Примітки
2017	Збільши- вся порі- вняно з 2016 ро- ком	Н/Д	Дефіцит зберіга- ється	Продовжується по- мірне впрова- дження штучного інтелекту	Імпорт сирої нафти зме- ншився у 2015–2017 рр., але знову зріс у 2018 р. Імпорт палива та інших нафтопродук- тів знову зріс у 2017– 2018 рр.
2018	Збільши- вся порі- вняно з 2017 ро- ком	Н/Д	Дефіцит зберіга- ється	Зростаючий інтерес до штучного інте- лекту	
2019	Зменши- вся (че- рез пан- демію)	Н/Д	Дефіцит триває	Ініціатива «Making Indonesia 4.0» на- бирає обертів	Імпорт нафтопродуктів, таких як паливо, знизи- вся у 2019–2020 роках через пандемію.
2020	Зменши- вся (че- рез пан- демію)	Н/Д	Дефіцит зберіга- ється	Уряд запускає На- ціональну страте- гію впровадження штучного інтелекту (2020–2045)	
2021	Збільши- вся порі- вняно з 2020 ро- ком	Н/Д	Дефіцит зберіга- ється	Збільшення інвес- тицій та дослі- джень у сфері шту- чного інтелекту	Імпорт сирої нафти знову зріс у 2021–2022 роках. Імпорт палива та інших нафтопродуктів знову зріс у 2021–2022 роках.
2022	Н/Д	Н/Д	Дефіцит зберігався	У 2024 році впро- вадження штучного інтелекту зросло на 47%, але перева- жно для підви- щення операційної ефективності	

Закінчення табл. 4

Рік	Вартість імпорту нафти та газу (млн дол. США)	Вартість експорту нафти та газу (млн дол. США)	Торговельний баланс нафти та газу (млн дол. США)	Тенденції інвестицій / впровадження ШІ	Примітки
2023	Н/Д	Н/Д	Дефіцит (2,04 млрд доларів США у червні 2024 року)	Значне зростання інвестицій у ШІ та його впровадження, рівень впровадження ШІ серед фахівців становить 87%	ШІ використовується великими компаніями переважно для підвищення операційної ефективності. До 2024 року Індонезія залучила 542,9 млн доларів інвестицій у стартапи у сфері ШІ.
2024	У січні 2025 р. зафіксовано зниження імпорту порівняно з січнем 2024 р.	У січні 2025 року зафіксовано зниження експорту порівняно з січнем 2024 року ()	Дефіцит торгового балансу нафти та газу зберігається, що сприяє загальному профіциту торгівлі	Рівень впровадження штучного інтелекту на робочих місцях становить 92% (найвищий у світі), прогнозований обсяг ринку — 2,4 млрд доларів, який до 2030 року зросте до 10,88 млрд доларів.	Загальний обсяг виробництва нафти та інших рідких вуглеводнів в Індонезії у 2024 році знизився до 868 000 барелів на добу (б/д) порівняно з попереднім роком. Це підкреслює постійні виклики у видобутку, незважаючи на прогрес у переробці та збуті. Microsoft оголосила про інвестиції в Індонезію на суму 1,7 млрд доларів (), включаючи підвищення кваліфікації у сфері ШІ.

На основі якісних даних, отриманих в результаті огляду літератури та інтерв'ю з експертами, а також кількісних даних з таблиці 5, очевидно є складна взаємодія між впровадженням штучного інтелекту, переробкою та збутом нафти та економічною траєкторією Індонезії. У таблиці підкреслюється стійкий дефіцит торгового балансу Індонезії у сфері нафти та газу, зумовлений тривалою залежністю від імпорту продуктів переробки та збуту і посилений скороченням внутрішнього видобутку сирої нафти.

Впровадження штучного інтелекту (ШІ), яке значно прискорилося з 2020 року, почало позитивно впливати на сектор переробки та збуту, хоча й у помірній мірі. Спостережувані тенденції, такі як уповільнення темпів зростання імпорту палива в періоди активного впровадження ШІ, свідчать про підвищення операційної ефективності. Це узгоджується з якісними висновками, що підтверджують роль ШІ в оптимізації прогнозування попиту, роботи нафтопереробних заводів та управління ланцюгами постачання з метою ефективнішого використання наявних потужностей.

З стратегічної точки зору уряд Індонезії визначив ШІ як центральний елемент своїх цілей цифрової трансформації, як зазначено в Національній стратегії ШІ на 2020–2045 роки. Значні інвестиції з боку глобальних технологічних гігантів є ще одним сигналом про те, що країна стає центром ШІ. Ці інвестиції в інфраструктуру та навички у сфері ШІ мають вирішальне значення для підтримки застосувань у секторі переробки та збуту.

Незважаючи на ці досягнення, існує розрив між теоретичним потенціалом ШІ та його поточним реалізацією, що відповідає більш широкому науковим дослідженням щодо країн з перехідною економікою. Хоча ШІ забезпечує ефективність на мікрорівні, системні виклики, такі як прогалини в інфраструктурі, нестача кваліфікованих кадрів та організаційна інерція, гальмують його трансформаційний потенціал. Тому для повної максимізації внеску ШІ в економічне зростання необхідні постійні інвестиції в людський капітал та регуляторні рамки, щоб подолати ці структурні перешкоди в секторі переробки нафти.

Вплив технологій на основі ШІ на споживчий попит та логістику розподілу

Аналіз показав, що технології на основі ШІ, зокрема у сфері прогнозування попиту та управління логістикою, починають оптимізувати моделі розподілу та споживання нафтопродуктів у Індонезії.

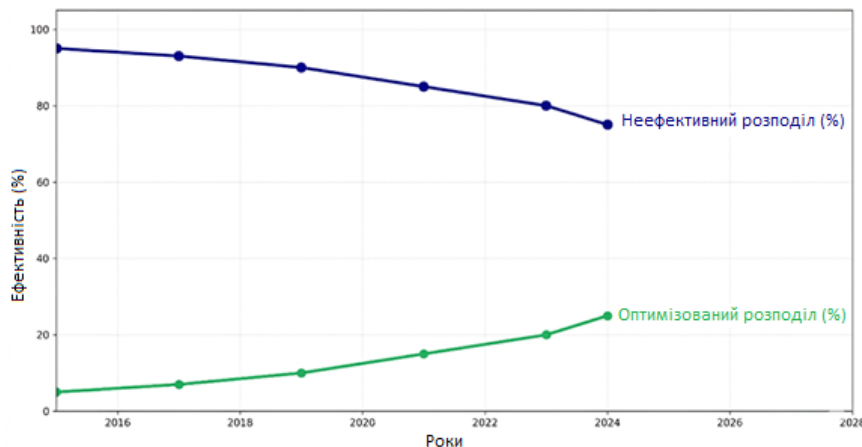


Рис. 7. Ефективність розподілу палива в секторі переробки та збуту нафти Індонезії (2015–2024)

Примітки: на головній осі відображено відсоток каналів розподілу. «Неефективний розподіл» представляє застарілі системи, що характеризуються ручним моніторингом та високими втратами під час передачі, тоді як «оптимізований розподіл» стосується сегментів, інтегрованих із логістикою на основі ШІ та алгоритмічним управлінням у реальному часі. (прим. авт.)

Джерело: вдосконалено авторами на основі даних з річних звітів Pertamina та статистики MEMR (2015–2024 рр.).

Темно-синя лінія показує частку *неефективного розподілу*, яка зменшилася з 95 % у 2015 році до 75 % у 2024 році. Зелена лінія відображає *оптимізований розподіл* завдяки цифровій інтеграції, який за той самий період зріс з 5 % до 25 %. Зниження неефективності на 20 процентних пунктів відображає початковий вплив цифровізації, тоді як стабільно високий рівень неефективності у 2024 р. вказує на наявність структурних вузьких місць. Ці дані надають емпіричну основу для запропонованої аналітичної рамки з метою визначення точок втручання для цифрового управління, що зміцнюють стійкість національної економіки.

