



**EFEKTIVITAS BLOCKCHAIN DALAM SUPPLY CHAIN
FARMASI: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

SKRIPSI

NAMA : SYLVANA KUI

NIM : 23330741

**PROGRAM STUDI FARMASI
FAKULTAS FARMASI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
JANUARI 2026**



**EFEKTIVITAS BLOCKCHAIN DALAM SUPPLY CHAIN
FARMASI : SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Farmasi**

NAMA : SYLVANA KUI

NIM : 23330741

**PROGRAM STUDI FARMASI
FAKULTAS FARMASI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
JANUARI 2026**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Sylvana Kui
NIM : 23330741
Tanggal : 23 Januari 2026



(Sylvana Kui)

HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Sylvana Kui
NIM : 23330741
Program Studi/ Fakultas : Farmasi
Tahun Akademik : Ganjil 2025/2026

Menyatakan bahwa tidak melakukan kegiatan plagiat dalam penulisan Tugas Akhir yang berjudul “**Efektivitas Blockchain Dalam Supply Chain Farmasi : Systematic Literature Review**”

Apabila suatu saat nanti terbukti saya melakukan plagiat, maka saya akan menerima sanksi yang telah ditetapkan.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Jakarta, 23 Januari 2026








Sylvana Kui

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Sylvana Kui
NIM : 23330741
Program Studi : Farmasi
Judul Skripsi : Efektivitas Blockchain Dalam Supply Chain
Farmasi : Systematic Literature Review

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Farmasi pada Program Studi Sarjana Farmasi Fakultas Farmasi, Institut Sains Dan Teknologi Nasional.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : apt. Jenny Pontoan, M.Farm ()
Pembimbing : apt. Siswati, M.Farm ()
Penguji : apt. RahayuWijayanti, M.Farm ()
Penguji : Dr. Vilya Syafriana, M.Si ()
Penguji : Saiful Bahri, M.Si ()

Ditetapkan di : Jakarta

Tanggal : 23 Januari 2026

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “**Efektivitas Blockchain Dalam Supply Chain Farmasi : *Systematic Literature Review***”, dapat diselesaikan dengan baik. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Farmasi, pada Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Institut Sains dan Teknologi Nasional.

Penulis mengucapkan Pada kesempatan ini terima kasih yang sebesar-besarnya disampaikan kepada Ibu apt. Jenny Pontoan, M.Farm dan Ibu apt. Siswati, M.Farm yang telah bersedia meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran dalam membimbing dan memberikan pengarahan selama penelitian hingga menyelesaikan penyusunan skripsi. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada:

1. Dekan Fakultas Farmasi Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta, Ibu apt. Jenny Pontoan, M.Farm
2. Kepala Program Studi Farmasi Institut Sains Dan Teknologi Nasional Jakarta, Ibu Dr. apt. Subaryanti, M.Si.
3. Dosen Penasehat Akademik, Bapak Drs. Edinur, MM.
4. Seluruh dosen pengajar yang telah memberikan ilmu selama perkuliahan di Program Studi Farmasi, Fakultas Farmasi, Institut Sains dan Teknologi Nasional.
5. Seluruh Staf Administrasi, Staf Laboratorium Fakultas Farmasi, Staf Perpustakaan Fakultas Farmasi dan Perpustakaan Pusat Institut Sains dan Teknologi Nasional.
6. Keluarga yang telah memberikan dukungan berupa materiail maupun morail selama perkuliahan.
7. Teman-teman Prodi Farmasi Konversi Angkatan 2023 yang telah memberikan dukungan dan semangat bagi penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga dan skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan, terutama di bidang farmasi.

Jakarta, 23 Januari 2026

Penulis

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Sylvana Kui', written in a cursive style.

Sylvana Kui

ABSTRAK

Nama : Sylvana Kui
Program Studi : Farmasi
Judul : Efektivitas *Blockchain* Dalam *Supply Chain* Farmasi :
Systematic Literature Review

Ketersediaan obat yang aman, bermutu dan terjangkau masih menjadi tantangan karena keterlacakan yang terbatas, fragmentasi data antar pelaku, serta risiko obat substandard/*falsified*. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi profil masalah *supply chain* farmasi menurut kelompok pendapatan negara (HICs, UMICs/LMICs dan LICs/LDCs), menilai karakteristik dan efektivitas penerapan *blockchain* pada *supply chain* farmasi dan memetakan kesesuaian kemampuan *blockchain* terhadap profil masalah pada masing-masing kelompok negara. Penelitian menggunakan *systematic literature review* dengan penelusuran PubMed, *ScienceDirect*, dan *Google Scholar*. Seleksi artikel mengikuti alur PRISMA dan kriteria PICOS, kemudian dilakukan ekstraksi data dan sintesis naratif-tematik. Sebanyak 56 artikel dianalisis, terdiri dari 44 artikel *blockchain* dan 12 artikel profil masalah *supply chain*. Hasil menunjukkan *blockchain* paling sering diterapkan untuk meningkatkan *traceability*, memperkuat transparansi dan integritas data, mempercepat penelusuran dan *recall*, meningkatkan efisiensi proses, serta mendukung pencegahan dan deteksi pemalsuan atau diversion. Pemetaan komparatif menunjukkan *blockchain* paling relevan pada konteks yang membutuhkan audit *trail* dan koordinasi multipihak. Namun keberhasilan implementasi dipengaruhi standardisasi data, integrasi sistem, kesiapan SDM, infrastruktur digital dan dukungan regulasi. Secara keseluruhan, *blockchain* berpotensi menjadi *enabler* peningkatan visibilitas dan akuntabilitas *supply chain* farmasi bila diimplementasikan sesuai konteks negara. Bukti berasal dari prototipe atau simulasi, sehingga diperlukan studi implementasi lapangan yang luas.

Kata kunci: *blockchain*, rantai pasok farmasi, tinjauan pustaka sistematis.

ABSTRACT

Name : Sylvana Kui
Study Program : Pharmacy
Title : *Effectiveness of Blockchain in the Pharmaceutical Supply Chain : A Systematic Literature Review*

Access to safe, quality assured, and affordable medicines remains challenging due to limited traceability, fragmented information across supply-chain actors, and the risk of substandard and falsified products. This study aimed to describe supply-chain problems by income group (HICs, UMICs/LMICs, and LICs/LDCs), assess the characteristics and effectiveness of blockchain applications in pharmaceutical supply chains and map the fit between blockchain capabilities and problem profiles across income groups. A systematic literature review was conducted using PubMed, ScienceDirect, and Google Scholar. Study selection followed PRISMA and PICOS criteria, with data extracted and synthesized using narrative thematic analysis. Fifty-six articles were included: 44 on blockchain and 12 on supply-chain problem profiles. The evidence indicates blockchain is applied to improve traceability, strengthen data transparency and integrity, shorten tracing and recall times, enhance process efficiency, and support prevention or detection of counterfeiting and diversion. Mapping suggests blockchain is most relevant where audit trails, data trust, and stakeholder coordination are critical. However, implementation success depends on product identification standards, system integration, workforce readiness, digital infrastructure, and regulatory support. Blockchain can increase visibility and accountability in pharmaceutical supply chains when tailored to country context, while more evaluations are needed to confirm effectiveness under routine operational conditions.

Keywords: blockchain, pharmaceutical supply chain, systematic literature review.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PERNYATAAN NON PLAGIAT.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR.....	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Rantai Pasok Farmasi (<i>Pharmaceutical Supply Chain</i>)	6
2.2 Regulasi di Indonesia	7
2.3 <i>Blockchain</i>	11
2.4 <i>Blockchain</i> dalam <i>Supply Chain</i> Farmasi.....	15
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	18
3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian	18
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian	18
3.3 Sumber Data dan Objek Penelitian	18
3.4 Kerangka PICOS	19
3.5 Kriteria Inklusi dan Eksklusi.....	20
3.6 Strategi Penelusuran Literatur.....	21
3.7 Prosedur Seleksi Artikel (PRISMA).....	21
3.8 Ekstraksi dan Pengelolaan Data	23
3.9 Penilaian Kualitas Artikel	23
3.10 Teknik Analisis Data.....	23

BAB 4 HASIL PENELITIAN	25
4.1 Gambaran Umum Studi yang Direview	25
4.2 Profil <i>Supply Chain</i> Farmasi Berdasarkan Kelompok Pendapatan	50
4.3 Karakteristik dan Efektivitas <i>Blockchain</i>	52
BAB 5 PEMBAHASAN	59
5.1 Profil Masalah <i>Supply Chain</i> Farmasi Berdasarkan Kelompok Pendapatan Negara.....	59
5.2 Penerapan <i>Blockchain</i> dalam <i>Pharmaceutical Supply Chain</i> dan Efektivitasnya.....	66
5.3 Kesesuaian <i>Blockchain</i> dengan Profil Masalah <i>Supply Chain</i> dan Implikasi.....	70
5.4 Keterbatasan Penelitian	73
BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN	76
6.1 Kesimpulan.....	76
6.2 Saran	76
DAFTAR PUSTAKA	78
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 3. 1 Kerangka PICOS penelitian	19
Tabel 4. 1 Hasil Jurnal yang direview	26
Tabel 4. 2 Distribusi Negara Penelitian	49
Tabel 4. 3 <i>Setting</i> atau konteks penelitian	50
Tabel 4. 4 Profil masalah pada masing-masing kelompok negara	51
Tabel 4. 5 Jenis jaringan <i>blockchain</i> yang digunakan	52
Tabel 4. 6 Platform <i>blockchain</i> yang digunakan	52
Tabel 4. 7 fitur teknologi <i>blockchain</i> yang digunakan	53
Tabel 4. 8 Studi dengan data kuantitatif <i>pre–post Traceability Lead Time</i>	54
Tabel 4. 9 Indikator transparansi sebelum dan sesudah penerapan <i>blockchain</i> ...	56
Tabel 4. 10 Tabel efisiensi proses pada studi SAP + <i>Blockchain</i> Byreddy (2025)	57
Tabel 4. 11 Studi dengan data kuantitatif <i>pre – post</i> temuan obat palsu/ <i>mismatch</i>	58
Tabel 5.1 Pemetaan indikator efektivitas <i>blockchain</i> pada <i>supply chain</i> farmasi menurut kelompok pendapatan negara.....	67

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penetapan Dosen Pembimbing	88
Lampiran 2 Surat Bebas Perpustakaan	89

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan obat yang bermutu, aman, dan terjangkau merupakan prasyarat utama terselenggaranya pelayanan kefarmasian yang bermutu di fasilitas kesehatan. Namun, akses obat esensial secara global masih belum merata. *Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights* (2025) melaporkan sekitar 2 miliar penduduk dunia masih kesulitan mengakses obat, vaksin, dan produk kesehatan esensial. WHO (2025) memperkirakan 1 dari 10 produk medis di negara berpendapatan rendah dan menengah termasuk *substandard* atau *falsified* (SF), yang meningkatkan kesakitan, kematian, dan kerugian ekonomi besar. Ini menunjukkan masalah akses tidak hanya soal ketersediaan, tetapi juga mutu dan keamanan obat.

Drug shortage/stock-out obat esensial merupakan masalah utama yang terlihat di lapangan. Kekosongan obat terjadi di berbagai tingkat negara dan berdampak klinis, ekonomi, serta humanistik (Shukar dkk., 2021). Studi multi negara di 74 negara menegaskan *shortage* berkaitan dengan ketidakseimbangan harga, struktur pasar, dan kapasitas produksi yang memicu ketimpangan akses antarnegara (Hu dkk., 2025). Bagi tenaga kefarmasian, kondisi ini menuntut substitusi dan penyesuaian terapi, menambah beban kerja administratif, serta berpotensi menurunkan kepercayaan pasien (Shukar dkk., 2021; Hu dkk., 2025).

Peredaran obat *substandard* dan *falsified* (SF) menjadi ancaman serius. *SF medicines* dapat menyebabkan kegagalan terapi, resistensi antimikroba, peningkatan morbiditas – mortalitas, dan kerugian ekonomi, terutama di negara berpendapatan rendah dan menengah (Salami dkk., 2023; Popoola dkk., 2022). Bagi apoteker, produk SF sering sulit dikenali secara fisik, sehingga dibutuhkan sistem informasi dan jejak distribusi yang andal untuk memastikan keaslian sebelum obat diberikan ke pasien.

Berbagai studi menunjukkan bahwa akar masalah *shortage* dan *SF medicines* tidak dapat dilepaskan dari kelemahan sistemik pada

pharmaceutical supply chain (PSC), alur distribusi kompleks, sistem informasi terfragmentasi, dan rendahnya *traceability* (Zakari dkk., 2022; Ghadge dkk., 2023). Banyak aktor (industri, distributor, fasilitas kesehatan, pasien) dengan pencatatan yang tidak terintegrasi membuat pelacakan *batch* obat saat terjadi keluhan mutu, *recall*, atau dugaan pemalsuan menjadi sulit (Shukar dkk., 2021; Fiore dkk., 2023).

Laporan WHO tahun 2025 mengenai teknologi deteksi *substandard and falsified medical products* juga menunjukkan bahwa di banyak negara, terutama negara berpendapatan rendah dan menengah, kegiatan deteksi SFMP masih sangat bergantung pada inspeksi visual dan pengujian laboratorium dengan kapasitas terbatas, serta belum sepenuhnya didukung kerangka hukum dan prosedur operasional baku. Kondisi ini menegaskan perlunya penguatan sistem informasi dan mekanisme penelusuran distribusi yang lebih proaktif, terintegrasi, dan dapat diaudit di sepanjang rantai pasok obat (WHO, 2025).

Digitalisasi *pharmaceutical supply chain* (PSC) seperti serialisasi, *barcode*, dan *track-and-trace* terpusat sudah membantu pelacakan dan *recall*, tetapi masih menghadapi kendala fragmentasi, interoperabilitas, serta ketergantungan pada satu pengelola data (Fiore dkk., 2023; WHO, 2025). Adopsi teknologi verifikasi digital juga belum merata akibat keterbatasan regulasi, pembiayaan, dan infrastruktur, sehingga apoteker tidak selalu memiliki akses *real time* ke data distribusi yang konsisten (Salami dkk., 2023).

Blockchain muncul sebagai kandidat solusi dalam beberapa tahun terakhir, untuk menutup kelemahan PSC. Sebagai *distributed ledger* yang *immutable* dan dapat diaudit lintas organisasi, *blockchain* memungkinkan pencatatan pergerakan obat dari produksi hingga ke pasien secara transparan, menurunkan peluang manipulasi data, mendukung *end-to-end traceability*, dan membantu pencegahan obat palsu (Zakari dkk., 2022; Ghadge dkk., 2023; Kasyapa & Vanmathi, 2024). Berbagai kajian menyebut *blockchain* berpotensi meningkatkan transparansi, keamanan data, dan kemampuan telusur, namun banyak studi masih bersifat konseptual atau *proof-of-concept*,

serta bukti empiris efektivitas operasionalnya masih terfragmentasi (Fiore dkk., 2023; Zakari dkk., 2022; Ghadge dkk., 2023).

Di sisi lain, implementasi *blockchain* menghadapi tantangan biaya tinggi, ketidakpastian regulasi, isu keamanan teknologi informasi, serta kebutuhan pelatihan dan kesiapan organisasi (Peron dkk., 2025; Torkey dkk., 2023). Dalam praktik kefarmasian, keberhasilan *blockchain* bukan hanya ditentukan teknologi, tetapi juga kesesuaian dengan alur kerja apoteker, regulasi distribusi (mis. CDOB), dan kapasitas sistem kesehatan setempat (Kasyapa & Vanmathi, 2024).

Secara metodologis, beberapa *systematic review* sudah ada, tetapi belum spesifik memetakan indikator efektivitas yang relevan bagi praktik kefarmasian (mis. *lead time traceability*, waktu *recall*, deteksi obat palsu, efisiensi proses, transparansi data) serta belum mengaitkannya dengan profil masalah *supply chain* berdasarkan klasifikasi pendapatan negara (Fiore dkk., 2023; Zakari dkk., 2022; Shaikh dkk., 2025).

Berdasarkan uraian di atas, diperlukan suatu *systematic literature review* (SLR) yang secara khusus menelaah efektivitas penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi dari perspektif indikator kinerja yang relevan bagi praktik kefarmasian, sekaligus memetakan bagaimana kemampuan tersebut beririsan dengan profil masalah rantai pasok obat pada kelompok negara berdasarkan klasifikasi pendapatan. SLR ini diharapkan dapat memberikan landasan ilmiah yang lebih kokoh bagi apoteker, praktisi distribusi obat, dan regulator dalam menilai apakah, di mana, dan bagaimana *blockchain* dapat berkontribusi nyata terhadap penguatan sistem distribusi obat, pencegahan obat palsu, dan peningkatan keamanan pasien di berbagai konteks sistem kesehatan

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana profil dan pola masalah *supply chain* farmasi pada kelompok *high-income countries* (HICs), *upper-middle-income* dan *lower-middle-income countries* (UMICs/LMICs), serta *low-income countries/Least Developed Countries* (LICs/LDCs)?

2. Bagaimana karakteristik dan efektivitas penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi berdasarkan literatur (jenis dan platform yang digunakan, konteks negara, serta indikator seperti *traceability*, *recall time*, deteksi obat palsu, efisiensi, dan transparansi data)?
3. Bagaimana kesesuaian antara kemampuan teknologi *blockchain* dengan profil masalah *supply chain* farmasi pada berbagai kelompok negara tersebut?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis profil dan pola masalah *supply chain* farmasi pada kelompok *high-income countries (HICs)*, *upper-middle-income* dan *lower-middle-income countries (UMICs/LMICs)*, serta *low-income countries/Least Developed Countries (LICs/LDCs)*.
2. Menganalisis karakteristik dan efektivitas penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi berdasarkan literatur (jenis dan platform *blockchain*, konteks negara, serta indikator seperti *traceability*, *recall time*, deteksi obat palsu, efisiensi, dan transparansi data).
3. Menganalisis kesesuaian antara kemampuan teknologi *blockchain* dengan profil masalah *supply chain* farmasi pada berbagai kelompok negara dan implikasinya bagi penguatan sistem distribusi obat.

1.4 Manfaat Penelitian

1.4.1 Manfaat teoritis

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu manajemen *supply chain* farmasi dan sistem informasi farmasi terkait penerapan *blockchain*.
2. Menjadi dasar bagi pengembangan kerangka konseptual pemanfaatan *blockchain* yang kontekstual sesuai perbedaan tingkat pendapatan negara.