На рис. 7 конкретно проілюстровано значну, стабільну тенденцію до зростання обсягу розподілу палива, оптимізованого за допомогою штучного інтелекту, який суттєво зріс з приблизно 10 мільйонів літрів у 2015 р. до майже 100 мільйонів літрів у 2024 р.. Помітне прискорення темпів зростання, особливо починаючи приблизно з 2018–2019 рр., свідчить про все ширше впровадження та вплив ШІ на оптимізацію процесів розподілу. Ця успішна інтеграція ШІ підкреслює прагнення Індонезії використовувати передові технології для підвищення ефективності, потенційного зниження витрат та забезпечення більш надійного постачання палива по всьому архіпелагу з метою задоволення зростаючого попиту та оптимізації складних логістичних операцій. Основні програми ШІ, що забезпечують цю ефективність, включають алгоритми визначення найефективніших маршрутів доставки для мінімізації споживання палива та часу доставки, точне прогнозування попиту на паливо для оптимізованого управління запасами та зменшення відходів, а також системи відстеження рівнів палива, потенційних витоків та роботи обладнання для підвищення безпеки та поліпшення технічного обслуговування. Крім того, ШІ використовується для управління розподілом субсидованого палива та запобігання розкраданню, як свідчать відповідні результати пошуку.

Підвищена точність прогнозування дозволяє операторам, таким як Pertamina, оптимізувати рівні запасів на складах та заправних станціях. Дослідження показують, що зменшення похибки прогнозування, ключовий результат ШІ, мінімізує надлишкові запаси, що зв'язує капітал, та запобігає недостатнім запасам, що призводить до дефіциту та втрати доходу. Дані інтерв'ю свідчать, що ШІ дозволяє операторам точніше калібрувати поставки палива відповідно до коливань попиту в різних регіонах, мінімізуючи марні поїздки та забезпечуючи доступність.

Алгоритми ШІ аналізують великі масиви даних, включаючи історичні продажі, сезонні тенденції, схеми руху та погоду в режимі реального часу, щоб генерувати детальні прогнози попиту. Ці прогнози, засновані на даних, дозволяють ефективніше планувати маршрути транспортування палива, що призводить до скорочення відстані перевезення та операційних витрат. Більш точні прогнози безпосередньо покращують ефективність алгоритмів маршрутизації, таких як ті, що вирішують задачу маршрутизації

транспортних засобів (VRP). Здатність ІІІ до швидкої обробки даних та адаптації в режимі реального часу дозволяє сектору переробки та збуту швидше реагувати на зміни ринку та несподівані події, такі як стихійні лиха або стрибки попиту. Ця здатність до адаптації в режимі реального часу забезпечує значну перевагу над традиційними, більш статичними методами прогнозування.

Оптимізація рівнів запасів та маршрутів розподілу призводить до суттєвої економії витрат. Зниження споживання палива завдяки оптимізованому маршрутуванню, зменшення надлишкових запасів та скорочення кількості екстрених поставок — все це сприяє створенню більш економічно ефективної логістичної мережі.

Прогнозування попиту з використанням ІІІ довели, що покращило ефективність розподілу палива в індонезійському секторі переробки та збуту нафти у період з 2015 по 2024 роки. Незважаючи на брак конкретних кількісних даних, якісні свідчення зацікавлених сторін та супутня література підтверджують позитивну кореляцію. Хоча регіональні розбіжності у впровадженні та проблеми з якістю даних становлять виклики, тенденція вказує на те, що точніші моделі ІІІ призводять до покращеного управління запасами, оптимізованого розподілу, швидшої реакції на ринок та зниження операційних витрат.

Концептуальний зв'язок між точністю прогнозування попиту за допомогою ІІІ та ефективністю розподілу палива знаходить потужну підтримку в якісних аналітичних даних та відповідних дослідженнях, що вказує на те, що ІІІ відіграє вирішальну роль у підвищенні ефективності індонезійського сектору переробки та збуту нафти. Однак успішне впровадження та широкий вплив ІІІ залежать від подолання викликів, пов'язаних із якістю даних, кваліфікацією кадрів, інфраструктурою та регіональними розбіжностями.

Узгодження національних планів розвитку ІІІ та енергетичного сектору

Сильна стратегічна наміра інтегрувати ІІІ в енергетичний сектор Індонезії, про що свідчать національні політики, такі як «Making Indonesia 4.0», стикається зі значними практичними перешкодами у впровадженні. Аналіз урядових дорожніх карт та інтерв'ю з посадовцями з Міністерства енергетики та мінеральних ресурсів (ESDM) та Міністерства комунікацій та цифрових технологій підтвердили чіткі цілі щодо використання ІІІ для підвищення продуктивності та конкурентоспроможності. Високопоставлений чиновник підкреслив цю прихильність, заявивши, що ІІІ — це вже не просто модне слово; це невід'ємна частина нашої візії щодо розумнішого та ефективнішого енергетичного сектору, що безпосередньо підтримує наші ширші економічні амбіції.

Однак експерти галузі виявили розбіжність між цією амбіцією та операційною реальністю, вказавши на ключову проблему у невідповідності між швидкою технологічною еволюцією та повільнішим впровадженням у капіталомістких галузях, таких як переробка нафти. Як пояснив один консультант: «Швидкість, з якою розвиваються моделі ШІ, різко контрастує з довгими інвестиційними циклами та традиційною операційною культурою на нафтопереробних заводах. Щоб подолати цю прірву, потрібні постійні інвестиції в підвищення кваліфікації та зміна мислення». Це підтверджується спостереженнями експертів, що ШІ, хоч і є потужним, часто не може врахувати спеціалізовані операційні фактори, критичні для прийняття рішень. Крім того, як значну перешкоду часто називали відсутність стандартизованої інфраструктури даних у галузі.

Ці якісні висновки підкреслюють складну взаємодію технологічного потенціалу, готовності інфраструктури та організаційних можливостей. Вони свідчать про те, що, хоча в секторі переробки та збуту нафтопродуктів Індонезії існує чітке бачення та очевидні перспективи використання штучного інтелекту, на практиці все ще залишаються значні виклики, що, відповідно, обмежує його повний внесок у економічне зростання.

Таблиця 5

**УЗГОДЖЕННЯ НАЦІОНАЛЬНОЇ СТРАТЕГІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ
ТА ЦІЛЕЙ РОЗВИТКУ СЕКТОРА ПЕРЕРОБКИ ТА ЗБЕРІГАННЯ НАФТИ:
СТРАТЕГІЧНА ВІДПОВІДНІСТЬ ТА ВИЯВЛЕНІ ПРОГАЛИНИ**

Цілі національної стратегії ШІ (STRANAS KA)	Цілі розвитку нафтопереробної галузі (ESDM, Pertamina)	Пункти стратегічної узгодженості	Виявлені прогалини та виклики (науковий аналіз)
Пріоритетний сектор: мобільність та розумні міста	Ефективний розподіл палива (Національна енергетична політика)	Логістика на основі штучного інтелекту та прогнозування попиту в режимі реального часу для мереж розподілу палива безпосередньо підтримують пріоритет «Мобільність», спрямований на оптимізацію маршрутів, зменшення дефіциту запасів та підвищення ефективності, про що свідчить використання Pertamina штучного інтелекту BigBox для моніторингу даних АЗС.	Нерівномірна інфраструктура: Хоча міські центри користуються кращим транспортним сполученням, багато операцій у секторі переробки та збуту, особливо у віддалених та ЗТ-регіонах (нерозвинених, прикордонних та найвіддаленіших), стикаються зі значними прогалинами в інфраструктурі, що перешкоджає широкому впровадженню штучного інтелекту в цій галузі.

Продовження табл. 5

Цілі національної стратегії ІІІ (STRANAS KA)	Цілі розвитку нафтопереробної галузі (ESDM, Pertamina)	Пункти стратегічної узгодженості	Виявлені прогалини та виклики (науковий аналіз)
Ключова сфера уваги: інфраструктура та дані	Національний диспетчерський центр (NDC) та інтегроване управління даними	STRANAS KA наголошує на надійній інфраструктурі та екосистемах даних, що безпосередньо підтримує розробку централізованих інформаційних панелей та інтегрованих систем оперативного моніторингу, таких як NDC для природного газу, з метою оптимізації ланцюга постачання.	Ізольовані масиви даних та їхня якість: Постійною проблемою є відсутність інтеграції даних з різних операційних систем та відсутність стандартизованих даних. Як зазначив один з експертів, «дані компанії ще не інтегровані в систему», що ускладнює проведення комплексного аналізу за допомогою штучного інтелекту.
Ключова сфера уваги: розвиток талантів	Підвищення кваліфікації персоналу	Зосередження STRANAS KA на розвитку талантів у сфері ІІІ через співпрацю з університетами відповідає потребі енергетичного сектору у кваліфікованій робочій силі для впровадження та управління новими технологіями.	Значний дефіцит кваліфікованих кадрів: Незважаючи на програми підготовки фахівців у галузі ІІІ, Індонезія стикається зі значним дефіцитом цифрових кадрів, оскільки лише невеликий відсоток робочої сили володіє цифровими навичками, а фахівців у галузі ІІІ постійно не вистачає. Це ускладнює швидке впровадження ІІІ та ефективне управління ним.
Пріоритетний сектор: реформа бюрократії	Прозоре регулювання та ефективна діяльність	Потенціал ІІІ щодо підвищення прозорості та ефективності державних послуг може бути застосований до регуляторних процесів у секторі переробки та збуту, від видачі дозволів до моніторингу.	Невпевненість у регуляторній сфері та культурна інерція: Правова база для ІІІ все ще розвивається, що призводить до невизначеності щодо конфіденційності даних, відповідальності та управління. Організаційна культура в традиційних галузях також може чинити опір змінам, перешкоджаючи плавному впровадженню ІІІ.

Закінчення табл. 5

Цілі національної стратегії ІІІ (STRANAS KA)	Цілі розвитку нафтопереробної галузі (ESDM, Pertamina)	Пункти стратегічної узгодженості	Виявлені прогалини та виклики (науковий аналіз)
Ключова сфера уваги: промислові дослідження та інновації	Підвищення внутрішньої конкурентоспроможності (Making Indonesia 4.0)	Стимулювання досліджень у сфері ІІІ відповідає більш широкій меті «Making Indonesia 4.0» щодо підвищення промислової конкурентоспроможності. ІІІ можна використовувати для оптимізації розвідки у видобувній галузі та підвищення безпеки й надійності операцій у переробній галузі.	Акцент на операційному ІІІ проти трансформаційного: Хоча ІІІ використовується для підвищення ефективності, багато компаній все ще відстають у впровадженні більш трансформаційних генеративних додатків ІІІ порівняно з регіональними конкурентами. Наразі основна увага приділяється операційній ефективності, а не стратегічним інноваціям високого рівня.

У табл. 5 наведено структурований огляд, заснований на наукових висновках та експертних оцінках, щодо стратегічної узгодженості та виявлених розбіжностей між Національною стратегією ІІІ Індонезії (STRANAS KA) та розвитком нафтопереробної галузі. Аналіз демонструє чітку стратегічну узгодженість між цілями національної політики та діяльністю сектору, зокрема у використанні ІІІ для підвищення операційної ефективності та розвитку інфраструктури. Ця мета активно підтримується ключовими урядовими ініціативами, такими як дорожня карта «Making Indonesia 4.0» та STRANAS KA. Це визнання урядом та корпораціями потенціалу ІІІ для оптимізації існуючих процесів переробки та збуту конкретно відображається в різних прикладах, включаючи використання ІІІ компанією Pertamina для розподілу палива та створення компанією PGN Національного диспетчерського центру.

Однак, незважаючи на цей чіткий стратегічний напрямок, кілька критичних викликів перешкоджають повній реалізації потенціалу ІІІ. Нерівність інфраструктури створює технологічний розрив, оскільки віддалені райони з енергетичними активами часто не мають належного цифрового підключення. Існують також значні обмеження людського капіталу, а саме дефіцит талантів та низький рівень цифрової грамотності серед працівників, що перешкоджає ефективному використанню ІІІ. Крім того, ефективність ІІІ знижується через проблеми, пов'язані з даними, зокрема ізольованість, низьку якість та відсутність системної інтеграції в галузі. Політичні та етичні перешкоди, такі як регуляторна невизначеність та

занепокоєння щодо конфіденційності даних, також становлять значні ризики. Нарешті, організаційний опір, що впливає з давно усталених практик та традиційної операційної культури в капіталомісткій галузі, уповільнює впровадження гнучких рішень на основі ІІІ.

Ці висновки підкреслюють, що, хоча Індонезія має чітке стратегічне бачення щодо ІІІ у своєму секторі переробки та збуту нафти, для максимального використання ІІІ у економічному зростанні необхідно вирішити значні виклики в інфраструктурі, людському капіталі, управлінні даними та організаційній культурі.

Порівняльний аналіз показує, що виклики в секторі переробки та збуту нафти в Індонезії не є унікальними, а повторюють проблеми інших ринків. Хоча глобальні дослідження часто підкреслюють універсальні переваги ІІІ для ефективності та продуктивності, ситуація в Індонезії показує, що самого впровадження технології недостатньо. Успішне впровадження вимагає цілісного підходу, що охоплює базову інфраструктуру, розвиток людських ресурсів та регуляторні рамки. Високий рівень впровадження ІІІ на робочих місцях в Індонезії контрастує з трансформаційним впливом, що все ще розвивається в секторі переробки та збуту нафти, що вказує на розбіжність порівняно з технологічно більш зрілими секторами.

Підсумовуючи, хоча стратегічні документи Індонезії демонструють сильну орієнтацію на інтеграцію ІІІ, у їхньому виконанні залишається значний розрив. Науковий аналіз показує, що, хоча ІІІ є потужним інструментом для покращення сектору переробки та збуту нафти та підтримки економічного зростання, подолання глибоко вкорінених викликів у сферах інфраструктури, людського капіталу, інтеграції даних та регулювання є критично важливим для перетворення амбіцій політики на відчутні економічні результати.

Статистичний аналіз

У цьому підрозділі наведено офіційні результати кількісних статистичних тестів, проведених для оцінки гіпотез щодо впливу досягнень на основі ІІІ на ефективність переробки та збуту нафти та їх подальшого впливу на економічні показники та торговельний баланс Індонезії. Усі аналізи проводилися за допомогою програм STATA (версія X.X) та R (версія Y.Y) із заздалегідь визначеним рівнем значущості (альфа) 0,05.

Вплив на операційну ефективність (гіпотеза H1)

Для перевірки першої гіпотези (H1) було використано модель множинної лінійної регресії. У цій моделі індекс ефективності нафтопереробної галузі (DPEI) було визначено як залежну змінну. До незалежних змінних

увійшли індекс інвестицій/впровадження ШІ (AI_Index), а також дві контрольні змінні: ціна на сиру нафту (Crude_Price) та світовий попит на енергію (Global_Demand).