1.4.2 Manfaat praktis

1. Bagi praktisi kefarmasian
Memberi gambaran bagaimana *blockchain* dapat mendukung *traceability*, pencegahan obat palsu, dan pengelolaan informasi distribusi obat.
2. Bagi pembuat kebijakan/regulator
Menjadi bahan pertimbangan dalam merancang kebijakan penguatan sistem distribusi obat berbasis teknologi digital, khususnya di negara berpendapatan menengah.

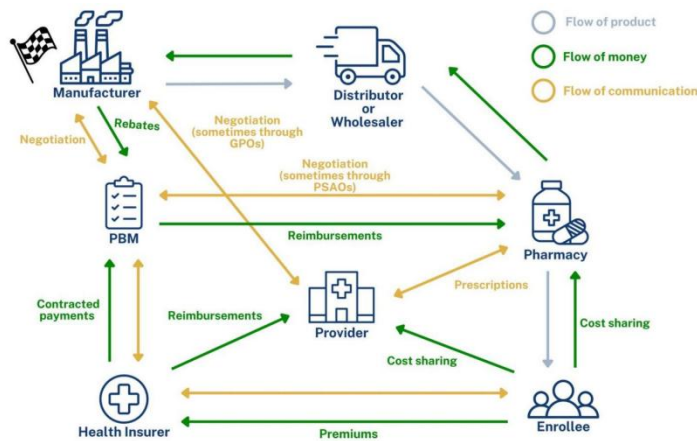
3. Bagi peneliti selanjutnya menjadi referensi awal dan landasan untuk penelitian lanjutan terkait implementasi, evaluasi, dan analisis biaya-manfaat *blockchain* dalam *supply chain* farmasi.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Rantai Pasok Farmasi (*Pharmaceutical Supply Chain*)

Rantai pasok farmasi (*pharmaceutical supply chain*) adalah keseluruhan proses manufaktur dan distribusi obat yang melibatkan produsen, distributor, apotek, *pharmacy benefit manager* (PBM), penyedia layanan kesehatan, penjamin (*health insurer*), dan pasien/*enrollee* sebagai penerima akhir obat. Setiap aktor memiliki peran spesifik namun saling bergantung untuk mengembangkan, menyalurkan, membiayai, dan menggunakan obat dalam sistem kesehatan (*California Health Benefits Review Program, 2025*).



Gambar 2.1 *Supply Chain Pharmacy*

Sumber : *California Health Benefits Review Program, 2025*

Gambar memperlihatkan bahwa aliran obat dimulai dari *manufacturer* yang memproduksi obat dan mengirimkannya ke distributor atau *wholesaler*, kemudian dilanjutkan ke *pharmacy* tempat pasien menebus resep di saat yang sama terjadi aliran uang dari pasien dan penjamin (*health insurer*) ke *provider*, apotek, PBM, dan akhirnya ke produsen, serta aliran informasi klinis dan administratif dari *provider* ke penjamin dan pemangku kepentingan lain (*California Health Benefits Review Program, 2025*).

2.1.1 Tantangan dalam *Supply Chain* Farmasi

1. Peredaran obat palsu atau substandar. BPOM masih menemukan adanya pelanggaran terhadap pedoman Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB) di

fasilitas distribusi maupun pelayanan kefarmasian, yang berpotensi membuka celah beredarnya obat tidak bermutu (BPOM, 2023).

2. Keterlambatan distribusi antarwilayah. Perencanaan dan distribusi obat seringkali terkendala oleh keterbatasan rantai logistik, terutama di daerah terpencil. Selain itu, ketergantungan pada bahan baku impor menambah panjang waktu pengadaan yang dapat mencapai lebih dari satu bulan (Evi S dkk, 2025).
3. Keterbatasan transparansi dan akuntabilitas rantai pasok. Studi evaluasi distribusi di PBF DKI Jakarta menemukan bahwa sebagian PBF belum sepenuhnya memenuhi persyaratan CDOB dan CDAKB, terutama dalam aspek dokumentasi dan sistem pengendalian distribusi (Fadillah, Heriani, & Wijayanti, 2024).
4. Risiko kerusakan produk rantai dingin (*cold chain product*). Produk farmasi seperti vaksin dan insulin memerlukan kondisi suhu tertentu agar kualitas tetap terjaga. Studi evaluasi distribusi CCP di Bandung menunjukkan bahwa kendala dalam pemantauan suhu *real-time* dapat mengancam stabilitas mutu obat (Sembiring & Wathoni, 2024).

2.2 Regulasi di Indonesia

Untuk menjamin mutu distribusi obat, Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) telah menetapkan pedoman Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB) serta Cara Distribusi Alat Kesehatan yang Baik (CDAKB). Regulasi ini mengatur standar penyimpanan, transportasi, dan dokumentasi distribusi, termasuk persyaratan khusus untuk produk yang membutuhkan rantai dingin.

2.2.1 Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB)

Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB) merupakan standar yang ditetapkan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) untuk menjamin bahwa kegiatan pengadaan, penyimpanan, dan penyaluran obat serta bahan obat dilakukan sedemikian rupa sehingga mutu, keamanan, dan integritas produk tetap terjaga sepanjang rantai distribusi sampai ke pasien. CDOB menekankan bahwa semua pihak yang terlibat dalam rantai pasok obat dan/atau bahan obat termasuk industri farmasi, fasilitas distribusi, dan sarana pelayanan kesehatan memiliki tanggung

jawab untuk mencegah paparan obat substandar dan/atau palsu kepada pasien serta menjaga integritas rantai distribusi.

Standar CDOB 2025 juga menegaskan bahwa prinsip-prinsip distribusi yang baik berlaku tidak hanya untuk obat jadi, tetapi juga untuk bahan obat, baku pembanding, obat untuk uji klinik maupun riset, serta obat yang masuk melalui skema jalur khusus (*special access scheme*). Ruang lingkungannya mencakup seluruh kegiatan distribusi obat dan/atau bahan obat untuk manusia, termasuk produk biologi seperti vaksin dan produk derivat plasma. Dalam Peraturan BPOM tentang “Standar Cara Distribusi Obat yang Baik”, penerapan CDOB diwajibkan bagi Pedagang Besar Farmasi (PBF), PBF cabang, dan fasilitas pengelolaan kefarmasian, serta berlaku mutatis mutandis bagi kegiatan penyaluran obat dan/atau bahan obat yang dilaksanakan oleh industri farmasi.

2.2.2 Aspek–aspek Utama CDOB

Pasal 2 ayat (2) Peraturan Standar CDOB 2025 membagi standar CDOB ke dalam beberapa aspek utama, yaitu:

1. Manajemen mutu

Aspek manajemen mutu menekankan perlunya sistem manajemen mutu yang terdokumentasi, mencakup kebijakan mutu, manajemen risiko mutu, serta mekanisme *corrective and preventive action* (CAPA). Tujuan utama aspek ini adalah memastikan bahwa seluruh proses distribusi dikendalikan sehingga mutu dan integritas obat serta bahan obat tetap terjaga, serta setiap penyimpangan dapat diidentifikasi, diinvestigasi, dan diperbaiki secara sistematis.

2. Organisasi dan personalia

CDOB mengharuskan adanya struktur organisasi yang jelas, dengan seorang apoteker sebagai penanggung jawab fasilitas distribusi. Personel yang terlibat dalam pengelolaan obat dan/atau bahan obat harus memiliki kompetensi yang memadai, mendapatkan pelatihan yang sesuai, serta memahami tugas dan tanggung jawabnya. Untuk produk berisiko tinggi seperti narkotika dan psikotropika, akses personel ke ruang penyimpanan dibatasi secara ketat dan penguasaan kunci gudang diatur secara khusus.

3. Bangunan dan peralatan

Bangunan dan peralatan distribusi wajib dirancang untuk melindungi obat dan/atau bahan obat dari kontaminasi, kerusakan fisik, serta pengaruh lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan cahaya. Untuk obat berisiko tinggi (misalnya narkotika/psikotropika) disyaratkan ruang penyimpanan yang aman dan terkunci, dengan pengendalian akses yang memadai. Selain itu, peralatan pemantau suhu, sistem pendingin, dan sistem komputer yang digunakan dalam distribusi harus dikualifikasi dan dikalibrasi secara berkala agar data dan kondisi penyimpanan tetap andal.

4. Dokumentasi

Dokumentasi merupakan aspek kunci dalam CDOB karena menjadi dasar untuk penelusuran (*traceability*) dan audit. Seluruh kegiatan pengadaan, penyimpanan, dan penyaluran obat/bahan obat harus didukung dokumen yang lengkap, akurat, dan mudah ditelusuri, seperti surat pesanan, faktur, catatan penerimaan, catatan penyimpanan, hingga dokumen transportasi. Pada distribusi secara elektronik, CDOB mengatur bahwa surat pesanan elektronik harus disertai faktur elektronik dan dapat diaudit melalui sistem elektronik penyelenggara.

5. Operasional

Aspek operasional CDOB mencakup kualifikasi pemasok dan pelanggan, prosedur penerimaan, penyimpanan, pengambilan (*picking*), pengemasan, pengiriman, serta impor dan ekspor obat/bahan obat. Pemasok dan pelanggan wajib memiliki perizinan yang sesuai, dan fasilitas distribusi harus memiliki sistem yang efektif untuk mencegah penyaluran kepada pihak yang tidak berwenang. Proses penyimpanan harus mengikuti kondisi yang dipersyaratkan produsen, termasuk pemisahan produk yang kedaluwarsa, rusak, atau diduga palsu.

6. Keluhan, obat/bahan obat kembalian, diduga palsu, dan penarikan kembali

Bab khusus dalam CDOB membahas penanganan keluhan, obat/bahan obat kembalian, produk diduga palsu, dan kegiatan penarikan kembali (*recall*). Semua keluhan dan pengembalian harus dicatat, dikaji, dan ditangani sesuai prosedur tertulis. Obat/bahan obat kembalian yang terkait isu mutu atau keamanan disimpan terpisah di area terkunci sampai ada keputusan tindak

lanjut, dan yang tidak memenuhi syarat wajib dimusnahkan atau dikembalikan ke pemasok. Bila terdapat dugaan obat palsu, fasilitas distribusi wajib melaporkan ke pemegang izin edar dan BPOM.

7. Kegiatan alih daya (*outsourced activities*)

CDOB mengatur bahwa kegiatan tertentu dapat dialihdayakan (misalnya transportasi, penyimpanan, atau pengujian), tetapi tanggung jawab mutu tetap berada pada pemberi kontrak. Seluruh persyaratan mutu, termasuk mekanisme pelatihan, pelaporan kehilangan/kerusakan, audit, dan kemampuan telusur, harus dituangkan dalam kontrak tertulis antara pemberi dan penerima kontrak. Penerima kontrak wajib menyediakan fasilitas yang sesuai dan siap diaudit oleh BPOM.

8. Inspeksi diri

Inspeksi diri (*self-inspection*) merupakan bagian dari sistem manajemen mutu untuk menilai tingkat kepatuhan fasilitas distribusi terhadap CDOB. Melalui inspeksi diri yang dilakukan secara berkala, fasilitas distribusi dapat mengidentifikasi kelemahan proses dan menyusun tindakan korektif dan preventif. Meskipun pengaturan rinci berada pada bab terpisah, prinsipnya adalah memastikan perbaikan berkelanjutan terhadap sistem distribusi.

9. Transportasi

Aspek transportasi mengatur persyaratan pengiriman obat/bahan obat, termasuk penggunaan kendaraan dan peralatan yang sesuai, pemantauan suhu selama pengiriman, serta pengelolaan hub transportasi. Fasilitas distribusi wajib menjamin bahwa pengiriman dilakukan ke alamat yang benar dan bahwa mutu produk tetap terjaga selama transit. Jika transportasi dikontrakkan kepada pihak ketiga, kontrak harus memasukkan persyaratan CDOB, dan hub transportasi harus diaudit serta memiliki batas waktu maksimum penyimpanan untuk mencegah penurunan mutu.

10. Ketentuan khusus bahan obat

Untuk bahan obat, CDOB memberikan ketentuan khusus terkait pengemasan ulang dan pelabelan ulang, karena kegiatan tersebut dipandang sebagai bagian dari proses pembuatan sehingga harus mengikuti standar Cara Pembuatan Obat yang Baik (CPOB). Fasilitas distribusi yang melakukan pengemasan

ulang wajib memiliki izin yang sesuai, memperhatikan pencegahan kontaminasi/campur-baur, pengelolaan label, sanitasi dan higiene, serta menjaga integritas setiap batch. Label bahan obat harus memuat informasi lengkap seperti nama bahan, INN, nomor batch, tanggal kedaluwarsa atau tanggal uji ulang, kondisi penyimpanan, dan identitas produsen maupun fasilitas distribusi.

11. Ketentuan khusus produk rantai dingin (*cold chain product*)

Produk rantai dingin (*cold chain product/CCP*) memerlukan persyaratan tambahan di luar ketentuan umum CDOB, terutama terkait pengendalian suhu saat penerimaan, penyimpanan, dan pengiriman. Sistem manajemen mutu untuk CCP harus mengatur pemantauan suhu yang berkelanjutan, kualifikasi kontainer dan kendaraan berpendingin, validasi proses pengiriman, kalibrasi peralatan pengendali suhu, serta uji pengiriman lapangan (*field shipment test*) untuk memastikan produk tetap berada dalam rentang suhu yang dipersyaratkan.

12. Ketentuan khusus narkotika, psikotropika, prekursor farmasi, dan obat-obat tertentu yang sering disalahgunakan

CDOB juga memuat ketentuan khusus untuk narkotika, psikotropika, prekursor farmasi, dan obat-obat tertentu yang sering disalahgunakan. Distribusi kelompok obat ini harus memenuhi CDOB sekaligus peraturan perundang-undangan lain yang bertujuan mencegah penyimpangan dan/atau kehilangan dari jalur distribusi resmi. Aturannya meliputi persyaratan penanggung jawab (apoteker), keamanan bangunan dan ruang penyimpanan yang terkunci, pembatasan akses personel, kualifikasi pemasok dan pelanggan yang memiliki izin khusus, persyaratan pengadaan berdasarkan surat pesanan, pemisahan dan pencatatan ketat selama penyimpanan, serta pelaporan segera setiap kehilangan atau pencurian kepada BPOM dan kepolisian.

2.3 Blockchain

2.3.1 Konsep Blockchain

Blockchain secara konseptual didefinisikan sebagai buku besar digital terdistribusi (*distributed digital ledger*) yang menyimpan catatan transaksi dalam

bentuk blok-blok data, di mana setiap blok diberi tanda tangan kriptografi dan dihubungkan secara berurutan dengan blok sebelumnya sehingga membentuk satu rantai yang saling terkait. Ketika terjadi transaksi baru, data transaksi tersebut terlebih dahulu dikelompokkan menjadi sebuah blok kandidat, diverifikasi oleh node yang berpartisipasi dalam jaringan, kemudian ditautkan ke blok sebelumnya melalui fungsi *hash*. Struktur rantai blok yang saling terikat melalui *hash* inilah yang menyebabkan riwayat transaksi pada *blockchain* secara praktis sangat sulit diubah tanpa terdeteksi, karena setiap perubahan terhadap isi suatu blok akan mengubah nilai *hash* dan menghasilkan ketidaksesuaian dengan blok berikutnya yang direplikasi di berbagai node jaringan (Vyas dkk., 2022).

Berbeda dengan basis data terpusat konvensional, *blockchain* beroperasi tanpa otoritas pusat seperti bank atau lembaga pemerintah; pengelolaan buku besar tidak diserahkan kepada satu server tunggal, melainkan dilakukan secara kolektif oleh sekumpulan node yang terhubung dalam jaringan *peer-to-peer*. Setiap node menyimpan salinan *ledger* (penuh atau sebagian) dan berpartisipasi dalam proses verifikasi transaksi. Konsekuensinya, tidak terdapat satu titik kegagalan (*single point of failure*), dan transparansi transaksi dapat ditingkatkan karena riwayatnya dapat ditelusuri oleh pihak yang berwenang di seluruh jaringan. Format pencatatan yang bersifat *append - only* (hanya menambah blok baru tanpa menghapus blok lama) menjadikan riwayat transaksi lebih mudah dilacak dan secara substansial lebih sulit dimanipulasi dibanding basis data tradisional yang mengizinkan operasi penyuntingan (*edit*) maupun penghapusan (*delete*) terhadap rekaman lama (Vyas dkk., 2022).

2.3.2 Karakteristik Utama *Blockchain* (Vyas dkk., 2022).

1. Integritas data terjaga karena setiap blok diamankan dengan teknik kriptografi. Upaya pemalsuan atau perubahan data akan segera tampak sebagai ketidaksesuaian nilai *hash* antara blok yang diubah dan blok berikutnya, sehingga jaringan dapat menolak rantai yang tidak sah.
2. Transparansi dan akuntabilitas meningkat karena konsep *shared ledger* memungkinkan seluruh pemangku kepentingan yang memiliki hak akses untuk melihat riwayat transaksi yang sama, sehingga audit dan pelacakan

(*tracking*) dapat dilakukan dengan lebih mudah dan dapat dipertanggungjawabkan.

3. Efisiensi proses berpotensi meningkat karena banyak transaksi dapat dilakukan secara langsung antar pihak (*peer-to-peer*) tanpa perantara tradisional. Hal ini berpotensi menurunkan waktu siklus dan biaya transaksi, meskipun infrastruktur komputasi *blockchain* sendiri tetap memerlukan sumber daya komputasi dan energi yang tidak sedikit sehingga tidak dapat dianggap “gratis”

2.3.3 Jenis-Jenis *Blockchain*

1. *Blockchain* Publik

Blockchain publik didefinisikan sebagai jaringan *blockchain* yang bersifat *permissionless*, artinya siapa pun dapat bergabung sebagai node, mengirim transaksi, dan ikut serta dalam mekanisme konsensus tanpa persyaratan keanggotaan tertentu. Dalam tipe ini, *ledger* dapat dibaca secara terbuka oleh seluruh peserta jaringan. Contoh klasiknya adalah *Bitcoin* dan *Ethereum*. Pada *blockchain* publik, keamanan dan integritas sistem dijaga melalui kombinasi mekanisme konsensus (misalnya *Proof of Work* atau *Proof of Stake*) dan fakta bahwa jumlah node yang tersebar secara global membuat serangan terkoordinasi terhadap mayoritas jaringan menjadi sangat mahal dan sulit dilakukan (Yi dkk., 2022). *Blockchain* publik memiliki tingkat desentralisasi dan transparansi yang tinggi karena sifatnya yang sangat terbuka, sehingga cocok untuk skenario di mana kepercayaan terhadap otoritas pusat rendah dan diperlukan verifikasi transaksi yang dapat dilakukan secara independen oleh publik. Namun, Tanwar (2022) menekankan bahwa arsitektur ini membawa konsekuensi berupa keterbatasan *throughput* dan latensi transaksi, konsumsi energi yang besar (khususnya pada skema PoW), serta tantangan kepatuhan terhadap regulasi ketika berhadapan dengan data sensitif seperti data kesehatan. Dalam konteks farmasi, *blockchain* publik umumnya dipandang kurang ideal untuk menyimpan informasi detail pasien atau transaksi internal industri, tetapi tetap relevan sebagai infrastruktur referensi (misalnya *public anchoring* atau sertifikasi) bila dikombinasikan dengan mekanisme perlindungan privasi yang memadai.