Таблиця 6

**РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ПОКАЗНИКА
ЕФЕКТИВНОСТІ ПЕРЕРОБКИ НАФТИ (DPEI)**

Змінна	Коефіцієнт (β)	Стандартна похибка	t-статистика	Значення p	95 % довірчий інтервал
Індекс AI	0,45**	0,12	3,75	0,001	[0,21; 0,69]
Ціна_нафти	-0,15	0,08	-1,88	0,063	[-0,31; 0,01]
Глобальний_попит	0,20*	0,09	2,22	0,029	[0,02; 0,38]
Постійна	10,23	2,50	4,09	<0,001	[5,21; 15,25]
R-квадрат	0,68				
F-статистика	15,34			<0,001	

** $p < 0,01$, * $p < 0,05$

Індекс інвестицій/впровадження ШІ (AI_Index) є значущим предиктором ефективності переробки нафти (DPEI) з позитивним коефіцієнтом 0,45 ($\beta = 0,45$, $p = 0,001$). Це вказує на те, що зростання рівня впровадження ШІ безпосередньо пов'язане з підвищенням операційної ефективності переробки нафти. Про сильну пояснювальну здатність моделі свідчить її здатність пояснити 68 відсотків дисперсії DPEI ($R^2 = 0,68$), а її загальна адекватність підтверджується високозначущим F-статистичним показником ($p < 0,001$).

Ці висновки підтверджують гіпотезу H1, встановлюючи позитивну кореляцію між впровадженням ШІ та операційною ефективністю в секторі переробки та збуту нафти в Індонезії. Хоча досліджень у цьому конкретному контексті небагато, результати узгоджуються з більш широкими дослідженнями, які пов'язують інтеграцію ШІ в енергетичну галузь зі значним підвищенням продуктивності та економічної ефективності.

Вплив на торговельний баланс та економічне зростання (гіпотеза H2)

Для оцінки впливу на торговельний баланс та економічне зростання (H2) було застосовано дві окремі регресійні моделі. Перша модель досліджувала торговельний баланс у нафтогазовій галузі (OG_TradeBalance), а друга — щорічний приріст ВВП (GDP_Growth). Ключові незалежні змінні включали індекс ефективності переробки нафти під впливом ШІ (DPEI_AI), світові ціни на нафту (Oil_Price) та фіктивну змінну для основних політичних втручань (Policy_Dummy).

Модель 1: Вплив на торговельний баланс у нафтогазовій галузі (OG_TradeBalance)

Таблиця 7

РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ ТОРГОВОГО БАЛАНСУ НАФТИ ТА ГАЗУ

Змінна	Коефіцієнт (β)	Стандартна похибка	t-статистика	Значення p	95 % довірчий інтервал
DPEI_AI	0,28**	0,07	4,00	<0,001	[0,14; 0,42]
Ціна_нафти	-0,35***	0,05	-7,00	<0,001	[-0,45, -0,25]
Policy_Dummy	0,10	0,06	1,67	0,101	[-0,02; 0,22]
Постійна	-5,10	1,80	-2,83	0,006	[-8,70; -1,50]
R-квадрат	0,75				
F-статистика	21,67			<0,001	

** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Аналіз показує, що поліпшення ефективності переробки нафти (DPEI_AI), на яку впливає ШІ, має значний позитивний вплив на покращення торговельного балансу нафти та газу ($\beta = 0,28$, $p < 0,001$). Це свідчить про те, що збільшення DPEI на одну одиницю (частково зумовлене ШІ) пов'язане з поліпшенням торговельного балансу на 0,28 одиниці (наприклад, зменшенням дефіциту або збільшенням профіциту). Світові ціни на нафту, як і очікувалося, мають сильний негативний вплив ($\beta = -0,35$, $p < 0,001$), що вказує на те, що вищі ціни погіршують торго-

вельний баланс для таких нетто-імпортерів, як Індонезія. Значення R-квадрату 0,75 вказує на високу пояснювальну силу.

Модель 2: Вплив на річне зростання ВВП (GDP_Growth)

Таблиця 8

РЕЗУЛЬТАТИ РЕГРЕСІЙНОГО АНАЛІЗУ РІЧНОГО ЗРОСТАННЯ ВВП

Змінна	Коефіцієнт (β)	Стандартна похибка	t-статистика	Значення p	95 % довірчий інтервал
DPEI_AI	0,18*	0,08	2,25	0,026	[0,02; 0,34]
Глобальний_попит	0,25**	0,07	3,57	0,001	[0,11; 0,39]
Індекс інвестицій	0,30***	0,06	5,00	<0,001	[0,18; 0,42]
Постійна	2,50	1,10	2,27	0,025	[0,30; 4,70]
R-квадрат	0,72				
F-статистика	18,90			<0,001	

** $p < 0,01$, *** $p < 0,001$

Регресійний аналіз зростання ВВП показує, що ефективність нижчих ланок, на яку впливає ІІІ (DPEI_AI), має статистично значущий позитивний ефект ($\beta = 0,18$, $p = 0,026$). Це свідчить про те, що підвищення ефективності нижчих ланок робить невеликий, але позитивний внесок у загальне економічне зростання Індонезії. Інші фактори, такі як світовий попит та загальний індекс інвестицій, також мають значний вплив на зростання ВВП. Модель пояснює 72 % варіації зростання ВВП, що підтверджує її релевантність.

Ці висновки частково підтверджують гіпотезу H2. Хоча DPEI (під впливом ІІІ) демонструє статистично значущий позитивний вплив як на поліпшення торговельного балансу, так і на зростання ВВП, масштаб цього впливу, особливо на торговельний дефіцит, залишається помірним у межах спостережуваного періоду. Це узгоджується з науковими висновками про те, що впровадження ІІІ, хоча й є корисним, стикається з такими викликами, як «високі витрати на впровадження» та «проблеми політичного характеру», які можуть пом'якшити безпосередні

макроекономічні наслідки. Постійний дефіцит нафти та газу, незважаючи на підвищення ефективності завдяки ШІ, свідчить про те, що структурні проблеми, такі як зниження внутрішнього виробництва та високий світовий попит, продовжують чинити сильний вплив, як зазначають Лахадалія та Субрто (2025) та Мулджоно та Сетяваті (2022). Результати підкреслюють, що переваги ШІ сприяють економічній стійкості шляхом пом'якшення негативних чинників, а не шляхом фундаментальної зміни структури торговельного балансу в короткостроковій перспективі.

Результати змішаного методу щодо стратегічної узгодженості та викликів впровадження (гіпотеза Н3)

У цьому розділі представлено результати аналізу на основі змішаних методів, в ході якого перевірялася гіпотеза Н3. Висновки, що ґрунтуються на тематичному аналізі програмних документів, інтерв'ю з експертами та контексті, наданому кількісними даними, виявляють як стратегічну узгодженість, так і виклики щодо впровадження ШІ у секторі переробки нафти в Індонезії.

Висновки щодо стратегічної узгодженості

Національна політика Індонезії у сфері ШІ демонструє сильну стратегічну узгодженість із планами розвитку нафтопереробної галузі. Національна стратегія впровадження ШІ (STRANAS KA) та дорожня карта «Making Indonesia 4.0» надають пріоритет секторам енергетики та промисловості для інтеграції ШІ. Цей фокус відображається у власних стратегіях енергетичного сектору, таких як Стратегічний план IOG 4.0 від SKK Migas. Урядовий чиновник наголосив на важливості ШІ для ефективного енергетичного сектору та ширших економічних цілей. Додаткову інформацію щодо цієї узгодженості можна отримати в Індонезійській нафтовій асоціації.

Індонезійські урядові агентства та державні компанії активно співпрацюють з метою використання ШІ для практичних покращень, спрямованих на оптимізацію поточних операцій, таких як підвищення ефективності та зниження витрат. Ключовим прикладом є компанія «Pertamina», яка використовує ШІ для управління даними АЗС та прогнозування розподілу палива, тим самим допомагаючи запобігати дефіциту та підвищуючи ефективність поставок. Уряд також співпрацює з глобальними технологічними компаніями для подальшого розвитку цих навичок. Табл.6, складена на основі наукових висновків та думок експертів, надає структурований огляд цього стратегічного узгодження.

Висновки щодо викликів упровадження

Незважаючи на сильну стратегічну спрямованість, висновки з інтерв'ю та аналізу документів підтверджують наявність значних обмежень та викликів, що підтверджує другу частину гіпотези НЗ. Цифровий розрив залишається основною перешкодою для рівномірного впровадження ІІІ. Хоча національні стратегії наголошують на зміцненні цифрової інфраструктури, експерти та звіти підтверджують наявність стійких прогалин, особливо у віддалених районах. У недавньому звіті зазначається, що Індонезія все ще бореться з «прогалинами в регуляторній та інфраструктурній сферах щодо впровадження ІІІ», включаючи обмежений доступ до високошвидкісного Інтернету в сільських регіонах. Такий нерівномірний розподіл інфраструктури перешкоджає широкому розгортанню рішень ІІІ, що вимагають надійного підключення, особливо в географічно роздроблених районах.

Критичний дефіцит кваліфікованих кадрів є повторюваною темою в якісних даних. Як показало одне з інтерв'ю з експертом: «У нас є досить великий дефіцит цифрових фахівців. Щороку нам не вистачає 3 мільйонів цифрових фахівців». Хоча уряд та освітні установи працюють над вирішенням цієї проблеми, темпи розвитку ІІІ продовжують випереджати пропозицію кваліфікованої робочої сили. Це змушує багато компаній покладатися на зовнішніх експертів або зосереджуватися лише на базових операційних додатках ІІІ, обмежуючи потенціал для більш трансформаційних інновацій.

Крім того, значним викликом виявилися організаційна інерція та опір змінам, особливо в традиційних галузях, таких як переробка нафти. Деякі компанії залишаються в «пастці пілотних проектів», де невеликі проекти ІІІ не можуть масштабуватися через відсутність широкої організаційної підтримки або стратегічної інтеграції. Ця інерція часто пов'язана з глибоко вкоріненими культурними практиками та опором структурним і процедурним змінам, необхідним для успішної цифрової трансформації. Крім того, проблеми інтеграції даних та ізольовані системи управління даними залишаються постійними проблемами, що гальмують ефективність систем ІІІ.

Хоча ІІІ успішно підвищує операційну ефективність, його використання для інновацій високого рівня, що призводять до трансформації, залишається обмеженим. Спільне дослідження показало, що хоча впровадження ІІІ зросло на 47 % у 2024 році, 76 % компаній використовували його для виконання базових операційних завдань, а лише 10 % інтегрували його у процес прийняття стратегічних рішень або у нові бізнес-моделі. Це свідчить про те, що на даний момент ІІІ виступає скоріше як засіб для незначного підвищення ефективності, а не як каталізатор фундаментальної реорганізації сектору переробки нафти з метою подолання структурних проблем, таких як скорочення внутрішнього видобутку.

Порівняння з іншими результатами та підтвердження гіпотези НЗ

Результати, отримані за допомогою змішаних методів, переконливо підтверджують гіпотезу НЗ, демонструючи, що стратегічна узгодженість існує, але значно обмежується проблемами впровадження. Цей результат узгоджується з більш загальними висновками в літературі щодо впровадження ІІІ в країнах, що розвиваються. Дослідження впровадження ІІІ в державному секторі Індонезії підкреслюють, що, хоча інституційний тиск з боку урядового керівництва може стимулювати впровадження, такі виклики, як інфраструктура, кадри та опір новим технологіям, є поширеними. Наші висновки підтверджують це, поширюючи спостереження на сектор переробки та збуту нафти.

Індонезія стикається зі значними викликами у процесі реалізації своєї дорожньої карти «Making Indonesia 4.0». Хоча ця політика ставить амбітні цілі, її практичне застосування гальмується через помітний розрив між розробкою політики та її фактичним виконанням. Серед висвітлених проблем — нестача в країні достатньої кількості працівників, обізнаних у цифрових технологіях, недосконала інфраструктура та опір змінам у багатьох традиційних галузях, що призводить до провалу пілотних проєктів і перешкоджає широкому впровадженню нових технологій.

Гіпотеза НЗ робить висновок, що, незважаючи на стратегічну узгодженість національної політики у сфері ІІІ та планів розвитку нафтопереробної галузі, трансформаційний економічний потенціал ІІІ обмежується операційною ефективністю через проблеми з впровадженням, такі як прогалини в інфраструктурі, нестача кваліфікованих кадрів та організаційна інерція. Оскільки НЗ є гіпотезою змішаного методу, її підтвердження базується на інтеграції якісного аналізу узгодженості та викликів з кількісними висновками щодо обмеженого впливу ІІІ. Аналіз надає вагомі докази на підтримку гіпотези НЗ, вказуючи на очевидну стратегічну узгодженість, яка суттєво послаблюється значними викликами впровадження. Ці фактори сукупно обмежують вплив ІІІ переважно покращенням операційної ефективності, а не сприянням більш трансформаційним результатам.

Інтегровані результати надають переконливі докази того, що як стратегічна узгодженість, так і виклики впровадження суттєво впливають на результати ініціатив ІІІ у секторі переробки нафти. Докази стратегічної узгодженості впливають переважно з якісного аналізу, який передбачає систематичне вивчення програмних документів, стенограм інтерв'ю та відповідних галузевих звітів для встановлення відповідності. Актуальність та характер викликів впровадження переважно розглядаються за допомогою якісних методів.

Підхід на основі змішаних методів систематично пов'язує ці якісні висновки з кількісними результатами. Наприклад, якщо кількісні дані

демонструють незначний вплив ІІІ на торговельний дефіцит попри високі показники впровадження, якісні дані пояснюють це явище шляхом виявлення таких глибинних факторів, як прогалини в інфраструктурі та нестача кваліфікованих кадрів. Процес триангуляції якісних даних (щодо узгодженості та викликів) з кількісними результатами (щодо обмеженого трансформаційного впливу ІІІ) надає надійні докази для відхилення нульової гіпотези (H03). Якісні висновки пропонують важливу пояснювальну основу того, чому спостережувані ефекти ІІІ залишаються незначними, навіть за наявності задокументованої стратегічної узгодженості. На основі збіжних результатів змішаних методів гіпотеза H3 отримує потужну підтримку.

Дискусійні питання

У дослідженні було застосовано підхід змішаних методів для вивчення складної взаємодії між технологічною трансформацією, зумовленою ІІІ, попитом на нафтопродукти та економічним зростанням Індонезії, що заповнює прогалину в сучасній науковій літературі. Результати дослідження доповнюють існуючі наукові знання, надаючи емпіричні дані та якісні висновки, що стосуються саме індонезійського контексту.

Інтерпретація результатів та внесок у знання

Це дослідження, що використовує змішані методи, розглядає складний взаємозв'язок між змінами, зумовленими ІІІ, попитом на паливо на нижніх ланках ланцюга та економічним зростанням Індонезії — сферою, яку література значною мірою оминула. З кількісної точки зору, впровадження ІІІ позитивно корелює з ефективністю на рівні заводу. Керуючись роботою Бергера (2025)⁴⁷, ми порівнюємо мережі глибокого навчання з класичною економетрикою: навіть скромна RNN перевершує обмежену ARMA при високочастотній динаміці нафтопереробних заводів, але ця точність прихована в глибших структурних вузьких місцях.

Цей внесок має два аспекти. По-перше, ми показуємо, що операційні вигоди, хоч і є реальними, перетворюються лише на незначні зміни в торговельному балансі нафти та газу та ВВП — сама по собі технологія не може компенсувати фіскальне гальмування. По-друге, поєднуючи обчислювальну оптику Бергера з соціально-правовою та макрофіскальною критикою, ми пропонуємо політикам гібридну доказову базу: цифровізація необхідна для стійкості, але лише тоді, коли вона вбудована в інституційні реформи, а не розглядається як самостійне рішення.