2. **Blockchain Privat**

Berbeda dengan tipe publik, *blockchain* privat adalah jaringan *blockchain* yang dikelola oleh satu organisasi atau entitas utama, di mana hak untuk menulis ke ledger dan berpartisipasi dalam konsensus dibatasi hanya bagi node yang diizinkan oleh pengelola jaringan. Tipe ini sebagai salah satu bentuk *permissioned blockchain* dengan tingkat kontrol yang paling tinggi, karena entitas pengelola dapat menentukan siapa yang boleh menjadi validator dan bagaimana aturan konsensus diterapkan (Yi dkk., 2022). Walaupun hanya pihak tertentu yang boleh menulis dan memvalidasi, *ledger* tetap dapat dibagi di antara node internal organisasi untuk tujuan redundansi, keamanan, dan audit internal. Tanwar (2022) menekankan bahwa *blockchain* privat banyak digunakan untuk kebutuhan proses bisnis internal yang menuntut integritas dan audit *trail* yang kuat tetapi tidak memerlukan transparansi publik, misalnya pencatatan transaksi antar divisi, manajemen aset internal, atau rekonsiliasi data dalam satu grup perusahaan. Keunggulan utama tipe ini adalah kinerja yang lebih baik (*throughput* tinggi dan latensi lebih rendah) dibandingkan *blockchain* publik karena jumlah node validator lebih terbatas dan konsensus dapat menggunakan algoritma yang lebih efisien. Namun, derajat desentralisasinya relatif lebih rendah, sehingga kepercayaan masih bergantung pada integritas organisasi pengelola; di sisi lain, justru karakteristik ini yang seringkali mempermudah pemenuhan regulasi dan tata kelola di sektor yang sangat diatur seperti farmasi dan layanan kesehatan. Dalam konteks *supply chain* farmasi, *blockchain* privat dapat diposisikan sebagai platform pencatatan internal di level perusahaan atau grup rumah sakit, misalnya untuk melacak pergerakan stok, pencatatan *batch* obat, dan pengelolaan dokumen mutu, dengan akses terbatas pada pihak yang memiliki hubungan kontraktual langsung.

3. **Blockchain Konsorsium / Permissioned**

Blockchain konsorsium sering juga disebut *federated* atau *permissioned consortium blockchain* sebagai bentuk hibrida yang menggabungkan karakteristik desentralisasi *blockchain* publik dengan kontrol

akses *blockchain privat*. Dalam model konsorsium, sejumlah organisasi yang berbeda misalnya produsen, distributor, penyedia layanan kesehatan, dan regulator secara bersama-sama mengoperasikan jaringan *blockchain*, di mana hanya entitas yang tergabung dalam konsorsium yang dapat menjalankan node validator dan ikut serta dalam konsensus, sementara hak baca dapat diatur lebih fleksibel sesuai kebutuhan (Yi dkk., 2022). *Blockchain* konsorsium menawarkan akses yang terbatas tetapi tata kelola yang terdesentralisasi. Tidak ada satu organisasi pun yang memonopoli pengendalian jaringan, karena keputusan terkait aturan protokol, penambahan anggota baru, dan pembaruan perangkat lunak diambil melalui mekanisme kesepakatan di antara anggota konsorsium (*Blockchain Council*, 2023). Tipe ini dinilai sangat relevan untuk skenario lintas organisasi yang membutuhkan kepercayaan bersama tetapi tidak dapat sepenuhnya membuka data ke publik, misalnya jaringan perbankan, konsorsium logistik, atau rantai pasok farmasi yang melibatkan produsen, distributor, apotek, fasilitas kesehatan, dan otoritas pengawas obat.

Blockchain konsorsium/*permissioned* menjadi arsitektur yang paling sering diusulkan untuk *supply chain* farmasi karena mampu menyeimbangkan beberapa kebutuhan sekaligus: (1) menyediakan *immutable shared ledger* yang dapat diaudit bersama oleh berbagai pelaku, (2) mempertahankan kerahasiaan data sensitif melalui pengaturan hak akses dan segmentasi data, serta (3) mencapai kinerja transaksi yang lebih baik dibanding *blockchain* publik melalui konsensus yang dioptimalkan untuk jaringan tertutup. Tanwar (2022) dan Yi dkk. (2022) menekankan bahwa pemilihan mekanisme konsensus pada *blockchain permissioned* misalnya *Practical Byzantine Fault Tolerance* (PBFT) atau varian BFT lainnya memungkinkan *throughput* dan latensi yang lebih sesuai untuk aplikasi bisnis skala besar, termasuk pengelolaan aliran obat dan informasi terkait mutu di sepanjang rantai pasok.

2.4 Blockchain dalam Supply Chain Farmasi

1. Blockchain sebagai Distributed Ledger untuk Traceability

Blockchain dalam konteks *supply chain* farmasi berfungsi sebagai *distributed ledger* yang memungkinkan pelacakan produk secara *end-to-end*

dari produsen hingga konsumen akhir. Setiap transaksi yang terjadi dalam rantai pasok dicatat dalam blok data yang terhubung secara kriptografis, memastikan bahwa informasi tersebut transparan dan tidak dapat dimanipulasi. Salah satu manfaat utama *blockchain* adalah *traceability* yang memungkinkan produk farmasi dilacak dengan akurat dan cepat, yang penting untuk mencegah peredaran obat palsu dan menjaga kualitas obat (Gupta dkk., 2021). Dengan menggunakan *hashing* dan teknologi kriptografi, setiap blok yang tercatat dalam *blockchain* tidak dapat diubah tanpa menyebabkan ketidaksesuaian dengan blok berikutnya, sehingga meningkatkan keamanan data.

2. ***Blockchain* untuk Meningkatkan Keamanan dan Mengurangi Pemalsuan**

Blockchain berperan penting dalam meningkatkan keamanan dan mengurangi pemalsuan obat. Setiap produk obat dapat diberi identifikasi digital unik yang tercatat dalam *blockchain*, memungkinkan setiap pihak dalam rantai pasok untuk memverifikasi keaslian produk secara *real-time*. *Blockchain* menyediakan *audit trail* yang memungkinkan semua pihak yang terlibat untuk melacak asal-usul dan pergerakan produk, memastikan bahwa produk yang dijual kepada konsumen adalah produk yang sah (Khan dkk., 2022).

3. ***Blockchain* dalam Meningkatkan Efisiensi Proses *Supply Chain***

Blockchain dapat meningkatkan efisiensi operasional dalam *supply chain* farmasi, mengurangi biaya operasional dengan mengotomatisasi verifikasi transaksi, pelaporan stok, dan persiapan audit. *Smart contracts* mengotomatiskan banyak proses dalam *supply chain*, yang mengurangi ketergantungan pada proses manual yang sering kali rentan terhadap kesalahan dan memakan waktu (Wang dkk., 2023).

4. **Keterbatasan Implementasi *Blockchain* dalam *Supply Chain* Farmasi**

Penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi meskipun menjanjikan banyak keuntungan, masih menghadapi beberapa tantangan besar. Salah satu hambatan utama adalah biaya implementasi yang tinggi, yang meliputi infrastruktur digital, pelatihan SDM, dan integrasi sistem yang ada dengan *blockchain*. Penelitian oleh Peron dkk. (2025) mengungkapkan

bahwa negara dengan infrastruktur terbatas mungkin mengalami kesulitan dalam mengimplementasikan *blockchain* karena biaya awal yang diperlukan untuk teknologi baru ini. Selain itu, interoperabilitas antara *blockchain* dan sistem lama dalam *supply chain* farmasi juga menjadi tantangan, terutama untuk standarisasi data yang diperlukan agar sistem ini dapat berfungsi dengan baik.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian *non-eksperimental* dengan pendekatan *systematic literature review* (SLR). Pendekatan ini dipilih karena tujuan penelitian adalah untuk mengkaji secara sistematis bukti ilmiah mengenai penerapan teknologi *blockchain* dalam *pharmaceutical supply chain*, dan menganalisis profil masalah *pharmaceutical supply chain* pada berbagai kelompok negara berdasarkan klasifikasi pendapatan menurut *World Bank* dan kategori *Least Developed Countries (LDCs)* menurut Perserikatan Bangsa-Bangsa. Proses kajian literatur dilakukan dengan mengacu pada prinsip umum PRISMA 2020 (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*), yang meliputi tahapan identifikasi, skrining, penilaian kelayakan (*eligibility*), dan inklusi artikel.

Penelitian ini memiliki dua fokus kajian yang saling berkaitan, yaitu fokus pertama studi mengenai penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, fokus kedua studi mengenai profil dan masalah *supply chain* farmasi pada berbagai kelompok negara berdasarkan klasifikasi pendapatan. Kedua fokus tersebut dianalisis dalam satu kerangka SLR yang terpadu.

3.2 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada periode September – Desember 2025 dan dilakukan secara daring (*online*). Penelusuran literatur dilakukan melalui beberapa basis data elektronik internasional dan nasional. Pengolahan serta analisis data dilakukan oleh peneliti menggunakan perangkat komputer dan perangkat lunak pengolahan data microsoft excel.

3.3 Sumber Data dan Objek Penelitian

3.3.1 Sumber data

Sumber data dalam penelitian ini adalah artikel ilmiah terpublikasi yang diperoleh dari basis data elektronik, antara lain : PubMed, ScienceDirect, dan Google Scholar.

3.3.2 Objek kajian

Objek kajian penelitian ini adalah:

1. Artikel yang membahas penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi (obat, vaksin, atau produk kesehatan terkait).
2. Artikel yang menguraikan masalah atau tantangan *supply chain* farmasi dalam konteks negara atau kawasan tertentu yang dapat diklasifikasikan berdasarkan kelompok pendapatan (*high-income*, *upper-middle-income*, *lower-middle-income*, *low-income*, dan/atau LDCs).

3.4 Kerangka PICOS

Kerangka inklusi dan eksklusi artikel disusun menggunakan pendekatan PICOS (*Population*, *Intervention*, *Comparison*, *Outcome*, *Study design*). Mengingat penelitian memiliki dua fokus *blockchain* dan profil *supply chain*, PICOS disajikan dalam satu tabel dengan dua kolom fokus, seperti pada Tabel 3.1.

Tabel 3. 1 Kerangka PICOS penelitian

Komponen	Penerapan <i>Blockchain</i> dalam <i>Supply Chain</i> Farmasi	Profil Masalah <i>Supply Chain</i> Farmasi per Kelompok Negara
P (Population)	Sistem <i>supply chain</i> farmasi, meliputi obat, vaksin, produk biologik, atau produk kesehatan lain yang didistribusikan melalui rantai pasok farmasi.	Sistem <i>supply chain</i> farmasi pada tingkat nasional, regional, atau subnasional (obat, vaksin, atau produk farmasi penting lainnya).
I (Intervention / Interest)	Penerapan teknologi <i>blockchain</i> dalam <i>supply chain</i> farmasi, termasuk untuk <i>track and trace</i> , pencegahan obat palsu, manajemen <i>cold chain</i> , pengadaan, atau integritas data.	Tidak mensyaratkan intervensi tertentu; mencakup studi yang mendeskripsikan kondisi, masalah, hambatan, atau tantangan <i>supply chain</i> farmasi, termasuk strategi perbaikan yang diusulkan.
C (Comparison)	Tidak disyaratkan adanya kelompok pembanding; dapat berupa studi deskriptif, simulasi, <i>proof-of-concept</i> , atau desain sebelum – sesudah.	Tidak disyaratkan adanya kelompok pembanding; dapat berupa studi deskriptif, observasional, studi kasus, atau analisis kebijakan.
O (Outcome)	Indikator terkait kinerja <i>supply chain</i> farmasi, antara lain: <i>traceability</i> alur produk, deteksi/pencegahan obat palsu atau <i>mismatch</i> , waktu penarikan kembali produk (<i>recall time</i>), efisiensi proses (waktu/biaya), transparansi dan integritas data, serta luaran lain yang relevan.	Informasi mengenai masalah atau tantangan <i>supply chain</i> : <i>drug shortages</i> / <i>stock-out</i> , ketergantungan impor, kapasitas produksi lokal, distribusi dan logistik, obat substandard/ <i>falsified</i> , kelemahan sistem informasi dan <i>traceability</i> , serta aspek tata kelola pengadaan.
S (Study design)	Artikel penelitian asli (kuantitatif, kualitatif, studi kasus, pemodelan/simulasi), <i>proof-of-concept</i> , maupun artikel konseptual yang secara spesifik membahas penerapan <i>blockchain</i> dalam <i>supply chain</i> farmasi.	Artikel penelitian kuantitatif, kualitatif, <i>mixed methods</i> , studi kasus, maupun analisis kebijakan yang memuat informasi mengenai kondisi <i>supply chain</i> farmasi di suatu negara atau kawasan yang dapat diklasifikasikan berdasarkan

		kelompok pendapatan (HIC, UMIC, LMIC, LIC, dan/atau LDCs).
--	--	--

3.5 Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Berdasarkan kerangka PICOS, ditetapkan kriteria inklusi dan eksklusi sebagai berikut.

3.5.1 Kriteria inklusi

Artikel akan diinklusi jika memenuhi persyaratan:

1. Topik sesuai fokus

Fokus 1 : artikel membahas penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi.

Fokus 2 : artikel menguraikan masalah atau tantangan *supply chain* farmasi dalam konteks negara/kawasan yang dapat diklasifikasikan menurut kelompok pendapatan.

2. Kesesuaian *population* dan *outcome*

Melibatkan sistem *supply chain* yang berkaitan dengan obat, vaksin, atau produk farmasi lainnya.

Melaporkan luaran terkait kinerja *supply chain* (misalnya *traceability*, penanganan obat palsu, *shortage/stock-out*, kapasitas produksi, sistem informasi, atau tata kelola).

3. Jenis publikasi

Artikel penelitian asli, studi kasus, studi pemodelan/simulasi, artikel konseptual, atau analisis kebijakan yang diterbitkan dalam jurnal ilmiah, prosiding konferensi, atau laporan teknis yang memiliki landasan metodologis jelas dan dapat diakses teks lengkap (*full text*).

4. Bahasa dan periode publikasi

Ditulis dalam bahasa Inggris atau bahasa Indonesia. Terbit dalam rentang tahun 2015 - 2025

5. Klasifikasi negara

Negara yang dikaji dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok *high-income*, *upper-middle-income*, *lower-middle-income*, *low-income*, dan/atau LDCs.

3.5.2 Kriteria eksklusi

Artikel akan dikecualikan apabila:

1. Membahas *blockchain* secara umum atau pada sektor lain (misalnya perbankan, logistik non-farmasi) tanpa keterkaitan jelas dengan *supply chain farmasi*.
2. Hanya menyoroti aspek teknis algoritma/kriptografi *blockchain* tanpa konteks implementasi pada rantai pasok obat.
3. Hanya fokus pada aspek klinis tanpa informasi mengenai sistem *supply chain* atau ketersediaan obat.
4. Merupakan editorial, komentar singkat, surat pembaca, berita, abstrak tanpa *full text*, atau dokumen non-ilmiah.
5. Tidak dapat diklasifikasikan ke dalam kelompok pendapatan negara (informasi negara tidak jelas/tidak tersedia) untuk fokus

3.6 Strategi Penelusuran Literatur

Penelusuran literatur dilakukan secara sistematis pada beberapa basis data ilmiah. Strategi penelusuran memanfaatkan kombinasi kata kunci teks bebas dan, bila relevan, istilah MeSH atau istilah terindeks lain.

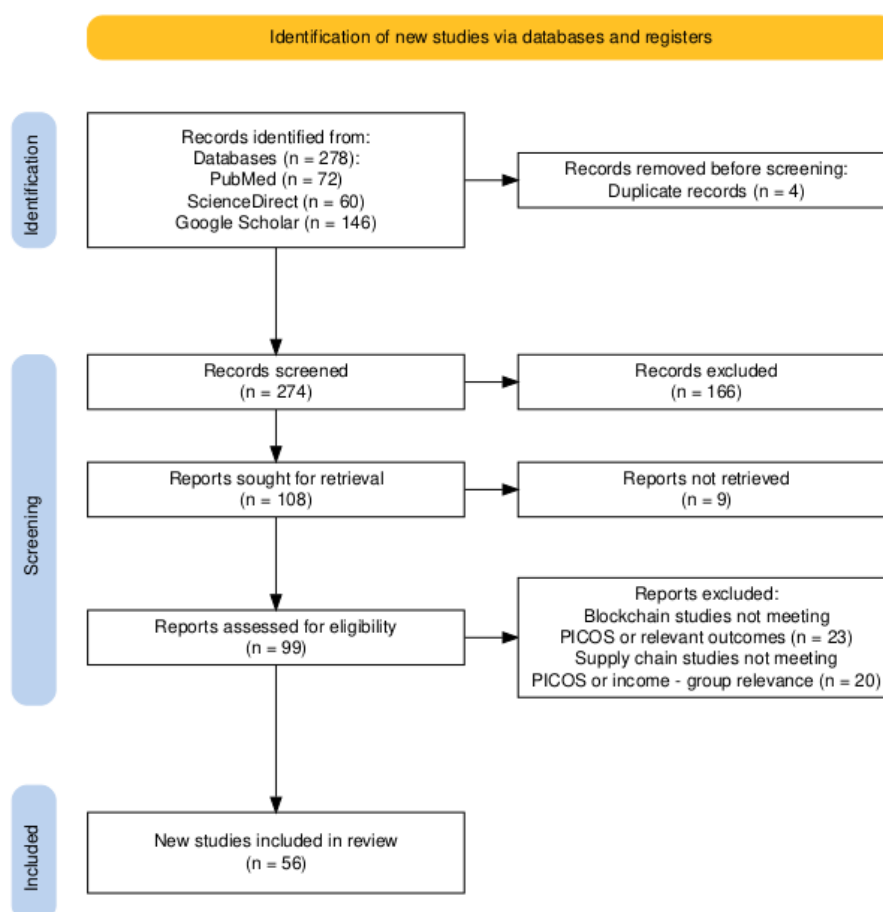
1. Contoh kombinasi kata kunci untuk fokus *blockchain* antara lain: "*blockchain*" OR "*distributed ledger*" AND "*pharmaceutical*" OR "*medicine*" OR "*drug*" OR "*vaccine*" AND "*supply chain*" OR "*distribution*" OR "*track and trace*" OR "*traceability*"
2. Contoh kombinasi kata kunci untuk fokus profil masalah *supply chain* negara, antara lain: "*pharmaceutical supply chain*" OR "*medicine supply chain*" OR "*drug supply chain*" OR "*vaccine supply chain*" AND "*shortage*" OR "*stock-out*" OR "*availability*" OR "*access*" OR "*substandard*" OR "*falsified*" OR "*counterfeit*" OR "*quality*" "low-income countries", "middle-income countries", "high-income countries"

Peneliti menyesuaikan kombinasi kata kunci dan operator *Boolean* (AND, OR) sesuai karakteristik masing-masing basis data.