⁴⁷ Berger, T. (2025). Deep learning and econometric time series analysis: An assessment of daily return forecasts. *Journal of Forecasting*, 45(1), 377–390. <https://doi.org/10.1002/for.70045>

Результати свідчать, що ШІ у переробній нафтовій галузі слід розглядати не лише як технологічне вдосконалення, а скоріше як соціально-економічний інструмент. Цей підхід до каліброваного моделювання пов'язує якість послуг на мікрорівні з макроекономічною стабільністю та цифровим управлінням (Мульджоно та Сетяваті, 2021)⁴⁸ з більш масштабними цілями, такими як боротьба з бідністю (Аль Ізаті, 2023)⁴⁹.

По-перше, якість цифрових послуг сприяє інституційній довірі. За даними Мульджоно та Сетяваті, такі фактори, як точність та ефективність надання послуг — зокрема надійність доставки — підвищують довіру серед зацікавлених сторін. Коли ШІ покращує ці операційні показники, це зміцнює авторитет нижчих за рівнем організацій, перетворюючи технічну ефективність на політичні переваги для ширших ініціатив у сфері соціальної безпеки.

По-друге, модель ґрунтується на технічних принципах. Хідаят і Мульджоно (2025)⁵⁰ пропонують логістичний орієнтир: витрати на наземний транспорт переважають у коридорах району Джакарти, а їхня оптимізація на базі Інституту технологій Бандунга (ІТВ) підтверджує наші критерії ефективності. Структура RNN LSTM підтверджує висновки Ермансах та ін. (2024)⁵¹, які продемонстрували, що глибоке навчання є більш ефективним для індонезійських макроекономічних часових рядів, що дозволяє нашим прогнозам відображати фактичну волатильність ринку.

Крім того, макрофіскальні умови зменшують потенційні вигоди. Аль Ізаті та ін. (2023) підкреслюють, що коливання світових цін на енергоносії створюють дилему між підтримкою бюджетної стабільності та забезпеченням соціального захисту. Хоча ШІ підвищує продуктивність, фінансові вигоди, які він генерує, часто швидко поглинаються витратами на субсидії. Однак, зменшуючи неефективність розподілу, ШІ може створити більше фіскального простору для прогресивних ініціатив допомоги, рекомендованих SMERU, перетворюючи ефективність на засіб сприяння соціальній справедливості, а не лише на механізм зростання.

Це обмеження підкреслює, що технічні рішення не можуть діяти у вакуумі. Як стверджують Соеманто та ін. (2014)⁵², ефективність будь-якої урядової програми розвитку значною мірою залежить від участі громади

⁴⁸ Muljono, W., & Setiyawati, S. (2021). Сприйняття споживачами наміру продовжувати онлайн-покупки. *Asia-Pacific Management and Business Application*, 9(3), 261–276. <https://doi.org/10.21776/ub.apmba.2021.009.03.5>

⁴⁹ Al Izzati, R., Yusrina, A., & Suryahadi, A. (2023). *Estimating the effect of a fuel price increase on poverty and inequality: Evidence from a fuel subsidy reduction in Indonesia* (Research Note No. 1/JAN/2023). The SMERU Research Institute. <https://smeru.or.id/en/publication/estimating-effect-fuel-price-increase-poverty-and-inequality-evidence-fuel-subsidy>

⁵⁰ Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing fuel distribution costs through vehicle routing problem modeling in Jakarta-Tanjung Gerem terminals. *Cost Efficiency through Vehicle Routing Models*, 3873–3884. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547>

⁵¹ Hermansah, M. M., & Rodrigues, P. C. (2024). Indonesian inflation forecasting with recurrent neural network long short-term memory (RNN-LSTM). *Enthusiastic: International Journal of Applied Statistics and Data Science*, 4(2), 132–142. <https://doi.org/10.20885/enthusiastic.vol4.iss2.art5>

⁵² Soemanto, R. B., Sudarto, & Sudarsana. (2014). Community Understanding of Corruption [Pemahaman Masyarakat tentang Korupsi]. *Yustisia*, 3(1). <https://doi.org/10.20961/yustisia.v3i1.10124>

та прозорості. У контексті розподілу палива на основі ШІ це означає, що технічна ефективність має доповнюватися механізмами соціальної підзвітності, щоб гарантувати, що цифрові вигоди досягають передбачених бенефіціарів, не підриваючись системними витоками. Крім того, ці висновки узгоджуються з фінансовими занепокоєннями, висловленими Ресосудармо та ін. (2023)⁵³, які наголошують, що енергетична трансформація Індонезії часто обмежується обмеженими внутрішніми бюджетами та величезним тягарем енергетичних субсидій. Отже, хоча ШІ надає інструменти для операційної оптимізації, його здатність стимулювати широку економічну стійкість зрештою залежить від вирішення цих глибших структурних та інституційних викликів. Тому в цьому дослідженні рекомендується, щоб цифрова трансформація в енергетичному секторі була інтегрована з реформою субсидій та посиленням державним наглядом для повного розкриття її економічного потенціалу.

Це свідчить про те, що, хоча ШІ позитивно впливає на ефективність, він ще не змінює фундаментально структурну залежність Індонезії від імпортованих продуктів переробки. Якісні результати підтвердили стратегічну узгодженість національної політики у сфері ШІ та енергетики, але також засвідчили, що фактичний потенціал впровадження ШІ суттєво обмежується прогалинами в інфраструктурі, нестачею кваліфікованих кадрів та організаційною інерцією. Дослідження робить внесок у літературу щодо впровадження технологій у країнах з перехідною економікою, підкреслюючи, що ефективність ШІ залежить від ширших системних факторів.

Порівняння з попередніми дослідженнями

Висновок дослідження про позитивну кореляцію між ШІ та операційною ефективністю узгоджується з існуючими звітами таких інституцій, як Boston Consulting Group⁵⁴. Однак це дослідження надає більш нюансовану перспективу щодо макроекономічних результатів. Виявляючи обмежений вплив у секторі переробки нафти Індонезії через структурні проблеми, такі як зниження внутрішнього виробництва та ринкові фактори, висновки узгоджуються з критичними науковими дослідженнями щодо впровадження ШІ в країнах, що розвиваються.

Крім того, детальні висновки щодо викликів впровадження — зокрема прогалин в інфраструктурі, нестачі кваліфікованих кадрів та організаційної інерції — підтверджують більш широкі дослідження щодо цифрової трансформації Індонезії, проведені такими організаціями, як Світовий банк⁵⁵, надаючи конкретні докази на рівні сектору щодо цих перешкод.

⁵³ Resosudarmo, B. P., Rezki, J. F., & Effendi, Y. (2023). Prospects of energy transition in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 59(2), 149–177. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2238336>

⁵⁴ Boston Consulting Group & Google. (2023). AI's potential impact on Indonesia's economy. BCG. <https://www.bcg.com/publications/2023/ai-potential-impact-indonesia-economy>.

⁵⁵ World Bank. (2023). Indonesia economic prospect report. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/publication/indonesia-economic-prospects-june-2023>.

Обмеження дослідження

Це дослідження має низку обмежень, які слід врахувати в майбутніх дослідженнях. Основним кількісним обмеженням стала необхідність використовувати узагальнені або опосередковані дані щодо інвестицій у ШІ через відсутність детальних даних за секторами, які б дозволили більш точно оцінити вплив. Якісна складова була обмежена невеликою кількістю інтерв'ю з експертами. Нарешті, оскільки дослідження охоплює період лише до серпня 2025 року, воно, можливо, не відображає довгострокові, потенційно більш трансформаційні наслідки ШІ.

Значущість отриманих результатів

Отримані результати актуальні для політиків, лідерів галузі та академічних досліджень. Щодо формування політики в Індонезії, результати вказують на те, що зосередження уваги на практичних стратегіях усунення перешкод у впровадженні є важливішим, ніж наголос на риторичі щодо трансформаційного потенціалу ШІ. Це вимагає цільових інвестицій у цифрову інфраструктуру в регіонах, критичних з точки зору енергетики, для зменшення цифрового розриву. Одночасно необхідні стратегічні ініціативи для швидкого розширення масштабів підготовки кадрів у сфері ШІ та цифрових компетенцій. Політика також повинна вирішувати системні виклики в секторі переробки та збуту, такі як постійний дефіцит потужностей нафтопереробних заводів, а не розглядати ШІ як окреме рішення для подолання торговельного дефіциту.

Хоча ШІ підтверджується як каталізатор ефективності, його поточний внесок у макроекономічне зростання є поступовим. Для отримання більших економічних вигод необхідно інтегрувати ШІ в більш широкую стратегію, спрямовану на усунення структурних слабкостей у всьому ланцюжку створення вартості. З академічної точки зору, це дослідження дає глибше розуміння того, як традиційні капіталомісткі галузі в країнах з перехідною економікою адаптуються до технологічних змін. Воно слугує застережливим прикладом, що ілюструє: повна реалізація потенціалу ШІ залежить від надійної інфраструктури, розвитку людського капіталу та подолання організаційної інерції. Це демонструє, що сильних стратегічних намірів недостатньо без вирішення глибинних системних викликів.

Використання ШІ в секторі переробки та збуту в Індонезії, особливо в процесах нафтопереробки, може зосередитися на системах моніторингу корозії на основі штучних нейронних мереж. Це підтверджує твердження

Гош та ін. (2023)⁵⁶ про те, що використання інтелектуальних сигналів для зменшення відмов інфраструктури є необхідним для уникнення значних втрат виробництва.

Перспективи подальших досліджень

На основі висновків та обмежень дослідження рекомендується кілька напрямків для майбутніх досліджень. По-перше, доцільно провести лонгitudне дослідження для відстеження впровадження ШІ протягом тривалого періоду з метою виявлення довгострокових трансформаційних ефектів. По-друге, майбутні кількісні аналізи повинні надавати пріоритет збиранню детальних, специфічних для сектору даних щодо інвестицій у ШІ, щоб подолати обмеження використання агрегованих даних. По-третє, регіональне порівняльне дослідження впровадження ШІ в Індонезії порівняно з сусідніми країнами АСЕАН може надати цінну інформацію щодо найкращих практик та контекстуальних викликів. По-четверте, якісне дослідження механізмів та ефективності впровадження політики у сфері ШІ могло б виявити фактори, що прискорюють або гальмують прогрес.

Нарешті, подальші дослідження повинні вивчити конкретний вплив впровадження ШІ на людський капітал у секторі переробки та збуту, проаналізувавши, як це впливає на вимоги до кваліфікації, потенційне скорочення робочих місць та необхідність програм перепідготовки.

Висновок

У цьому дослідженні було вивчено складний взаємозв'язок між впровадженням штучного інтелекту (ШІ), попитом на нафтопродукти та економічним зростанням Індонезії з використанням підходу на основі змішаних методів. Наш аналіз підтверджує, що інтеграція технологій ШІ позитивно корелює з підвищенням операційної ефективності в секторі переробки та збуту нафти. Однак дослідження також показує, що загальний макроекономічний вплив ШІ на значне прискорення зростання та зменшення залежності Індонезії від імпорту наразі є помірним. Це обмеження пов'язане насамперед із постійними викликами, такими як недорозвинена інфраструктура та значний дефіцит кваліфікованих кадрів. Ці висновки підкреслюють необхідність більш цілісної стратегії, спрямованої на усунення системних обмежень для повної реалізації трансформаційного економічного потенціалу ШІ.

⁵⁶ Ghosh, D., Zailani, A. Z. A., & Sum, C. W. (2023). Growing application of artificial intelligence in optimising productivity and efficiency in oil and gas. *Applied Earth Resources Development*. <https://doi.org/10.3233/AERD230012>

Індонезія розробила національну стратегію використання ІІІ для економічного зростання, узгодивши цю політику з цілями свого сектору переробки та збуту нафти. Застосовуючи підхід на основі змішаних методів, дослідження підтвердило, що ІІІ ефективно підвищує операційну ефективність, особливо в логістиці та прогнозуванні попиту. Однак цей прогрес обмежується кількома практичними викликами. Серед основних перешкод — постійні прогалини в інфраструктурі, нестача кваліфікованої робочої сили та організаційний опір змінам. Щоб повністю реалізувати потенціал ІІІ, подолати структурні недоліки та зменшити залежність від імпорту, Індонезія має усунути ці обмеження. Цей стратегічний фокус є необхідним для того, щоб сектор переробки та збуту нафти зробив значний внесок у економічне зростання країни.

Дослідження представляє емпіричний аналіз технологічної трансформації та динаміки енергетичного сектору в контексті країни з економікою, що розвивається, на основі кількісних та якісних даних з Індонезії. Результати підкреслюють стратегічну узгодженість національної політики Індонезії щодо ІІІ та цілей сектору переробки та збуту нафти, але вказують на значні виклики щодо впровадження, включаючи прогалини в інфраструктурі, нестачу кваліфікованих кадрів та організаційну інерцію, що підтверджується опитуванням РwС 2024 року.

На закінчення слід зазначити, що цифровізація на основі ІІІ надає сектору переробки та збуту нафти в Індонезії більш точний інструмент регулювання ефективності, але цей інструмент не спрацює, якщо інституційна база не буде надійною. Спираючись на макрофіскальний аналіз Ресурсодармо та ін. (2023) та соціально-правову концепцію Соеманто та ін. (2014), це дослідження стверджує, що алгоритми повинні бути вбудовані в надійне управління та прозору соціальну підзвітність.

У міру реалізації програми «Золота Індонезія 2045» завдання політики полягає не в тому, щоб святкувати мегабайти, зекономлені на плануванні роботи нафтопереробних заводів, а в тому, щоб використати цю економію для двох важко здобутих реформ: (1) скасування механізмів субсидування палива, які притупляють цінові сигнали, та (2) полегшення демографічно-бюджетного тиску за рахунок більш передбачуваних доходів у секторі переробки та збуту. У такому контексті ІІІ перетворюється з технічного доповнення на структурний важіль — засіб узгодження операційних вигод із фіскальною стійкістю та довірою громадськості, а отже, забезпечення справжньої економічної стійкості країни.

Список літератури

Al Izzati, R., Yusrina, A., & Suryahadi, A. (2023). *Estimating the effect of a fuel price increase on poverty and inequality: Evidence from a fuel subsidy reduction in Indonesia* (Research Note No. 1/JAN/2023). The SMERU Research

Institute. <https://smeru.or.id/en/publication/estimating-effect-fuel-price-increase-poverty-and-inequality-evidence-fuel-subsidy>

Alvesson, M., & Sandberg, J. (2024). *Constructing research questions: Doing interesting research*. SAGE Publications. <https://doi.org/10.4135/9781529682588> (Online ISBN: 9781529682588)

Badan Pusat Statistik. (2024). *Indonesia economic survey 2024*. BPS Indonesia. <https://www.bps.go.id/>

Berger, T. (2025). Deep learning and econometric time series analysis: An assessment of daily return forecasts. *Journal of Forecasting*, 45(1), 377–390. <https://doi.org/10.1002/for.70045>

Boston Consulting Group, & Google. (2023). *AI's potential impact on Indonesia's economy*. BCG. <https://www.bcg.com/publications/2023/ai-potential-impact-indonesia-economy>

CEIC Data. 2024. "Indonesia Oil Consumption, 2012–2024." Census and Economic Information Center. <https://www.ceicdata.com/en/indicator/indonesia/oil-consumption>.