3.7 Prosedur Seleksi Artikel (PRISMA)

Seleksi artikel dilakukan melalui beberapa tahapan yang mengikuti alur PRISMA:

1. Tahap identifikasi (*identification*)
Hasil pencarian dari seluruh basis data dikumpulkan dan duplikasi dihapus
2. Tahap skrining (*screening*)
Judul dan abstrak diseleksi sesuai kriteria inklusi, dan eksklusi. Artikel yang jelas tidak relevan dieliminasi.
3. Tahap penilaian kelayakan (*eligibility*)
Teks lengkap dibaca, dan kesesuaian PICOS diperiksa untuk fokus 1 (blockchain pada *supply chain* farmasi) atau fokus 2 (profil masalah *supply chain* farmasi negara/kawasan).
4. Tahap inklusi (*included*)
Artikel yang memenuhi seluruh kriteria dimasukkan ke dalam proses ekstraksi data dan sintesis. Total 44 artikel fokus *blockchain* dan artikel profil masalah; alur dirangkum dalam diagram PRISMA 2020.



Gambar 3.1 Diagram PRISMA

3.8 Ekstraksi dan Pengelolaan Data

Data dari artikel yang terinklusi diekstraksi menggunakan lembar ekstraksi data yang disusun dalam bentuk tabel. Variabel utama yang diekstraksi untuk fokus *blockchain* meliputi: jenis publikasi, judul artikel, tahun penerbitan, nama jurnal, penulis, negara/konteks dan setting penelitian, jenis dan platform *blockchain* yang digunakan, tujuan dan konteks penerapan, indikator efektivitas yang dilaporkan (misalnya *traceability*, *recall time*, deteksi obat palsu, efisiensi proses, transparansi dan integritas data), rancangan penelitian, temuan utama dan implikasi, serta catatan relevansi terhadap topik penelitian.

Variabel yang diekstraksi untuk fokus profil masalah *supply chain* per kelompok negara meliputi jenis publikasi, judul, tahun, jurnal, penulis, negara yang dikaji dan klasifikasi pendapatan (HIC, UMIC, LMIC, LIC, dan/atau LDCs), jenis masalah *supply chain* yang dilaporkan, serta catatan relevansi terhadap tujuan penelitian.

3.9 Penilaian Kualitas Artikel

Penilaian kualitas artikel dilakukan secara kualitatif dengan mengacu pada prinsip *critical appraisal* yang umum digunakan, seperti panduan *Joanna Briggs Institute* (JBI) atau *Critical Appraisal Skills Programme* (CASP), yang menekankan aspek kejelasan tujuan penelitian, kesesuaian rancangan penelitian dengan tujuan, kejelasan metode pengumpulan dan analisis data, transparansi dan kelengkapan pelaporan hasil, dan konsistensi antara data, analisis, serta kesimpulan. Penilaian kualitas ini tidak dinyatakan dalam bentuk skor numerik gabungan, tetapi digunakan untuk memahami kekuatan dan keterbatasan masing-masing studi, dan memberikan konteks saat menafsirkan hasil sintesis (misalnya dengan menandai studi yang hanya bersifat konseptual vs studi dengan data empiris yang kuat).

3.10 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif dan melalui sintesis naratif (*narrative synthesis*), dengan langkah-langkah sebagai berikut

1. Analisis deskriptif

Fokus *blockchain* dilakukan tabulasi frekuensi dan distribusi berdasarkan tahun publikasi, negara/kawasan, setting, jenis dan platform

blockchain, serta jenis indikator efektivitas yang digunakan. Fokus profil *supply chain* dilakukan pengelompokan artikel berdasarkan kelompok pendapatan negara (HIC, UMIC/LMIC, LIC, LDCs) dan jenis masalah *supply chain* yang dilaporkan

2. Sintesis tematik

Isi artikel dianalisis untuk mengidentifikasi tema-tema utama terkait dampak penerapan *blockchain* terhadap *traceability*, keamanan produk, integritas data, dan efisiensi, pola masalah *supply chain* farmasi di masing - masing kelompok negara.

3. Sintesis komparatif dan integratif

Hasil analisis *blockchain* dan profil masalah *supply chain* negara kemudian dipetakan satu sama lain untuk melihat jenis masalah *supply chain* apa yang paling dapat direspon oleh teknologi *blockchain*, di kelompok negara mana potensi pemanfaatan *blockchain* paling relevan dan realistis, serta implikasinya bagi penguatan sistem distribusi obat dan praktik kefarmasian. Sintesis ini disajikan dalam Bab V dalam bentuk pembahasan terpadu, yang menghubungkan bukti efektivitas *blockchain* dengan kebutuhan dan tantangan nyata *supply chain* farmasi di HICs, UMICs/LMICs, dan LICs/LDCs.

BAB 4

HASIL PENELITIAN

4.1 Gambaran Umum Studi yang Direview

Berdasarkan hasil penelusuran dan seleksi literatur yang memenuhi kriteria inklusi, diperoleh 56 artikel ilmiah yang diikutkan dalam analisis kualitatif. Dari jumlah tersebut, 44 artikel secara spesifik membahas penerapan teknologi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, sedangkan 12 artikel lainnya menggambarkan profil dan masalah *pharmaceutical supply chain* di berbagai kelompok negara berdasarkan klasifikasi pendapatan dan kategori *Least Developed Countries* (LDCs). 44 studi *blockchain* dikompilasi ke dalam lembar ekstraksi (Excel) dengan variabel meliputi identitas penelitian, tahun publikasi, negara atau wilayah, *setting*, tipe *blockchain*, platform yang digunakan, fitur teknologi yang diimplementasikan keberadaan komparator, sumber pendanaan, serta indikator efektivitas yang dilaporkan.

Studi *blockchain* menggunakan beragam pendekatan (simulasi, prototipe, implementasi, hingga evaluasi sistem) dan umumnya menyoroti potensi *blockchain* untuk meningkatkan *traceability*, efisiensi distribusi, transparansi/integritas data, serta keamanan obat dari pemalsuan. Sementara itu, 12 artikel tambahan yang tidak secara langsung menerapkan *blockchain* tetapi membahas profil dan masalah *pharmaceutical supply chain* digunakan untuk menjawab rumusan masalah pertama dan ketiga. Artikel - artikel ini menguraikan kondisi dan tantangan *supply chain* farmasi di berbagai kelompok negara, seperti *high-income countries* (HICs), *upper-middle-income countries* (UMICs), *lower-middle-income countries* (LMICs), serta *low-income countries/Least Developed Countries* (LICs/LDCs). Informasi tersebut meliputi isu ketersediaan dan keterjangkauan obat, *drug shortages* atau *stock-out*, kapasitas produksi lokal, ketergantungan impor, distribusi dan logistik, serta keberadaan obat substandard/*falsified* dan kelemahan sistem informasi.

Tabel 4. 1 Hasil Jurnal yang direview

Peneliti, Tahun (Negara)	Judul Penelitian	Desain Penelitian	Subjek / Objek Penelitian	Hasil Penelitian
Mani dkk., 2022 (India)	<i>Cloud-based blockchain technology to identify counterfeits</i>	<i>Proof-of-concept</i> / desain arsitektur + implementasi sistem (permissioned blockchain) dan evaluasi performa menggunakan Hyperledger Caliper	Sistem <i>supply chain</i> farmasi multi-aktor (produsen – shipper – distributor/retailer – apotik/RS–pasien – regulator). Menggunakan <i>Hyperledger Fabric, smart contract, QR code</i> , penyimpanan <i>off-chain</i> IPFS dan <i>on-chain</i> CouchDB	Sistem memungkinkan <i>traceability</i> & verifikasi keaslian obat melalui pemindaian (QR/hash) dan membantu mengidentifikasi obat <i>counterfeit</i> serta produk lintas batas tidak sah; akses data dikontrol regulator (ABAC). Evaluasi performa menunjukkan latensi rata-rata transaksi sukses meningkat dari 2,60 s (100 transaksi) menjadi 3,21 s (500 transaksi) dan 6,18 s (1000 transaksi), tanpa crash jaringan, sehingga desain dinilai efisien dan <i>usable</i> untuk skenario peningkatan beban transaksi.
Sim dkk., 2022 (Asia ; Hong Kong & Thailand)	<i>Improving End-to-End Traceability and Pharma Supply Chain Resilience using Blockchain</i>	<i>Use case</i> / studi implementasi (<i>production-grade</i>) + deskriptif (bukan uji klinis; fokus business value & penerapan sistem)	Solusi <i>end-to-end traceability</i> eZTracker berbasis <i>Hyperledger Fabric</i> untuk verifikasi keaslian, data sharing lintas aktor (produsen–distributor–HCP–pasien), terintegrasi dengan <i>warehouse app</i> , mobile app, dan <i>dashboard real-time</i> .	eZTracker memungkinkan <i>traceability pack-level</i> melalui Digital ID/2D data matrix dan <i>ledger</i> yang <i>immutable</i> . Implementasi nyata menunjukkan skala pemakaian > 2 juta produk berlabel tercatat/terlacak pada <i>blockchain</i> (2022). Solusi dipakai oleh > 37.000 pengguna di Hong Kong & Thailand dengan >115.000 pemindaian >6.700 pemindaian mengindikasikan potensi <i>counterfeit</i> dan pergerakan lintas batas tidak sah. Studi menekankan bahwa <i>blockchain</i> meningkatkan transparansi & resilien <i>supply chain</i> , serta memperluas <i>use case</i> (<i>recall, cold chain, e-product info</i>),
Liu S. dkk., 2023 (China)	<i>P-PBFT: An improved blockchain algorithm to support large scale</i>	Studi pemodelan/simulasi + eksperimen komputasi (perbaikan algoritma konsensus PBFT untuk <i>consortium blockchain; grouping + credit voting</i>)	Algoritma konsensus untuk <i>consortium blockchain</i> pada <i>traceability supply chain</i> farmasi (banyak aktor & node; kebutuhan <i>throughput</i> tinggi dan latensi rendah).	P-PBFT meningkatkan performa dibanding PBFT/FCBFT: saat node=70, latensi 39,6% dari PBFT dan 43,4% dari FCBFT; <i>throughput</i> 80% lebih tinggi dari PBFT dan 28% lebih tinggi dari FCBFT; komunikasi meningkat namun pertumbuhannya lebih terkendali (dibahas sebagai

	<i>pharmaceutical traceability</i>		Mengusulkan P-PBFT berbasis PBFT dengan <i>node grouping</i> (berdasarkan <i>response speed</i>) dan credit model + voting <i>mechanism</i> untuk memilih management node yang lebih reliabel.	<i>relative growth rate</i>). Kesimpulannya, algoritma ini mendukung <i>traceability</i> skala besar dengan latensi lebih kecil, throughput lebih tinggi, komunikasi antar node berkurang, serta mengurangi pengaruh node jahat.
Naga Sudha & Nayahi, 2024 (India)	<i>TrackChain: Hyperledger based pharmaceutical supply chain – Resource utilization perspective</i>	<i>Proof-of-concept</i> + implementasi sistem + evaluasi komparatif performa (resource utilization) pada dua framework blockchain	Sistem <i>supply chain</i> farmasi berbasis <i>blockchain</i> dari manufaktur hingga distribusi, dengan modul pencatatan/otomasi (<i>smart contract/transaction processor</i>), <i>query</i> data, dan antarmuka GUI; diimplementasikan pada <i>Hyperledger Fabric</i> dan <i>Hyperledger Sawtooth</i> untuk dibandingkan dari sisi CPU/memory & kemampuan menangani transaksi	Studi menunjukkan <i>blockchain</i> meningkatkan transparansi & <i>traceability supply chain</i> farmasi; fokus utama studi ini adalah perbandingan penggunaan sumber daya. Hasil komparatif menyimpulkan <i>Hyperledger Sawtooth</i> lebih efisien untuk perspektif <i>resource utilization</i> dan mengonsumsi CPU lebih rendah dibanding <i>Fabric</i> , sehingga dinilai lebih cocok ketika targetnya meningkatkan jumlah transaksi dengan sumber daya terbatas.
Bhuvaneshwari dkk., 2025 (India)	<i>BSVA: blockchain-enabled secured vertical aggregation algorithm for transactions management in drug traceability framework</i>	Studi pengembangan metode + simulasi/eksperimen performa (<i>permissioned blockchain/Hyperledger</i>); mengusulkan algoritma BSVA dan membandingkannya dengan beberapa pendekatan relevan (BBTCD, SecureMed, NFT-IoT <i>Pharma Chain</i> , PHTrack)	Sistem <i>traceability</i> obat <i>end-to-end</i> pada <i>supply chain</i> (<i>supplier manufacturer wholesaler retailer pharmacy/hospital regulator</i>) dengan <i>smart contract/chaincode, certificate authority</i> , serta mekanisme <i>vertical aggregation</i> untuk meningkatkan keamanan, integritas data, dan efisiensi transaksi	<i>Blockchain</i> digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada otoritas terpusat, meningkatkan transparansi transaksi, dan menjaga integritas produk. Evaluasi performa menunjukkan BSVA mendukung skalabilitas dan kinerja transaksi; studi melaporkan capaian <i>throughput</i> 250 TPS serta latensi lebih rendah dibanding metode pembandingan, sehingga dinilai cocok untuk implementasi <i>traceability</i> skala besar.
Nawaz dkk.,	<i>Hyperledger</i>	<i>Proof-of-concept</i> +	<i>Framework PHTrack</i> berbasis	PHTrack ditujukan untuk menyediakan <i>provenance</i>

2024 (Finlandia & China)	<i>sawtooth based supplychain traceability system for counterfeit drugs</i>	implementasi sistem + eksperimen performa (testbed) untuk memvalidasi <i>framework</i> PHTrack	<i>Hyperledger Sawtooth</i> untuk <i>traceability</i> obat multi-aktor; menekankan modularitas, efisiensi <i>resource</i> , integrasi dengan sistem eksisting, serta <i>off-chain communication</i> yang aman.	obat yang komprehensif dan pelacakan <i>supply chain real-time</i> , sekaligus menekan risiko <i>counterfeit</i> melalui ledger yang <i>immutable</i> . Studi melaporkan hasil eksperimen performa (pengaruh <i>blocksize</i> & TPS terhadap <i>throughput</i> /latensi), serta uji reliabilitas misalnya sistem mampu menangani >1000 parallel statements dengan tingkat keberhasilan commit sekitar 82% pada <i>resource</i> terbatas.
Yadav dkk., 2025 (India & UK)	<i>PharmChain: A data-driven scenario-based drug traceability and regulation blockchain framework</i>	Pengembangan <i>framework</i> + <i>proof-of-concept</i> /implementasi <i>smart contract</i> + evaluasi biaya & keamanan (Ethereum-based; uji <i>smart contract</i> di Remix; pengujian skenario transaksi)	<i>Framework blockchain</i> untuk <i>traceability</i> & regulasi dari pengembangan obat hingga pasien; transaksi disimpan di Ethereum, dengan akses data untuk pihak tepercaya; menggunakan <i>smart contract</i> serta penyimpanan <i>off-chain</i> Swarm untuk file besar (dokumen regulasi/foto kemasan) dan hash dicatat <i>on-chain</i> .	<i>PharmChain</i> dirancang untuk mengatasi obat palsu dan kerentanan <i>supply chain</i> dengan audit trail <i>immutable</i> , kontrol akses, serta model <i>hybrid on-chain/off-chain</i> untuk menekan biaya. Studi menyajikan analisis gas/cost untuk berbagai fungsi dan menunjukkan latensi operasi pada pengujian (ms) serta bahwa fungsi “ <i>create</i> ” paling mahal, sedangkan <i>approval/rejection</i> relatif rendah sehingga dinilai lebih terjangkau setelah tahap registrasi awal.
Wang Z. dkk., 2021 (China)	<i>A Traditional Chinese Medicine Traceability System Based on Lightweight Blockchain</i>	Pengembangan arsitektur + implementasi sistem + eksperimen evaluasi performa (membandingkan dengan Ethereum/traditional blockchain)	Sistem <i>traceability</i> obat herbal/TCM dari penanaman–produksi–pemrosesan–gudang–sirkulasi–rumah sakit/pasien; menggunakan <i>lightweight blockchain</i> dengan horizontal segmentation (<i>header on-chain</i> , <i>body</i> di IPFS) dan <i>vertical segmentation</i> (memotong <i>chain</i> berdasarkan waktu/ukuran) untuk mengurangi beban data.	<i>Framework</i> diklaim mengurangi ukuran <i>blockchain</i> dan meningkatkan efisiensi verifikasi & pencarian. Hasil eksperimen menunjukkan performa lebih baik dibanding Ethereum untuk ledger <i>update (upload)</i> dan <i>query</i> , serta trafik jaringan lebih ringan karena node tidak perlu menyalin seluruh <i>blockchain</i> (cukup segmen terbaru).

Liu X dkk., 2021 (China, Singapura, Malaysia)	<i>Blockchain-based smart tracking and tracing platform for drug supply chain</i>	Penelitian pengembangan sistem (<i>design science</i>) disertai studi kasus dan evaluasi kinerja kuantitatif menggunakan data nyata industri	Sistem <i>supply chain</i> farmasi end-to-end (manufaktur–logistik–apotek–konsumen) dengan integrasi IoT (QR code, RFID, sensor) dan <i>Hyperledger Fabric</i>	Studi ini menunjukkan bahwa platform BIoT ³ mampu meningkatkan <i>traceability</i> dan transparansi <i>supply chain</i> farmasi secara signifikan. Implementasi <i>blockchain</i> memungkinkan pencatatan pergerakan obat secara <i>real-time</i> , integrasi data lintas aktor, serta mekanisme <i>on-chain-off-chain</i> untuk menjaga keseimbangan antara transparansi dan privasi. Evaluasi performa menunjukkan bahwa konfigurasi ukuran transaksi ≤200 kB menghasilkan waktu respons optimal (<1 detik), menegaskan kelayakan <i>blockchain</i> untuk penggunaan operasional pada <i>supply chain</i> farmasi skala besar.
Dwivedi dkk., 2022 (India)	<i>Blockchain technology for pharmaceutical supply chain management: opportunities and challenges</i>	Studi konseptual dan analisis literatur (<i>narrative review + framework konseptual</i>)	<i>Supply chain</i> farmasi nasional dan regional, mencakup produsen, distributor, regulator, dan fasilitas kesehatan	Penelitian ini mengidentifikasi bahwa <i>blockchain</i> berpotensi meningkatkan keamanan data, <i>traceability</i> , dan pencegahan obat palsu dalam <i>supply chain</i> farmasi. Namun, studi juga menekankan tantangan utama berupa biaya implementasi, kesiapan infrastruktur, interoperabilitas sistem, serta aspek regulasi. Dwivedi menyimpulkan bahwa <i>blockchain</i> sangat relevan untuk negara berkembang, tetapi memerlukan pendekatan bertahap dan dukungan kebijakan agar dapat diimplementasikan secara berkelanjutan.
Kumiawan dkk., 2020 (Indonesia, Puskesmas; kolaborasi riset di Korea)	<i>Utilization of the Blockchain Network in The Public Health Center Medicine Supply Chain</i>	<i>Proof-of-concept</i> + studi kasus implementasi + evaluasi performa sistem (benchmarking)	<i>Sistem Medicine Supply Chain Management</i> (MSCM) untuk distribusi obat antar Puskesmas (<i>public community health center</i>) di Indonesia; platform <i>Hyperledger Fabric</i> (<i>permissioned</i>) dengan kontrol akses; pengujian kinerja memakai JMeter (TPS,	Studi mengusulkan MSCM berbasis <i>blockchain</i> untuk mengurangi manipulasi data stok dan celah masuk obat palsu melalui data yang <i>immutable</i> & transparan. Evaluasi menunjukkan <i>request</i> GET lebih cepat daripada POST, dan latensi meningkat ketika jumlah klien meningkat. Perbedaan rata-rata GET vs POST sekitar 21 detik (SD 22 detik; 95% CI –4 s sampai 46 s), yang ditafsirkan sebagai estimasi waktu yang dibutuhkan <i>blockchain</i> untuk

			<i>latency, resource utilization</i>).	menulis/mengubah status <i>ledger</i> pada satu node.
A. Kumar dkk., 2019 (India)	<i>Combating Counterfeit Drugs: A quantitative analysis on cracking down the fake drug industry by using Blockchain technology</i>	Studi konseptual + proposal desain sistem (<i>permissioned blockchain</i>) disertai pembahasan “ <i>quantitative analysis</i> ” dan <i>benchmarking performa Hyperledger Fabric</i>	Rancangan sistem <i>drug supply chain</i> India berbasis <i>blockchain</i> (aktor: <i>raw material extraction unit, manufacturer, distributor, wholesaler, patient; host</i> oleh <i>Department of Pharmaceuticals</i>) dengan QR code sebagai Drug ID, transaksi bertimestamp, <i>smart contract</i> , dan kontrol akses pada <i>private blockchain</i>	Studi menekankan bahwa <i>blockchain</i> dapat memperkuat transparansi dan <i>auditability supply chain</i> untuk menekan peredaran obat palsu; pelacakan diusulkan dari bahan baku hingga pasien serta memungkinkan otomasi (mis. alarm suhu/ <i>cold chain</i> & pembayaran otomatis) melalui <i>smart contract</i> . Hasil uji kinerja yang dilaporkan menunjukkan sistem mencapai beban maksimum sekitar 1600 transaksi/detik dan kinerja mulai menurun setelah sekitar 1000 transaksi/detik, sehingga aspek skalabilitas menjadi catatan penting untuk implementasi nasional.
Mishra dkk., 2024 (India)	<i>Blockchain Enabled Secure Pharmaceutical Supply Chain Framework with Traceability: An Efficient Searchable PharmaChain Approach</i>	Pengembangan model + <i>proof-of-concept</i> berbasis <i>smart contract</i> , disertai <i>security analysis</i> (teoretis) dan <i>performance test/simulation</i> (<i>latency/throughput</i>) serta <i>cost analysis</i> (gas)	Infrastruktur <i>supply chain</i> farmasi multi-aktor untuk <i>traceability & authentication</i> , dengan mekanisme pencatatan <i>event</i> dan pencarian data <i>on-chain</i> yang dibuat lebih efisien melalui pemecahan <i>record</i> menjadi beberapa chunk dan <i>parallel search</i>	Model menjamin integritas data dan transparansi dengan <i>audit trail immutable</i> untuk mencegah pemalsuan catatan suplai dan obat palsu. Kinerja diuji dengan menaikkan <i>transaction send rate</i> (TSR) 100–1000 TPS: latensi meningkat tajam hingga sekitar 450 TPS, kemudian bertambah linear setelahnya. Studi juga melaporkan <i>cost analysis</i> fungsi <i>smart contract</i> (gas) dan menyatakan hasil uji keamanan <i>smart contract</i> tidak menunjukkan kerentanan utama pada alat analisis yang digunakan.
Agrawal dkk., 2022 (India) (afiliasi utama), Spanyol, Australia	<i>A Robust Drug Recall Supply Chain Management System using Hyperledger Blockchain Ecosystem</i>	Studi desain sistem + pemodelan proses <i>recall</i> dan prototipe berbasis <i>blockchain</i> (<i>Hyperledger</i>), disertai evaluasi kinerja/latensi/throughput.	<i>Stakeholder</i> dalam rantai pasok obat (konteks “ <i>domestic stakeholders within a country</i> ”).	Sistem <i>recall</i> berbasis <i>blockchain</i> menunjukkan performa: <i>average delay</i> 1,5 detik pada 5000 <i>users</i> , dan <i>throughput</i> >500 TPS pada 5000 <i>users</i> . Studi juga melaporkan perbaikan <i>query latency</i> turun 31,7% dan <i>throughput</i> naik 12,4% (dibanding skema pembandingan yang mereka gunakan).
I. Islam & M.N. Islam,	<i>A blockchain based medicine</i>	Studi pengembangan solusi (<i>design & development</i>): (1)	Sistem produksi dan distribusi obat pada konteks	<i>Framework</i> menghasilkan <i>audit trail end-to-end</i> dan mendukung verifikasi keaslian obat berbasis

<p>2024 (Bangladesh)</p>	<p><i>production and distribution framework to prevent medicine counterfeit</i></p>	<p>content analysis dokumen/kebijakan terkait pemalsuan obat → (2) wawancara semi-terstruktur dengan pihak yang terlibat dalam produksi/distribusi untuk memetakan skenario pemalsuan → (3) perumusan use case dan kebutuhan fitur → (4) pengembangan prototype pada private blockchain (Hyperledger Fabric) → (5) evaluasi performa (pengukuran waktu eksekusi blok & waktu akses blok) + penilaian keamanan/fitur dan perbandingan dengan pendekatan lain.</p>	<p>Bangladesh. Aktor <i>supply chain</i> dimodelkan sebagai node: <i>manufacturer–distributor–retailer–consumer</i>. <i>Manufacturer</i> membuat identitas obat (mis. <i>medicine ID/batch/exp date</i>), <i>distributor</i> & <i>retailer</i> memperbarui status/perpindahan, <i>consumer</i> melakukan verifikasi (cek riwayat) melalui identitas produk.</p>	<p>catatan yang sulit dimanipulasi. Evaluasi <i>prototype</i> melaporkan <i>average block execution time</i> = 201 ms dan <i>average block time</i> = 482 ms (uji beberapa skenario jumlah blok). Penulis menyimpulkan sistem bersifat <i>secure, scalable, customer-oriented</i>, dan <i>practical</i> untuk konteks pencegahan obat palsu. Mereka juga menekankan pemilihan <i>private blockchain</i> untuk menjaga kontrol akses dan keamanan data rantai pasok, serta menyarankan pengembangan lanjutan (mis. integrasi QR/penyempurnaan implementasi lapangan) agar lebih siap diterapkan secara operasional.</p>
<p>Turki, M. dkk., 2023 (Tunisia & Saudi Arabia)</p>	<p><i>NFT-IoT Pharma Chain: IoT Drug traceability system based on Blockchain and Non-Fungible Tokens (NFTs)</i></p>	<p>Pengembangan arsitektur + implementasi sistem: tokenisasi (NFT) sebagai identitas unik (<i>lot/asset</i>) → integrasi IoT (suhu, kelembapan, GPS) → penyimpanan <i>on-chain</i> untuk hash/metadana + <i>off-chain</i> terdesentralisasi untuk data besar → penerapan RBAC (<i>role-based access control</i>) → prototype (Raspberry + DHT11 + GPS) dan evaluasi termasuk optimasi untuk menurunkan gas <i>cost</i>.</p>	<p><i>Supply chain</i> obat <i>end-to-end</i>: mencatat kepemilikan, lokasi, kondisi pengiriman dan histori produk/lot; IoT menangkap data lingkungan selama transportasi, NFT menjaga identitas digital unik agar tidak mudah dipalsukan, sedangkan RBAC mengatur siapa yang boleh melihat/mengubah data.</p>	<p>Sistem memperluas <i>traceability</i> menjadi unit/lot <i>traceability</i> + <i>environmental traceability</i> (kondisi selama distribusi). Penggunaan NFT membuat identitas digital produk sulit diduplikasi, sedangkan integrasi IoT menghasilkan catatan kondisi pengiriman yang otomatis dan dapat diverifikasi. Studi melaporkan prototipe telah diimplementasikan serta menekankan optimasi arsitektur untuk menjaga keamanan sekaligus menekan biaya transaksi (gas).</p>

Vilas Boas dkk., 2025 (Brazil)	<i>Coldnet: Tracking Vaccine Logistics with IoT and Smart Contracts</i>	<i>Proof-of-concept/prototype cold-chain: integrasi IoT sensing (monitor suhu) → pencatatan event di blockchain melalui smart contract → evaluasi delay jaringan, block time, throughput, dan biaya gas untuk kelayakan operasional.</i>	Logistik vaksin (<i>cold chain</i>): aktor distribusi vaksin dan perangkat IoT untuk monitoring suhu; sistem merekam riwayat pengiriman + kondisi suhu sebagai audit trail (<i>immutability</i>) untuk kepatuhan <i>cold chain</i> .	Evaluasi menunjukkan sistem dapat berjalan dengan <i>network delay</i> 190 ms, <i>block time</i> 3 detik, dan <i>throughput</i> 100 TPS (indikasi proses pencatatan event cukup cepat). Studi juga memperkirakan biaya implementasi <i>blockchain</i> sebesar USD 0,0766 per batch, sehingga dinilai relatif terjangkau untuk skenario monitoring <i>cold chain</i> berbasis <i>batch</i> .
Famous dkk., 2025 (Banglades, Sweden, Germany)	<i>Secure and efficient drug supply chain management system: Leveraging polymorphic encryption, blockchain, and cloud storage integration</i>	Pengembangan model/arsitektur + implementasi smart contract (SCMapp) + eksperimen teknis. Smart contract dibangun dan diuji pada Ethereum (Remix IDE, Sepolia testnet via MetaMask), disertai performance analysis (gas cost & execution time) serta vulnerability risk analysis dan perbandingan dengan model lain	Objek kajian berupa data <i>supply chain</i> obat (data obat dan <i>supplier</i>) yang dikelola melalui <i>smart contract</i> : pencatatan data <i>on-chain</i> (Ethereum) dan penyimpanan data terenkripsi melalui <i>cloud/off-chain</i> (<i>on-chain</i> hanya pointer/hash). Menggunakan <i>polymorphic encryption</i> (kombinasi beberapa teknik) untuk meningkatkan privasi dan ketahanan terhadap manipulasi	Studi melaporkan peningkatan keamanan dan efisiensi melalui integrasi <i>blockchain cloud polymorphic encryption</i> . Hasil performa menunjukkan <i>Supplier Registration</i> 2 s, <i>Drug Data Encryption</i> 3 s (terlama karena <i>overhead</i> kriptografi), dan <i>Drug Data Decryption/Read</i> 0,5 s karena proses dekripsi dipindahkan <i>off-chain</i> sehingga mengurangi biaya dan latensi <i>on-chain</i> . Analisis risiko kerentanan menunjukkan sistem lebih kuat terhadap tampering, <i>man-in-the-middle</i> , Sybil, data <i>poisoning</i> , <i>replay attack</i> , serta lebih efisien dalam storage (<i>off-chain</i>) dibanding model yang menyimpan semua data <i>on-chain</i> .
Kutybayeva dkk., 2025 (Kazakhstan)	<i>Enhancing Pharmaceutical Supply Chain Transparency and Security with Blockchain and Big Data Integration</i>	Pengembangan model EBETPSCM (konseptual) + rencana/implementasi <i>prototipe</i> ; evaluasi eksperimen untuk kinerja sistem (<i>throughput</i> transaksi, latensi, <i>real-time processing</i>) dengan <i>Hyperledger Fabric</i> (<i>permissioned blockchain</i>) dan <i>Apache Hadoop</i> (big data analytics).	Objek kajian berupa operasi & data <i>supply chain</i> farmasi yang membutuhkan pemantauan <i>real-time</i> (mis. status inventori, pelacakan pesanan, kondisi lingkungan/temperatur, metrik kualitas) yang diproses dengan Hadoop dan dicatat/divalidasi melalui <i>Hyperledger Fabric</i> .	Studi melaporkan peningkatan <i>throughput</i> transaksi dibanding sistem tradisional dan penurunan latensi sehingga transaksi tervalidasi/terkonfirmasi lebih cepat; dampaknya mempercepat aliran informasi dan meningkatkan responsivitas <i>supply chain</i> . Selain itu, peningkatan keamanan & transparansi ditunjukkan pada skala 0–10 (<i>substantial improvements</i>). Integrasi <i>blockchain</i> + big data juga dinilai unggul pada <i>efficiency score</i> 92% (EBETPSCM tertinggi dibanding metode pembandingan dalam grafik).

Samundeswari dkk., 2023 (India)	<i>Supply Chain Management of Dual-Use Drugs using Blockchain</i>	<i>Proof-of-concept</i> / pengembangan sistem (DApp + <i>smart contract</i>) dan evaluasi teknis berbasis metrik <i>blockchain</i> (<i>gas used, block hash, block difficulty</i>)	Sistem <i>supply chain</i> obat “ <i>dual-use</i> ” dari manufaktur hingga pengguna akhir, berbasis <i>web platform</i> dengan <i>QR code</i> untuk akses informasi produk dan pelacakan <i>end-to-end</i> .	<i>Blockchain</i> diusulkan untuk meningkatkan transparansi, <i>traceability</i> , dan keamanan, serta menurunkan risiko <i>fraud/misuse</i> pada <i>supply chain dual-use drugs</i> . Mekanisme “terminasi” <i>supply chain</i> dilakukan melalui <i>secret code</i> yang dibagi manufaktur <i>end user</i> (hanya untuk <i>end-user</i> yang terorisasi), dimasukkan setelah scan QR, sehingga menutup rantai distribusi dan menekan risiko <i>diversion/counterfeit</i> .
Perumalsamy & Kaliyamurthy, 2023 (India)	<i>Leveraging Blockchain with Optimal Deep Learning-Based Drug Supply Chain Management for Pharmaceutical Industries</i>	Pengembangan metode BCODL-DSCMRS: (1) <i>blockchain Hyperledger Fabric</i> untuk manajemen & <i>tracking supply chain</i> obat, (2) modul <i>deep learning</i> (Hybrid <i>Deep Belief Network/HDBN</i>) untuk rekomendasi obat, dan (3) <i>Spotted Hyena Optimizer</i> (SHO) untuk optimasi <i>hyperparameter HDBN</i> ; diuji melalui simulasi/eksperimen komputasi.	Objek: proses <i>drug supply chain management</i> (<i>tracking/monitoring</i> lintas stakeholder) + <i>dataset drug reviews</i> untuk modul rekomendasi (UCI <i>open-access drug reviews database</i>).	Studi menyimpulkan <i>blockchain</i> memberi audit <i>trail immutable</i> untuk mencegah pemalsuan/ <i>forging</i> dan meningkatkan <i>tracking obat</i> . Pada modul rekomendasi, performa model sangat tinggi; pada <i>fase testing</i> dilaporkan akurasi sekitar 98,57% (juga <i>precision/recall/F-score/AUC</i> 98,57%). Selain itu, analisis DSCM menunjukkan metrik latensi & <i>throughput</i> meningkat seiring jumlah pengguna (disajikan dalam tabel/grafik), dan model yang diusulkan dinilai unggul dibanding pembanding dalam evaluasi mereka.
Munasinghe dkk., 2023 (Australia)	<i>Supply chain traceability and counterfeit detection of COVID-19 vaccines using novel blockchain-based Vacledger system</i>	Pengembangan framework/sistem (<i>proposed model</i>) berbasis <i>private-permissioned blockchain</i> (<i>Hyperledger Fabric</i>) + <i>smart contract</i> ; demonstrasi melalui use case & evaluasi (termasuk estimasi biaya transaksi/gas dan pembahasan performa/kompleksitas).	Sistem <i>supply chain</i> vaksin COVID-19 (<i>stakeholder</i> : pemerintah/regulator, perusahaan impor, penyedia bahan, manufaktur, pusat distribusi, distributor zona, RS/klinik/apotek, hingga pasien) sebagai konteks demonstrasi implementasi Vacledger.	<i>Vacledger</i> mengusulkan 4 <i>smart contract</i> (<i>compliance & border authorization</i> , registrasi vaksin, akumulasi stok, pelacakan lokasi) untuk <i>traceability</i> dan deteksi <i>counterfeit</i> ; aktivitas/transaksi tercatat permanen pada ledger yang <i>immutable</i> dan terhubung penyimpanan P2P; sistem mendukung pengelolaan distribusi lebih aman dan terkontrol.
Dash, S. dkk., 2024	<i>HCSRL: hyperledger</i>	<i>Proof-of-concept</i> (PoC) <i>blockchain</i> untuk <i>Supply</i>	Konteks <i>pharmaceutical product supply chain logistics</i> ,	Sistem SCRM <i>blockchain</i> memberi <i>tamper-proof & auditable trail</i> aktivitas