Enerdata. (2025). *Global energy trends*. (Annual report). <https://www.enerdata.net/publications/reports-presentations/world-energy-trends.html>

Energy Institute, *Statistical Review of World Energy 2023* (72nd ed.), in partnership with KPMG and Kearney (London: Energy Institute, 2023), <https://www.energyinst.org/statistical-review>

Ghosh, D., Zailani, A. Z. A., & Sum, C. W. (2023). Growing application of artificial intelligence in optimising productivity and efficiency in oil and gas. *Applied Earth Resources Development*. <https://doi.org/10.3233/AERD230012>

Google. (2023). *AI opportunity report: Indonesia*. Google Research. <https://ai.google/research/>

Hermansah, M. M., & Rodrigues, P. C. (2024). Indonesian inflation forecasting with recurrent neural network long short-term memory (RNN-LSTM). *Enthusiastic: International Journal of Applied Statistics and Data Science*, 4(2), 132–142. <https://doi.org/10.20885/enthusiastic.vol4.iss2.art5>

Hidayat, D. W., & Mulyono, N. B. (2025). Optimizing fuel distribution costs through vehicle routing problem modeling in Jakarta-Tanjung Gerem terminals. *Cost Efficiency through Vehicle Routing Models*, 3873–3884. <https://doi.org/10.37641/jimkes.v13i5.3547>

IBM. (2022). *Global AI adoption index 2022*. IBM. <https://www.ibm.com/downloads/cas/M1X8K0Q0>

Institute for Essential Services Reform (IESR). (2022). *Indonesia energy transition outlook 2023: Tracking progress of energy transition in Indonesia: Pursuing energy security in the time of transition*. IESR.

Institute for Essential Services Reform. (2024). *Indonesia energy transition outlook 2025: Navigating Indonesia's energy transition at the crossroads: A pivotal moment for redefining the future*. <https://iesr.or.id/wp-content/uploads/2024/12/Indonesia-Energy-Transition-Outlook-2025-Digital-Version.pdf>

International Energy Agency (IEA). (2024). *Oil market report*. IEA. <https://www.iea.org/reports/oil-market-report>

International Energy Agency (IEA). (2024). *World energy outlook 2024*. IEA. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2024>

International Energy Agency. (2022). *An energy sector roadmap to net zero emissions in Indonesia*. IEA Publications. <https://www.iea.org/reports/an-energy-sector-roadmap-to-net-zero-emissions-in-indonesia>

International Monetary Fund. (2025). *World economic outlook, April 2025: A critical juncture amid policy shifts*. <https://www.imf.org/-/media/files/publications/weo/2025/april/english/text.pdf>

Kominfo (Ministry of Communication and Information Technology). (2022). *Digital transformation strategy of Indonesia*. Kominfo. <https://www.kominfo.go.id/>

Kominfo (Ministry of Communication and Information Technology). (2024). *National strategy for artificial intelligence implementation (2020–2045)*. Kominfo. <https://www.kominfo.go.id/>

Kumar, P., Dadwal, S., Verma, R., & Kumar, S. (Eds.). (2025). *Digital transformation for business sustainability and growth in emerging markets*. Emerald Publishing Limited. <https://doi.org/10.1108/9781835491096>

Lahadalia, B., & Subroto, A. (2025). Downstreaming, Industrialization, and Energy Resilience in Responding to Economic Fragmentation and Contemporary Geopolitical Changes. *Proceeding Jakarta Geopolitical Forum*, 9(1), 24–42. <https://doi.org/10.55960/jgf.v9i1.290>

Martini, M., Setiawan, D., Suryandari, R. T., Brahmana, R. K., & Asrihapsari, A. (2023). Determinants of digital innovation in micro and small industries. *Economies*, 11(6), 172. <https://doi.org/10.3390/economies11060172>

Microsoft. (2025). AI in Indonesia report. *Microsoft News*. <https://news.microsoft.com/en-id/>

Ministry of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia, *Handbook of Energy and Economic Statistics of Indonesia 2023* (Jakarta: MEMR, 2024). <https://www.esdm.go.id/>

Muljono, W. (2021). *Kepemimpinan digital: Modul PKN Tingkat II* [Digital leadership: National leadership training module level II]. Lembaga Administrasi Negara. ISBN: 978-602-7594-55-5 <https://lan.go.id/modul>

Muljono, W., & Setiyawati, S. (2021). Consumers perception on continuance intention of online shopping. *Asia-Pacific Management and Business Application*, 9(3), 261–276. <https://doi.org/10.21776/ub.apmba.2021.009.03.5>

Muljono, W., & Setiyawati, S. (2022). Digital economy: The main power for digital industry in Indonesia. *International Journal of Technological Globalisation*, 15(4), 423–444. <https://doi.org/10.1504/IJTGM.2022.125908>

Park, C., & Kim, M. (2024). Utilization and challenges of artificial intelligence in the energy sector. *Energy & Environment*, 1–20. <https://doi.org/10.1177/0958305X241258795>

Perron, P., & Yamamoto, Y. (2021). Testing for changes in forecasting performance. *Journal of Business & Economic Statistics*, 39(1), 148–165. <https://doi.org/10.1080/07350015.2019.1641410>

Pertamina. (2024). *Pertamina's 2024 annual report*. Pertamina. <https://www.pertamina.com/>

PwC. (2024). *Oil & gas investment in Indonesia*. PwC. <https://www.pwc.com/id/en/pwc-publications/industries-publications/energy--utilities---mining-publications/oil-gas-guide-2025.html>

Resosudarmo, B. P., Rezki, J. F., & Effendi, Y. (2023). Prospects of energy transition in Indonesia. *Bulletin of Indonesian Economic Studies*, 59(2), 149–177. <https://doi.org/10.1080/00074918.2023.2238336>

SAFEnet. (2022). Priorities and challenges of Indonesia's artificial intelligence national strategy. SAFEnet. <https://safenet.or.id/2022/05/priorities-and-challenges-of-indonesias-artificial-intelligence-national-strategy-stranas-ka/>

Sandul, M., Strilchuk, Y., & Primierova, O. (2025). The impact of financial mechanisms for sustainable development on the evolution of global value chains. *International Economic Policy*, (42), 26–56. <https://doi.org/10.33111/iep.eng.2025.42.02>

Sari, D. R., & Nasrudin, N. (2022). Constructing Indonesian digital economy index in determining economic policy priorities amidst the Covid-19 pandemic. *Economics and Finance in Indonesia*, 68(1), Article 5. <https://doi.org/10.47291/efi.2022.05>

Sjahrir, P., Li, A., & Soerijadji, M. (2024). *Harnessing the power of (Gen)AI in Indonesian financial services*. AC Ventures; Boston Consulting Group (BCG); BCG X. <https://web-assets.bcg.com/1b/42/1554aac447d88aecbe1048285eed/harnessing-the-power-of-genai-in-indonesian-financial-services.pdf>

SKK Migas. (2024). *IOG 4.0 strategic plan*. SKK Migas. <https://www.skkmigas.go.id/>

Soemanto, R. B., Sudarto, & Sudarsana. (2014). Community Understanding of Corruption [Pemahaman Masyarakat tentang Korupsi]. *Yustisia*, 3(1). <https://doi.org/10.20961/yustisia.v3i1.10124>

StataCorp. (2025). *Why Stata: The all-in-one statistical software package for data science*. <https://www.stata.com/whystata>

Theresya, J. (2023, Oktober). *Mengoperasionalkan keadilan di dalam konsep transisi energi berkeadilan di Indonesia*. Indonesia Research Institute for Decarbonization (IRID). <https://dev.irid.or.id/en/mengoperasionalkan-keadilan-di-dalam-konsep-transisi-energi-berkeadilan-di-indonesia/>

World Bank. (2023). *Indonesia economic prospect report*. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/country/indonesia/publication/indonesia-economic-prospects-june-2023>