(India)	<i>composer system for reducing logistics losses in the pharmaceutical product supply chain using a blockchain-based approach</i>	<i>Chain Risk Management (SCRM): simulasi proses supply chain, melibatkan stakeholder & feedback, lalu uji performa pada beberapa skenario (beda jumlah organisasi & client) memakai beberapa Fabric networks; evaluasi performa menggunakan Hyperledger Caliper.</i>	termasuk <i>shipping raw material</i> ; melibatkan <i>multi-stakeholder</i> (manufaktur, distributor, wholesaler, retailer, end-user, transportasi).	(<i>supplier/manufacturer/distributor/transporter</i>) dan dinilai <i>scalable dengan latency & throughput</i> yang “ <i>acceptable</i> ” saat volume transaksi tinggi.
Bapatla dkk., 2024 Amerika Serikat (afiliasi: Univ. North Texas)	<i>PharmaChain 3.0: Efficient Tracking and Tracing of Drugs in Pharmaceutical Supply Chain Using Blockchain Integrated Product Serialization Mechanism</i>	Perancangan arsitektur + <i>proof-of-concept (Blockchain + penyimpanan terdistribusi + barcode)</i> . Dilakukan evaluasi/analisis fokus fungsi sistem, keamanan, biaya eksekusi, dan adaptabilitas.	Sistem rantai pasok farmasi multi-aktor (<i>manufacturer–distributor/wholesaler–3PL–regulatory agencies–consumer</i>) dengan pelacakan unit & lot melalui <i>smart contract</i> dan pemindaian <i>barcode</i> (Data Matrix untuk unit/GTIN; GS1-128 untuk lot/SSCC).	Mengusulkan PharmaChain 3.0 untuk mengatasi obat palsu dan meningkatkan <i>track & trace</i> melalui <i>digital twin</i> : alamat <i>smart contract</i> dipakai sebagai identitas unik GTIN (unit) dan SSCC (lot); menerapkan RBAC via <i>smart contract</i> dan <i>off-chain storage</i> (IPFS) untuk menekan beban data <i>on-chain</i> . Hasil evaluasi menyebut sistem mengikuti DSCSA/PDMA, analisis keamanan menunjukkan sistem cukup <i>robust</i> , dan biaya transaksi ada tetapi dapat ditekan (mis. <i>private blockchain</i>).
Aslam dkk., 2023 (Pakistan, Saudi Arabia, UK)	<i>Leveraging Ethereum Platform for Development of Efficient Tractability System in Pharmaceutical Supply Chain</i>	Pengembangan <i>framework/arsitektur + proof-of-concept sistem traceability</i> berbasis Ethereum (MSMACHain) menggunakan <i>smart contract + penyimpanan off-chain</i> ; dilakukan juga analisis efisiensi transaksi (<i>cost & execution</i>) dan <i>security analysis</i> .	Objek kajian: <i>supply chain farmasi multi-stakeholder</i> (proses <i>tracking & tracing</i> produk obat) dengan skenario implementasi pada perusahaan farmasi (MSMA) untuk mencegah produk palsu/ <i>substandard</i> .	MSMACHain (berbasis Ethereum) memanfaatkan <i>smart contracts</i> dan <i>decentralized off-chain storage</i> untuk <i>traceability</i> ; penulis menyimpulkan sistem efisien dari sisi biaya (gas) dan eksekusi transaksi serta memungkinkan pencatatan <i>event</i> otomatis yang dapat diakses <i>stakeholder</i> .
Sharma, P., & Ali,	<i>Enhancing Pharmaceutical</i>	<i>Qualitative content analysis</i> untuk menilai dampak	Konteks <i>pharmaceutical supply chain</i> di <i>smart hospital</i> ,	Implementasi menunjukkan peningkatan kecepatan/efisiensi transaksi; uji performa: <i>reaction</i>

S.S.A.S.A. 2024 (India).	<i>Supply Chains through Blockchain Technology on Hyperledger Fabric Implementation</i>	<i>blockchain</i> pada praktik <i>supply chain</i> dengan kerangka <i>transaction cost economics</i> ; lalu desain & implementasi sistem distribusi obat aman menggunakan <i>Hyperledger Fabric (smart hospital setting)</i> + uji performa.	fokus pada sistem distribusi obat yang aman dan transparan berbasis <i>Hyperledger Fabric</i> .	<i>time</i> hanya naik ± 20 ms pada 300 <i>users</i> dan <i>mean transaction processing rate</i> 120 transaksi/detik pada grup 300 <i>users</i> .
Jangir, S. dkk., 2019 (India)	<i>A Novel Framework for Pharmaceutical Supply Chain Management using Distributed Ledger and Smart Contracts</i>	Perancangan <i>framework</i> + pengembangan <i>smart contract</i> pada Ethereum (<i>Solidity</i>). Disertai pengujian eksperimental kecepatan transaksi (<i>execution time</i>) pada testbed Ethereum.	Konteks pharmaceutical <i>supply chain end-to-end</i> : raw material supplier \rightarrow manufacturer \rightarrow distributor \rightarrow retailer/hospital/pharmacy \rightarrow end user; melibatkan modul <i>quality checking</i> , <i>demand forecasting</i> , dan pencatatan transaksi pada <i>distributed ledger</i> .	<i>Framework</i> bertujuan meningkatkan <i>privacy</i> , <i>transparency</i> , <i>tracking & tracing</i> , <i>quality management</i> , <i>non-repudiation</i> , dan <i>demand – supply management</i> lewat <i>smart contract</i> di <i>blockchain</i> . Hasil uji: rata-rata eksekusi <i>supply aggregator</i> 6 detik (20 <i>suppliers</i>) dan <i>medicine purchase contract</i> 12,64 detik (20 <i>customers</i>).
Upadhyay dkk., 2023 (India)	<i>Investigating to detect the fake medicines using blockchain technology</i>	Pengembangan metode/sistem deteksi obat palsu berbasis <i>blockchain</i> (Ethereum + <i>smart contract</i>); <i>tracking lifecycle</i> obat (manufaktur–distribusi) dengan <i>decentralized ledger</i> ; efektivitas dievaluasi pada <i>simulated environment</i> + uji performa jaringan memakai <i>Hyperledger Caliper (throughput & latency)</i> .	Model <i>supply chain</i> multi-aktor: <i>Supplier</i> , <i>Transporter</i> , <i>Manufacturer</i> , <i>Wholesaler</i> , <i>Distributor</i> , <i>Pharmacist</i> , <i>Customer</i> , dengan <i>Drug Regulatory Authority (DRA)</i> sebagai pengelola/monitor sistem.	Verifikasi keaslian obat <i>real-time</i> di setiap titik <i>supply chain</i> membantu memastikan hanya obat asli sampai ke pasien. <i>Traceability end-to-end</i> melalui riwayat produk (mis. fungsi <i>getProductHistory</i>) \rightarrow memudahkan pelacakan jalur distribusi & identifikasi titik masuk <i>counterfeit</i> . <i>Tamper-proof</i> & transparansi: transaksi tercatat <i>immutable</i> , meningkatkan akuntabilitas & menekan manipulasi data. Otomatisasi via <i>smart contract</i> : mengurangi <i>error</i> , mempercepat proses verifikasi/transfer kepemilikan, dan mencegah distribusi obat palsu. Kelayakan performa (simulasi): pada 1000 transaksi tidak ada yang gagal (failed=0) dan throughput sekitar 7.6 – 8.6 TPS pada variasi <i>send rate</i> 20 – 200 TPS.
Bandhu	<i>Making drug</i>	Implementasi <i>blockchain</i>	Rantai pasok obat <i>multi-</i>	Menghasilkan sistem <i>end-to-end track-and-trace</i>

dkk., 2023 (India)	<i>supply chain secure traceable and efficient: a Blockchain and smart contract based implementation</i>	Ethereum berbasis <i>smart contract (Solidity)</i> + perancangan arsitektur DApp; diuji dengan analisis <i>gas cost</i> untuk beberapa fungsi transaksi.	<i>stakeholder: manufacturer – wholesaler – distributor – pharmacy – customer/patient.</i>	terdesentralisasi untuk meningkatkan transparansi dan <i>traceability</i> , memakai <i>immutability</i> (data tersimpan sebagai <i>hash</i> di <i>ledger</i>) serta <i>smart contract</i> agar transaksi/pertukaran kepemilikan berjalan otomatis tanpa perantara. Fitur pelacakan memungkinkan penelusuran riwayat kepemilikan & harga melalui <i>medicineId/QR code</i> . Studi juga melaporkan kelayakan biaya eksekusi (contoh: <i>overall gas cost</i> untuk <i>purchase medicine</i> \approx 229,607.5; <i>overall average gas cost</i> pembuatan akun \approx 198,027.2).
Ashkar, G.L. dkk., 2021 (Amerika Serikat)	<i>Evaluation of Decentralized Verifiable Credentials to Authenticate Authorized Trading Partners and Verify Drug Provenance</i>	<i>Original clinical research / pilot real-world: uji XATP (framework berbasis blockchain)</i> di apotek nyata menggunakan obat <i>genuine + barcode</i> sintesis; autentikasi identitas <i>trading partner</i> dengan <i>verifiable credentials</i> ; <i>backend</i> menggunakan <i>Hyperledger Fabric</i> .	2 dispenser (farmasi) + 3 <i>manufacturer</i> partisipan; tambahan 11 <i>manufacturer</i> acak (berdasarkan stok apotek). <i>Setting: UCLA Specialty Pharmacy</i> (Los Angeles).	Manfaat utama memungkinkan autentikasi <i>Authorized Trading Partner (ATP)</i> & verifikasi <i>provenance/keaslian</i> obat meski tanpa hubungan bisnis sebelumnya (mendukung kepatuhan DSCSA). Hasil uji menunjukkan 100% request berhasil dikirim ke <i>manufacturer</i> partisipan dan 88% ke <i>manufacturer</i> lain; akurasi <i>matching</i> data serialisasi sintesis 86% (<i>error</i> terutama faktor manusia). Semua <i>barcode</i> berhasil dipindai & 97% paket acak berhasil memunculkan <i>package insert</i> ; <i>recall</i> dan <i>expired drugs</i> berhasil di- <i>flag</i> . <i>Framework</i> juga mengurangi risiko <i>single-point-of-attack</i> karena pengguna memegang <i>private key</i> sendiri.
Chien, W. dkk., 2020 (Amerika Serikat)	<i>The Last Mile: DSCSA Solution Through Blockchain Technology: Drug Tracking, and Verification at the Last Mile of the</i>	<i>Pilot/Proof-of-concept (FDA DSCSA Pilot Project Program):</i> membangun sistem <i>blockchain BRUINchain</i> berbasis COTS untuk memenuhi objektif DSCSA di “ <i>last mile</i> ”; uji fungsi <i>scan 2D barcode</i> , <i>flag</i> kedaluwarsa, verifikasi ke manufaktur, dan	<i>Last mile</i> dispenser di UCLA <i>Health Pharmacy</i> (aliran: <i>pharmacist</i> \rightarrow <i>patient/clinic</i>) dan keterlibatan <i>manufacturer</i> untuk verifikasi; diuji pada alur nyata (<i>real data</i> , <i>real caregivers</i> , <i>real patients</i>) di salah satu <i>pharmacy</i> tersibuk di AS	Keuntungan utama: 100% sukses untuk <i>scanning</i> , deteksi kedaluwarsa, dan deteksi <i>counterfeit</i> , <i>paperwork</i> turun dari \pm 1 jam menjadi $<$ 1 menit (otomatisasi notifikasi & pelaporan) ; verifikasi langsung ke manufaktur + notifikasi produk suspek otomatis; estimasi biaya kepatuhan DSCSA \pm 17 <i>cents/unit</i> , berpotensi turun dengan adopsi <i>DLT end-to-end</i> (otomatis, <i>real-time</i>); <i>DLT</i> diproyeksikan menurunkan biaya per unit menjadi

	<i>Pharmaceutical Supply Chain with BRUINchain</i>	karantina produk suspek/ <i>ilegitim</i> . Sistem bertindak sebagai rekam transaksi <i>immutable, time-stamped, near-real-time</i> (± 50 ms latency) dan <i>auditable</i>		13 cents (hemat \$183 juta/tahun biaya tenaga kerja) serta mengurangi kebutuhan <i>safety stock</i> & memperkuat pencegahan transaksi <i>fraud/bad drugs</i>
Anitha P., & Srimathi C. 2021 (India)	<i>Blockchain based Lebesgue interpolated Gaussian secured information sharing for pharma supply chain</i>	Pengembangan metode LIC-IGL (<i>Lebesgue Integrable Consensus + Interpolated Gaussian Learning</i>) untuk <i>secure information sharing</i> : validasi blok memakai <i>Lebesgue Integrable Consensus (PoW)</i> lalu autentikasi memakai <i>Adaptive SVM</i> via <i>smart contracts</i> . Diuji melalui simulasi Python menggunakan <i>Pharma Sales Data</i> dataset dan membandingkan metrik <i>latency, authentication accuracy, false positive rate</i> .	Model <i>pharma-blockchain</i> dengan 3 blok utama: <i>manufacturer – distributor – reseller</i> , untuk distribusi & berbagi data produk farmasi secara aman antar <i>stakeholder</i> .	Manfaat utama untuk <i>supply chain</i> farmasi: Latensi lebih rendah saat validasi & berbagi informasi (contoh 500 produk: 125 ms vs 190 ms & 225 ms) dan dilaporkan turun 24% vs Ref[1] dan 38% vs Ref[2] ; Akurasi autentikasi meningkat (contoh 500 produk: 485 benar terotorisasi vs 475 & 460) sehingga memperkuat kontrol akses & mencegah aliran produk/data tidak sah; <i>False positive rate</i> lebih rendah (contoh 500 produk: 2.4% vs 3.2% & 3.8%) dan disebut turun 25% vs Ref serta 38% vs Ref membantu mengurangi kesalahan “produk salah masuk blok/aktor” saat distribusi.
Gruchmann, T. dkk., 2023 (Mesir)	<i>Blockchain technology in pharmaceutical supply chains: a transaction cost perspective</i>	<i>Single case study</i> berbasis <i>Transaction Cost Economics (TCE)</i> + wawancara semi-terstruktur 25 kali (apotek & karyawan perusahaan) + <i>qualitative content analysis</i> (termasuk analisis frekuensi kode).	1 perusahaan farmasi nasional besar di Mesir + triangulasi dengan wawancara pemilik apotek; perusahaan sudah memakai <i>prototype</i> aplikasi <i>blockchain</i> yang bisa diakses pelanggan/apotek untuk cek legitimasi obat melalui pemindaian tag pada kemasan.	<i>blockchain</i> memberi <i>visibility & control</i> lebih tinggi, informasi lebih akurat, koneksi lebih mudah dengan <i>partner, respons</i> lebih cepat pada <i>pola demand</i> , dan menurunkan <i>spoilage/kerusakan</i> obat. Dampaknya, <i>transaction costs</i> membaik: <i>contracting cost, processing cost</i> , dan <i>lead time</i> menurun, sekaligus membantu <i>safe delivery</i> obat. <i>Blockchain</i> juga meningkatkan tata kelola: memperkuat kolaborasi <i>supply chain & stakeholder</i> . Ringkasan efek yang diidentifikasi: integrasi <i>downstream</i> \rightarrow <i>forecast</i> lebih baik; <i>visibility & control upstream</i> \rightarrow mencegah

				<i>medication damage</i> ; menekan <i>counterfeiting</i> (dengan serialisasi pada kemasan); pelanggan dapat melacak status obat (mendukung keselamatan pasien).
D'souza, S. dkk., 2021 (India)	<i>Blockchain and AI in Pharmaceutical Supply Chain</i>	<i>Proof-of-concept</i> / pengembangan sistem: integrasi <i>blockchain</i> + AI untuk <i>supply chain</i> obat; membangun Rasa chatbot yang terintegrasi dengan aplikasi <i>Flutter</i> dan <i>DApp React</i> ; <i>smart contract</i> dijalankan pada <i>Ganache (local blockchain)</i> dan dihubungkan via <i>Web3.js & Truffle</i> ; mekanisme <i>event request-response</i> untuk transfer produk antar entitas terautentikasi.	Jaringan <i>supply chain</i> farmasi <i>multi-entitas</i> (mis. <i>manufacturer, distributor/supplier, customer/retailer/hospital</i>) dengan pencatatan transaksi perpindahan produk (termasuk bahan baku → manufaktur → transporter) pada <i>blockchain</i> .	meningkatkan transparansi, trust, dan integritas data (<i>immutable/tamper-proof</i>) sehingga memudahkan investigasi kecurangan & membantu mitigasi obat palsu. Produk dapat ditelusuri sampai sumbernya melalui <i>smart contract</i> . Fitur layanan: chatbot mendukung pemesanan dan <i>trace/verify (scan ID/address</i> obat untuk cek obat terverifikasi & lihat riwayat transaksi <i>supply chain</i> sampai bahan baku). Hasil uji teknis (<i>feasibility/performance</i>): biaya <i>deploy smart contract</i> (mis. <i>Supply Chain contract 0.10110712 ETH, dst</i>) ; rata-rata TPS 0.01 – 0.209 dan latency 0.01 – 1.07 detik pada <i>Ganache</i> . Penulis menyimpulkan solusi <i>feasible</i> dan relatif lebih aman dibanding sistem yang ada.
Musamih, A. dkk., 2021 (UEA/Abu Dhabi)	<i>A Blockchain-Based Approach for Drug Traceability in Healthcare Supply Chain</i>	<i>Proof-of-concept</i> / desain & implementasi sistem: arsitektur sistem <i>traceability</i> berbasis <i>Ethereum smart contract</i> + <i>DApp</i> , dengan penyimpanan <i>off-chain IPFS</i> ; dilengkapi pembahasan implementasi dan evaluasi (analisis biaya <i>gas</i> dan analisis keamanan).	<i>Stakeholders</i> : regulator (mis. <i>FDA, manufacturer, distributor, pharmacy, patient</i> ; objeknya <i>drug lot/box</i> dan transaksi perpindahan/penjualan dalam <i>supply chain</i> yang tercatat lewat <i>smart contract, log/event</i> , serta <i>IPFS hash</i> .	<i>Track & trace</i> + verifikasi keaslian (cek asal & memastikan tidak <i>counterfeit</i>) berbasis riwayat transaksi di <i>blockchain</i> . Integritas data lebih kuat: <i>data/off-chain</i> file dijaga dengan hash <i>IPFS</i> yang disimpan/diakses via <i>blockchain</i> ; perubahan akan terdeteksi lewat perubahan hash. Transparansi & <i>accountability: log/event</i> tersimpan di <i>ledger immutable</i> → memudahkan pelacakan transaksi. (4) Biaya eksekusi fungsi <i>smart contract</i> relatif rendah/minimal (berdasarkan konversi biaya <i>gas</i>).
Byreddy, M.R. 2025 (Amerika Serikat)	<i>Blockchain Integration in Pharmaceutical Supply Chain Management: An</i>	Analisis implementasi integrasi <i>SAP Blockchain</i> pada <i>supply chain</i> farmasi menggunakan ringkasan metrik kinerja	Implementasi <i>enterprise solution SAP</i> untuk <i>pharmaceutical supply chain</i> (verifikasi, <i>traceability, compliance</i>).	Integrasi <i>blockchain</i> meningkatkan kinerja <i>supply chain</i> farmasi terutama pada verifikasi dan efisiensi proses. Waktu verifikasi produk turun drastis dari ±3,5 jam menjadi ±4,3 menit (efisiensi verifikasi +98%). Peningkatan juga terjadi pada siklus

	<i>Analysis of SAP's Enterprise Solution</i>	proses/verifikasi.		verifikasi <i>batch</i> (dari 19% → 81%) dan pemrosesan autentikasi (dari 11% → 89%), disertai perbaikan efisiensi biaya operasional verifikasi (dari 34% → 66%) serta pemrosesan dokumentasi regulator/ <i>supply chain</i> (dari 24% → 76%). Dari sisi kepatuhan, persiapan audit menjadi lebih efisien (dari 31% → 69%) dan secara umum efisiensi proses operasional <i>supply chain</i> meningkat tajam (dari 9% → 91%), menunjukkan rantai pasok yang lebih cepat, transparan, dan <i>compliance-ready</i> .
Khan, M.A., dkk., 2025 (India)	<i>Digital Transformation in Pharmaceutical Supply Chains: Blockchain, AI, Engineering, and Legal Considerations</i>	<i>Mixed-method</i> : memakai <i>secondary data, case studies</i> , dan review dokumen regulasi untuk menilai dampak operasional & teknologi. Juga dijelaskan pendekatan audit teknologi (<i>blockchain/AI</i>), <i>audit engineering</i> , dan audit legal, serta kombinasi analisis kualitatif–kuantitatif.	Konteks pharmaceutical <i>supply chain multi-stakeholder (manufacturer, distributor, regulator, provider, pasien)</i> . Studi mengacu pada contoh implementasi & studi kasus	Transformasi digital yang menggabungkan <i>blockchain</i> + AI memberi peningkatan besar pada keamanan, visibilitas, dan efisiensi rantai pasok farmasi. Implementasi <i>blockchain</i> dilaporkan menurunkan prevalensi obat palsu dari 10–12% menjadi 3–4%, meningkatkan <i>traceability</i> dari <40% menjadi >85%, dan menaikkan kesiapan kepatuhan regulasi sekitar +45%; bahkan waktu pemrosesan transaksi berkurang dari 2–3 hari menjadi <4 jam. Dari sisi AI, akurasi peramalan permintaan meningkat (sekitar 70–75% menjadi 85–90%), <i>stockout/shortage</i> menurun sekitar 60%, dan <i>lead time</i> logistik dipersingkat sekitar 28%, sehingga distribusi lebih responsif dan risiko kekosongan stok lebih kecil. Secara <i>engineering</i> , integrasi <i>blockchain</i> dengan <i>cloud migration</i> meningkatkan skalabilitas sekitar 40% dan menurunkan <i>downtime</i> sekitar 50%, sementara adopsi standar GS1/RFID memperbaiki interoperabilitas hingga ±70%. Dari aspek legal, <i>blockchain/AI</i> membantu kepatuhan DSCSA/FMD, namun tetap ada tantangan pemenuhan penuh GDPR/HIPAA terkait privasi data lintas batas.
Mazher, N.,	<i>Blockchain and</i>	Studi eksperimental:	<i>Batch</i> produk farmasi diberi	Integrasi <i>blockchain+AI</i> meningkatkan keamanan

<p>& Azmat, H. 2024 (Pakistan)</p>	<p><i>AI for Transparency in Pharma Supply Chains</i></p>	<p>implementasi <i>blockchain-based tracking system</i> yang diintegrasikan dengan <i>AI-driven anomaly detection</i> untuk menilai efektivitas peningkatan transparansi <i>supply chain</i> farmasi.</p>	<p>identitas digital unik dan dicatat di <i>blockchain</i>; data transaksi dianalisis AI untuk mendeteksi ketidakwajaran/aktivitas mencurigakan sepanjang alur <i>supply chain</i>.</p>	<p>dan efisiensi <i>supply chain</i> farmasi: pencatatan <i>blockchain</i> memastikan keaslian tiap <i>batch</i> sehingga insiden obat palsu menurun, sementara AI mendeteksi anomali untuk mencegah fraud. Pada hasil eksperimen, AI berhasil mengidentifikasi 95% aktivitas <i>fraud</i>, dan efisiensi <i>supply chain</i> meningkat 30% karena <i>blockchain</i> mengurangi <i>paperwork</i> dan AI mengoptimasi logistik.</p>
<p>Shruthi K., Poornima A.S., 2024 (India)</p>	<p><i>An approach based on blockchain technology to confirm the counterfeit-free pharmaceutical supply chain</i></p>	<p>Pengembangan framework berbasis Ethereum (<i>blockchain</i>) + pembuatan <i>prototype</i> dan <i>evaluation study</i> untuk menilai kinerja sistem</p>	<p>Sistem <i>pharmaceutical supply chain</i> untuk memastikan obat bebas pemalsuan dan mendukung <i>cold-chain</i> distribution (mengarah pada keterlibatan <i>multi-stakeholder supply chain</i>)</p>	<p><i>average block time</i> 450 ms dan <i>average block execution time</i> 175 ms . <i>Framework</i> dinilai praktis, aman, skalabel, dan <i>customer-focused</i> dibanding sistem saat ini . Implikasi manfaat: mendukung <i>end-to-end traceability</i>, mengurangi <i>medicine counterfeiting</i>, dan meningkatkan kontrol suhu pada <i>cold chain</i> sehingga <i>supply chain</i> lebih terbuka, aman, dan efektif .</p>
<p>Zoughalian, K. dkk., 2022 (UK)</p>	<p><i>A Blockchain Secured Pharmaceutical Distribution System to Fight Counterfeiting</i></p>	<p><i>Proof-of-concept</i> / pengembangan <i>prototipe</i> sistem distribusi farmasi berbasis <i>blockchain</i> (private P2P), dengan <i>zero-knowledge proof</i> (ZKP) untuk verifikasi integritas data dan Markov model untuk menghitung <i>reputation score</i> node dalam pengambilan keputusan konsensus.</p>	<p>Sistem distribusi farmasi yang dimodelkan sebagai jaringan node (tiap node merepresentasikan entitas pada <i>supply chain</i>) dengan komunikasi antarnode terenkripsi RSA 2048-bit.</p>	<p>Prototipe menargetkan perbaikan keamanan & keandalan distribusi obat dengan menjaga kerahasiaan dan memastikan integritas data lewat ZKP serta meningkatkan kualitas keputusan konsensus lewat reputasi node (Markov), sehingga sistem menunjukkan perbaikan <i>confidentiality</i>, <i>integrity</i>, dan <i>availability</i>. Kinerja proses (efisiensi): waktu membuat 1 blok rata-rata $\pm 4,43$ detik (3 node) dan meningkat menjadi $\pm 9,52$ detik (5 node); konflik keputusan hanya berdampak minimal pada waktu pembuatan blok. Selain itu, enkripsi RSA digunakan untuk mencegah penyadapan/tampering (mitigasi risiko serangan seperti MITM), mendukung keamanan pertukaran data antar entitas <i>supply chain</i>.</p>
<p>Xie, W. dkk., 2019 (Amerika)</p>	<p><i>Simulation-Based Blockchain Design to Secure</i></p>	<p>Desain <i>permissioned blockchain</i> berbasis <i>two-layer QuarkChain</i> (<i>root chain</i> +</p>	<p>Rantai pasok biofarmasi global dengan partisipasi tetap: <i>manufacturer-transporter-</i></p>	<p>Kerangka <i>blockchain</i> yang diusulkan meningkatkan integritas & transparansi proses pengiriman serta melindungi produk dari pencurian, penyimpanan</p>

Serikat)	<i>Biopharmaceutical Supply Chain</i>	<i>shard chains</i>) dengan <i>smart contract reputation-based Proof-of-Authority (PoA)</i> , lalu diuji menggunakan <i>stochastic simulation</i> untuk memandu desain dan mengevaluasi kinerja keamanan & efisiensi.	<i>patient</i> ; transaksi memuat data pengiriman termasuk sensor <i>real-time</i> (waktu, lokasi, suhu) untuk mendukung <i>tracking</i> dan respons cepat.	suhu (<i>temperature diversion</i>), dan <i>counterfeiting</i> , sekaligus meningkatkan <i>reliability, efficiency</i> , dan <i>responsiveness supply chain</i> . Secara efisiensi, desain <i>two-layer + sharding</i> meningkatkan <i>throughput</i> transaksi dibanding <i>single chain</i> : rata-rata <i>throughput</i> 2.920 (<i>single chain</i>) naik menjadi 5.317 (2 <i>shards</i>) dan 24.949 (10 <i>shards</i>). Dari sisi keamanan, simulasi menunjukkan proporsi obat palsu yang mencapai pasien turun tajam: tanpa <i>blockchain</i> sekitar 30.45%, sementara pada <i>two-layer blockchain</i> (partial information) turun menjadi 0.20% (m=1) hingga 0.06% (m=5), dengan <i>trade-off</i> bahwa semakin besar <i>panel validator</i> maka keamanan meningkat tetapi <i>verification time</i> lebih lama.
Gupta, K. dkk., 2025 (India)	<i>Blockchain-Enabled Supply Chains for Pharmaceutical Products: A Multidisciplinary Approach to Engineering, Law, IT, and Business</i>	Kerangka eksperimental multidisiplin berbasis simulasi untuk menguji dampak <i>blockchain</i> pada proses <i>supply chain</i> . Menguji 4 algoritma: <i>PoA, PBFT, Smart Contract Verification Algorithm (SCVA)</i> , dan <i>Drug Traceability Hashing Algorithm (DTHA)</i> ; metrik uji: akurasi, <i>counterfeit detection rate, latency</i> , dan dampak <i>compliance</i> .	Skenario jaringan <i>supply chain</i> farmasi tersimulasi (<i>manufacturers-wholesalers-distributors-pharmacies-patients</i>) memakai dataset sintesis 5.000 transaksi ($\pm 10\%$ anomali: <i>counterfeit/tampering/pelanggaran compliance</i>) dan data IoT (suhu/kelembaban) untuk <i>cold chain</i> .	Model <i>blockchain</i> menunjukkan peningkatan kuat pada <i>traceability</i> , deteksi obat palsu, dan kepatuhan regulasi dibanding rantai pasok konvensional. Secara keseluruhan, model mencapai akurasi 98%, <i>counterfeit detection</i> 98,5%, <i>latency</i> $\pm 1,2$ detik, dan <i>regulatory compliance</i> 97%, yang menunjukkan <i>blockchain</i> mampu menyediakan jejak distribusi yang <i>immutable</i> , mempercepat penegakan kepatuhan, dan meningkatkan <i>trust</i> konsumen. Integrasi <i>smart contract</i> membantu verifikasi aturan <i>compliance</i> sebelum diterapkan (mengurangi risiko kontrak cacat), sementara <i>hashing traceability</i> mendukung autentikasi <i>batch</i> dan audit yang lebih cepat; IoT juga diposisikan untuk memperkuat monitoring <i>cold chain</i> .
Mars, R dkk., 2021 (Tunisia)	<i>Towards a Blockchain-based approach to fight drugs counterfeit</i>	<i>Proof-of-concept</i> / desain & implementasi prototipe: solusi berbasis <i>Ethereum blockchain</i> yang memanfaatkan <i>smart</i>	<i>Supply chain</i> farmasi multi-aktor: <i>Regulatory authority (DPM), manufacturer, distributor, pharmacies,</i>	Pendekatan ini membangun <i>end-to-end traceability</i> untuk menekan obat palsu, dengan mekanisme otorisasi aktor oleh regulator (DPM) dan pencatatan transaksi yang <i>immutable</i> ; data sensitif disimpan

		<p><i>contracts</i> dan <i>decentralized off-chain storage</i> (IPFS) untuk <i>traceability</i>; prototipe web memakai Vue.js, <i>blockchain</i> uji (<i>Truffle develop</i>) + Web3; disertai <i>testing & validation</i>, analisis biaya (<i>gas</i>) dan keamanan.</p>	<p><i>hospitals, doctors, patients.</i></p>	<p><i>off-chain</i> (IPFS) dan yang dicatat <i>on-chain</i> adalah hash IPFS sehingga privasi lebih terjaga. Sistem juga memasukkan aspek monitoring kondisi distribusi: saat distribusi, temperatur selama transport diverifikasi dan batch yang melewati ambang ditandai sehingga konsumen mendapat peringatan saat verifikasi. Dari sisi “<i>last-mile assurance</i>”, pasien dapat memverifikasi keaslian dengan nama obat + nomor <i>batch</i>; jika <i>genuine</i>, muncul riwayat lengkap (<i>manufacturer</i>, distributor, status/<i>handling</i> terkait temperatur, dan titik distribusi), sedangkan <i>batch</i> palsu tidak memiliki histori. Evaluasi biaya menunjukkan fungsi smart <i>contract</i> berbiaya relatif rendah; misalnya biaya tertinggi <i>Add distribution points to lots</i> \$2.86, sementara yang terendah <i>Remove access</i> \$0.12.</p>
<p>Naughton, B.D. & Akgul, E. , 2021 (United Kingdom; HIC)</p>	<p><i>Medicine quality in high-income countries: The obstacles to comparative prevalence studies</i></p>	<p>Analisis data sekunder / <i>case study</i> menggunakan UK <i>national medicine alert & recall</i> database: penelusuran data MHRA <i>alerts/recalls</i> + <i>company-led recalls</i> selama 2012–2020, dengan pencatatan variabel (tanggal, jenis <i>defect</i>, sediaan, jumlah <i>batch</i> terdampak, kelas <i>recall</i>, dll) dan aturan eksklusi.</p>	<p><i>Supply chain</i> farmasi legal di UK (konteks sistem kesehatan): kasus <i>substandard & falsified medicines</i> yang masuk ke rantai pasok resmi dan memicu <i>alert/recall</i>.</p>	<p>Di UK (HIC), masalah mutu obat dalam <i>supply chain</i> legal lebih sering berupa <i>substandard</i> dibanding <i>falsified</i>. Pada periode 2012–2020 terdapat 210 <i>alert/recall</i> dan 342 obat terdampak; 325 (95%) <i>substandard</i> dan 17 (5%) <i>falsified</i>, dengan rerata 17 <i>recall</i>/tahun (dan ~2 <i>falsified</i> <i>medicine</i>/tahun). <i>Defect substandard</i> paling sering terkait kontaminasi dan juga <i>defect delivery</i>/kemasan. Tantangan utama untuk analisis lintas negara/longitudinal di HIC adalah kurangnya data prevalensi yang bisa dibandingkan, karena data <i>recall</i> publik tidak mencantumkan jumlah <i>pack</i> terdampak per <i>batch</i>/negara sehingga sulit membentuk <i>numerator</i> untuk estimasi prevalensi.</p>
<p>Ozawa, S dkk., 2019 (DRC; LIC/LDC)</p>	<p><i>Modeling the Economic Impact of Substandard and Falsified</i></p>	<p>Pemodelan (<i>agent-based model/ABM</i>) untuk mensimulasikan perilaku <i>care-seeking</i> pasien dan proses</p>	<p>jalur akses obat meliputi fasilitas publik, praktik swasta, apotek/<i>drug store</i>, <i>street vendor</i>, dan</p>	<p>Studi menunjukkan masalah besar di LIC/LDC seperti DRC adalah tingginya dampak obat <i>substandard/falsified</i> dalam <i>supply chain</i> antimalaria: berkontribusi pada beban biaya malaria</p>

	<i>Antimalarials in the Democratic Republic of the Congo</i>	<i>supply chain</i> obat antimalaria, lalu menjalankan berbagai skenario intervensi (perbaikan kualitas obat, pengurangan <i>stockout</i> , edukasi <i>caregiver</i> , peningkatan akses layanan).	<i>self/neighbors</i> ; fokus pada kualitas ACT berkualitas vs <i>non-quality-assured</i> / <i>substandard-falsified</i> dan dampaknya pada luaran kesehatan & biaya.	tahunan yang signifikan (sekitar \$20,9 juta di Kinshasa dan \$130 juta di Katanga terkait SF antimalarials), meningkatkan rawat inap/kematian serta mendorong risiko resistensi artemisinin (yang dapat menaikkan biaya tahunan lebih lanjut). Dibanding intervensi yang hanya mengurangi <i>stockout</i> atau edukasi <i>caregiver</i> , mengganti obat SF menjadi obat berkualitas baik memberi dampak paling besar pada penurunan beban kesehatan dan ekonomi..
Butt, F.B dkk., 2025 (Pakistan; LMIC)	<i>A qualitative exploration of counterfeit, substandard, spurious, and adulterated drugs in Pakistan: A perspective of drug law experts</i>	Kualitatif (<i>phenomenology-based</i>): wawancara semi-terstruktur pada 11 <i>drug law experts</i> (<i>purposive sampling</i>), dianalisis dengan <i>framework analysis</i> hingga menghasilkan 7 tema.	<i>Drug law experts</i> (berpengalaman menangani kasus obat) di Punjab, Pakistan; konteksnya regulasi obat dan rantai pasok (<i>wholesaler-distributor-retail</i>) di provinsi dengan infrastruktur distribusi yang luas.	Studi menegaskan CSSA/SF <i>drugs</i> masih beredar di pasar dan mengidentifikasi akar masalah <i>supply chain</i> & tata kelola: kekurangan <i>legislasi/undue amendments</i> , kegagalan regulator dalam menafsirkan & mengimplementasikan hukum, penegakan hukum lemah, kinerja <i>suboptimal quality control boards, drug testing laboratories</i> , dan <i>courts</i> , serta peran <i>rogue middlemen/wholesalers</i> dan korupsi sebagai titik rawan infiltrasi obat bermasalah. Selain itu, rantai pasok digambarkan panjang dan kompleks (banyak transaksi bolak-balik) sehingga risiko obat bermasalah makin tinggi; di Pakistan kondisi diperparah oleh banyaknya level <i>wholesaler</i> tidak terotorisasi dan <i>regulatory oversight</i> /infrastruktur yang lemah. Temuan juga menunjukkan data pengujian rutin belum tentu mencerminkan prevalensi riil karena <i>sampling</i> tidak <i>risk-based random</i> , sehingga estimasi masalah dapat bias.
Leung, N-H.Z dkk., 2016 (Zambia Sub Saharan)	<i>The Impact of Inventory Management on Stock-Outs of Essential Drugs</i>	<i>Secondary analysis</i> dari <i>field experiment</i> 2009–2010 + pembangunan dan validasi model simulasi untuk mengevaluasi kebijakan	Data stok harian obat esensial <i>artemether-lumefantrine</i> (AL) di 145 fasilitas (2009–2010) dikumpulkan dari dokumentasi <i>stock card</i> (foto	Studi menunjukkan <i>stock-out</i> di tingkat fasilitas bisa terjadi walau stok masih tersedia di gudang nasional: pada Q1 2010, hingga 30% fasilitas mengalami <i>stock-out</i> salah satu produk AL, meskipun persediaan di tingkat pusat memadai.

Africa; LMIC)	<i>in Sub-Saharan Africa: Secondary Analysis of a Field Experiment in Zambia</i>	pengendalian persediaan serta skenario perubahan kebijakan yang mempengaruhi ketersediaan obat.	& transkripsi), ditambah data <i>lead time</i> distribusi dan hambatan akses fasilitas (mis. gangguan akses musiman).	Akar masalah utama bukan sekadar pengadaan, tetapi kebijakan <i>inventory control (max-min)</i> yang umum dipakai/ direkomendasikan: perhitungan kebutuhan berbasis rata-rata pemakaian bulan-bulan sebelumnya dan tidak menangkap variasi <i>lead time</i> , sehingga gagal mengantisipasi musiman demand dan keterlambatan distribusi (mis. musim hujan) → <i>stock-out</i> muncul di periode puncak kebutuhan.
Suda dkk., 2022 (Global; developed vs developing)	<i>The global impact of COVID-19 on drug purchases: A cross-sectional time series analysis</i>	<i>Cross-sectional time series analysis</i> ; model intervensi ARIMA (pulse pada Maret 2020) memakai data pembelian obat IQVIA MIDAS (Agustus 2014–Agustus 2020).	Data pembelian obat tingkat negara (<i>units/100</i> populasi) untuk semua obat & kelas WHO ATC1; dibandingkan menurut kelompok <i>developed vs developing</i> .	Terjadi lonjakan pembelian obat global pada Maret 2020 (indikasi <i>stockpiling</i>) menjadi 5309,3 <i>units/100</i> populasi (+15,1% vs Maret 2019). Peningkatan lebih besar di negara <i>developed</i> (+18,5%) dibanding <i>developing</i> (+12,8%). Setelah lonjakan, terjadi koreksi/penurunan pembelian global pada Apr–Agu 2020 (4,7% vs Apr–Agu 2019). Penulis menegaskan ada bukti <i>stockpiling</i> global, terutama di negara <i>developed</i> , dan menyoroti risiko ketimpangan: negara <i>developing</i> lebih rentan gangguan karena pasokan yang sudah terbatas dan kecenderungan produsen menjual ke negara yang lebih “ekonomis diuntungkan” sehingga diperlukan distribusi obat yang lebih adil melalui <i>drug supply chain</i> yang resilien untuk respons kejadian tak terduga (mis. pandemi).
Schiavetti, B. dkk., 2020 (LMICs/DR C)	<i>A simplified checklist for the visual inspection of finished pharmaceutical products: a way to empower frontline health workers in the</i>	Pengembangan alat skrining lapangan: menyederhanakan <i>checklist</i> inspeksi visual dari 68 pertanyaan (dipakai pada survei mutu obat di DRC) menjadi <i>checklist</i> 26 pertanyaan; dilakukan <i>pre-test</i> (Mei 2019) dengan apoteker & perawat di 5 RS di DRC, lalu	Frontline health workers di <i>point-of-care</i> (fasilitas pelayanan) di LMICs; objeknya <i>finished pharmaceutical products</i> yang berisiko <i>substandard/falsified</i> sampai ke “ <i>last mile</i> ” <i>supply chain</i> .	Artikel menekankan bahwa masalah utama di LMICs adalah <i>substandard & falsified medicines</i> yang bisa mencapai fasilitas layanan karena kelemahan <i>National Medicines Regulatory Authorities</i> (NMRAs) dan buruknya <i>traceability</i> di sepanjang <i>supply chain</i> ; WHO-GSMS memperkirakan sekitar 10,5% obat di LMICs bermutu buruk. Selain itu, banyak pedoman QA cenderung menarget <i>stakeholder “upstream”</i> dan

	<i>fight against poor-quality medicines</i>	revisi item.		tenaga spesialis, padahal di level layanan spesialis sering tidak tersedia membuat “last mile” rentan. Solusi yang diusulkan adalah <i>checklist</i> inspeksi visual 26 pertanyaan (tema: <i>packaging, identification, traceability, physical appearance</i>) dengan <i>risk scale</i> A–B–C untuk memandu tindakan cepat: (A) aman didispense, (B) <i>dispense</i> dengan penjelasan, (C) karantina & evaluasi <i>risk-benefit</i> . Basis urgensinya: pada survei sebelumnya di DRC, 75,5% sampel yang gagal uji lab juga menunjukkan ketidaksesuaian tampilan fisik, sehingga inspeksi visual dapat membantu sebagai skrining awal.
Cundell, T. dkk., 2020 (lintas negara)	<i>Controls to Minimize Disruption of the Pharmaceutical Supply Chain During the COVID-19 Pandemic</i>	<i>Narrative review / paper</i> rekomendasi + kerangka <i>risk assessment</i> (pendekatan HACCP) untuk mengidentifikasi risiko dan mitigasi pada berbagai titik <i>supply chain</i>	Sistem <i>pharmaceutical supply chain</i> (SDM, manufaktur & pengujian, pengemasan, gudang, <i>transport & distribusi</i>), termasuk kebutuhan kepatuhan GMP dan ketersediaan input (API/eksipien/kemasan)	Masalah utama yang memicu <i>drug shortage</i> /disrupsi: lonjakan <i>demand</i> global + gangguan <i>transport</i> memicu <i>shortage</i> obat; terjadi juga <i>shortage</i> <i>disinfektan/sanitizer & PPE</i> untuk memenuhi standar GMP . Disrupsi dipicu oleh keterbatasan bahan baku & <i>supplies, shutdown</i> transport, dan terutama <i>absenteeism</i> pekerja (infeksi/dugaan infeksi/ketakutan) ; penulis menekankan risiko terbesar <i>supply chain</i> adalah <i>absenteeism</i> , bukan kontaminasi produk . Disrupsi juga terkait hambatan perdagangan nasional & kendala pengiriman komponen/produk jadi.
Tadrous, M. dkk., 2024 (US vs Canada; HIC)	<i>Differences in Drug Shortages in the US and Canada</i>	<i>Longitudinal cross-sectional study</i> (Jan 2023–Mar 2024) memakai laporan “ <i>supply chain issues</i> ” periode 2017–2021 dari sistem pelaporan US & Canada; <i>shortage</i> diukur memakai data pembelian nasional IQVIA MIDAS (89% pembelian US; 100% Canada).	104 episode laporan masalah <i>supply chain</i> pada obat yang sama di kedua negara; <i>outcome</i> “ <i>meaningful drug shortage</i> ” didefinisikan sebagai penurunan $\geq 33\%$ pembelian unit bulanan dalam 12 bulan setelah laporan, dibanding rerata 6 bulan sebelum laporan.	Studi menunjukkan bahwa walau US dan Canada sama-sama HIC dengan standar regulasi serupa, laporan masalah <i>supply chain</i> lebih sering berujung <i>shortage</i> di US. Dari 104 laporan yang terjadi di kedua negara, 49% terkait <i>shortage</i> di US vs 34% di Canada (Canada 40% lebih kecil kemungkinan menjadi <i>shortage</i> ; <i>adjusted HR</i> 0,53). Temuan ini mengindikasikan perbedaan ketahanan (<i>resiliency</i>) <i>supply chain</i> dan respons kebijakan: Canada cenderung lebih “proaktif” dalam mitigasi,

				sementara di US pelaporan penyebab juga kurang standar (sebagian laporan “tanpa alasan/ <i>unspecified</i> ”). Faktor risiko penting di kedua negara adalah obat dengan <i>sole-source manufacturer</i> (risiko <i>shortage</i> 2,6x lebih tinggi).
Faiva, E., dkk. 2021. (Nigeria; LMIC)	<i>Drug supply shortage in Nigeria during COVID-19: efforts and challenges</i>	<i>Commentary</i> / analisis naratif berbasis telaah situasi dan faktor penyebab <i>shortage</i> obat selama pandemi.	Sistem <i>supply chain</i> farmasi Nigeria selama COVID-19; konteks ketahanan pasokan obat esensial dan produk kesehatan.	Nigeria sangat rentan terhadap <i>drug shortage</i> karena produksi lokal terbatas dan sekitar 70% pasokan obat bergantung pada impor, sehingga saat pandemi muncul kesenjangan <i>supply demand</i> yang besar. Penyebab <i>shortage</i> bersifat kumulatif: <i>lockdown</i> global, penurunan manufaktur, urusan regulasi tidak tertangani, akses sumber daya yang buruk pada populasi, tidak adanya <i>buffer stock</i> , instabilitas keamanan, serta pendanaan sistem kesehatan yang lemah. Artikel juga menyoroti kelemahan struktural lama (sejak kebijakan obat nasional): ketergantungan pada sumber luar untuk produk jadi & bahan baku, logistik penyimpanan/transport/distribusi yang tidak efisien, praktik seleksi-pengadaan yang buruk, keterlibatan pihak tidak kompeten, dan penegakan terhadap obat palsu/ <i>substandard</i> yang belum optimal.
Uwizeyimana, T. dkk., 2021 (Rwanda; LIC/LDC)	<i>Drug supply situation in Rwanda during COVID-19: issues, efforts and challenges</i>	<i>Commentary</i> / analisis naratif yang memaparkan situasi <i>supply chain</i> obat Rwanda selama COVID-19, disertai uraian struktur sistem <i>supply chain</i> publik-swasta serta upaya mitigasi & tantangan.	Sistem <i>supply chain</i> obat Rwanda (sektor publik melalui MPPD/RBC & <i>district pharmacies</i> , serta sektor swasta melalui <i>wholesaler/importir</i> dan <i>community pharmacies/klinik</i>). Fokus pada ketersediaan obat & komoditas kesehatan selama pandemi.	Rwanda sangat bergantung pada impor obat; saat pandemi, sistem pasokan terganggu sehingga banyak apotek hingga <i>medical stores</i> mengalami <i>stock-out</i> akibat pembatasan impor dan panic buying. Ketergantungan impor (terutama dari negara pemasok besar seperti China/India) membuat <i>supply chain</i> rentan saat terjadi pembatasan ekspor dan gangguan akses bahan baku; ketiadaan produsen lokal yang memadai menyebabkan gap pasokan sulit ditutup. Pemerintah melakukan mitigasi lewat koordinasi multisektor, pembatasan pembelian per orang, dukungan

				produksi lokal untuk kebutuhan respons COVID-19 (PPE/sanitizer), serta pengawasan harga. Namun tantangan tetap: investment gap di sektor manufaktur farmasi, <i>skills gap</i> formulasi/produk, dan tekanan pasar (kenaikan harga, kompetisi farmasi baru).
Lucero - Prisno III dkk., 2020 (Sudan; LMIC)	<i>Drug shortage crisis in Sudan in times of COVID-19</i>	<i>Commentary</i> / analisis naratif (mengulas akar masalah <i>shortage obat &</i> komoditas kesehatan selama COVID-19 serta rekomendasi kebijakan).	Sistem <i>supply chain</i> obat Sudan (sektor publik & privat). Pengadaan publik melalui <i>National Medical Supply Fund</i> (NMSF); distribusi <i>privat</i> melalui manufaktur lokal dan impor.	Sudan mengalami krisis <i>shortage</i> obat, obat-obatan, dan <i>medical supplies</i> yang menghambat layanan kesehatan darurat. Akar masalah <i>supply chain</i> bersifat terakumulasi: kondisi ekonomi memburuk, kebijakan harga yang tidak tepat, privatisasi sektor farmasi, lemahnya manufaktur lokal, serta sistem regulasi yang lemah. Kerentanan utama adalah ketergantungan tinggi pada impor dengan kapasitas produksi lokal sangat kecil: pangsa manufaktur lokal untuk obat esensial hanya 5%, banyak pabrik berhenti karena akses bahan baku terbatas; dari 27 pabrik yang mencakup ~45% konsumsi nasional, hanya 19 yang beroperasi dan itu pun sekitar setengah kapasitas. Dari sisi struktur pasar, nilai pasar farmasi sekitar US\$650 juta dengan porsi publik 24% dan privat 76%. Krisis semakin berat saat pandemi: fasilitas publik dilaporkan bisa menjadi tidak fungsional karena kekurangan obat esensial, <i>supplies</i> , dan PPE. Penyebab ekonomi yang memperparah <i>shortage</i> mencakup inflasi (mencapai 114% pada Mei 2020) dan keterbatasan devisa; bank sentral disebut tidak mampu menyediakan US\$55 juta untuk impor obat esensial. Masalah kontrol harga juga menonjol: regulator (NMPB) dinilai tidak mampu mengendalikan harga; 23% obat impor tertentu bisa 10× harga referensi internasional, dan harga obat dari <i>central medical supplies</i> disebut hampir 2×

				harga yang ditetapkan agensi. Artikel menutup dengan rekomendasi kebijakan: perlu langkah cepat untuk menjamin akses komoditas kesehatan, serta penetapan kebijakan yang efektif terkait impor, produksi, penetapan harga, dan distribusi agar krisis <i>shortage</i> tidak berulang.
Jifar, W.W. dkk., 2022 (Ethiopia; LIC/LDC)	<i>The Impact of COVID-19 on Pharmaceutical Shortages and Supply Disruptions for Non-Communicable Diseases Among Public Hospitals of South West, Oromia, Ethiopia</i>	<i>Multi-institutional descriptive cross-sectional</i> , metode kuantitatif + kualitatif (concurrent). Data dari gudang RS, dispensing, pasien, dan otoritas kesehatan lokal (Maret 2021).	4 RS publik di Ilu-Ababor & Buno-Bedelle Zones (Oromia). Fokus pada obat esensial untuk NCD (kardiovaskular, diabetes, asma, epilepsi) dan proses pengadaan/distribusi melalui pemasok pemerintah (hub).	Selama COVID-19, terjadi <i>shortage & supply disruption</i> obat NCD di RS publik: tantangan utama saat pengadaan adalah ketersediaan stok di lembaga pemasok (PFSA/EPHA hub) dan kendala transportasi akibat pandemi/ <i>lockdown</i> . Dampaknya terlihat pada durasi <i>stock-out</i> yang panjang untuk sebagian obat misalnya obat kardiovaskular dilaporkan bisa <i>stock-out</i> >90 hari, sementara obat anti-asma cenderung lebih singkat (mis. <40 hari). Studi juga menemukan masalah internal yang memperburuk ketersediaan: praktik <i>inventory management</i> yang kurang baik, kekurangan tenaga farmasi, serta defisit anggaran sehingga fasilitas kesulitan merespons lonjakan kebutuhan dan gangguan pasokan.

4.1.1 Distribusi Negara

Tabel berikut menggambarkan distribusi negara atau wilayah tempat penelitian dilakukan.

Tabel 4. 2 Distribusi Negara Penelitian

Negara / Wilayah	Jumlah Studi	Persentase (%)	Kategori Negara (<i>Income Group</i>)
India	15	34,1	LMIC (<i>Lower-middle income</i>)
China	5	11,4	UMIC (<i>Upper-middle income</i>)
Indonesia	1	2,3	UMIC (<i>Upper-middle income</i>)
Bangladesh	2	4,5	LMIC (<i>Lower-middle income</i>)
AS / Eropa (Swiss, UK)	4	9,1	HIC (<i>High income</i>)
Multinasional	7	15,9	Campuran (<i>multi income</i>)
Arab Saudi	2	4,5	HIC (<i>High income</i>)
Tunisia	2	4,5	LMIC (<i>Lower-middle income</i>)
Brazil	1	2,3	UMIC (<i>Upper-middle income</i>)
Pakistan	1	2,3	LMIC (<i>Lower-middle income</i>)
Kazakhstan	1	2,3	UMIC (<i>Upper-middle income</i>)
Mesir	1	2,3	LMIC (<i>Lower-middle income</i>)
Finland–China	1	2,3	Campuran (HIC + UMIC)
Total	44	100	-

Berdasarkan tabel 4.2, distribusi geografis 44 studi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi menunjukkan dominasi Asia, terutama India dan China yang menyumbang hampir 45% dari total publikasi. Kedua negara ini fokus pada *traceability*, verifikasi, dan pencegahan obat palsu. Negara-negara Amerika Serikat dan Eropa (sekitar 9%) lebih menekankan pada kepatuhan regulasi dan *audit trail*, seperti DSCSA dan GDP.

Negara seperti Arab Saudi dan Tunisia mengintegrasikan *blockchain* dengan IoT dan NFT untuk pelacakan dan autentikasi *real-time*. Negara berkembang seperti Bangladesh, Brasil, Pakistan, dan Indonesia masih fokus pada *proof-of-concept* untuk mengatasi transparansi data, keterlambatan pelaporan stok, dan obat palsu. Selain studi negara tunggal, ada juga penelitian multinasional yang merancang sistem *blockchain* untuk *supply chain* global/regional, terutama setelah pandemi covid-19, dengan peningkatan kolaborasi lintas negara.

4.1.3 *Setting* atau Konteks Penelitian

Tabel berikut menggambarkan distribusi *setting* atau konteks penelitian

Tabel 4. 3 *Setting* atau konteks penelitian

Setting / Konteks	Jumlah Studi	Persentase (%)
Rantai pasok farmasi umum (produsen – distributor – apotek/pasien)	26	59,1
<i>Cold chain</i> / vaksin / produk suhu sensitif	4	9,1
Fasilitas pelayanan kesehatan (RS, apotek, Puskesmas, farmasi spesialis)	5	11,4
Industri farmasi / manufaktur dan distribusi bahan baku	6	13,6
Lainnya (logistik umum, regulasi, <i>multi-echelon</i> /ekonomi sirkular)	3	6,8
Total	44	100

Mayoritas penelitian (59,1%) berfokus pada rantai pasok farmasi umum, dengan penekanan pada *traceability* dan pencegahan obat palsu. Sementara itu, *cold-chain* (9,1%) menjadi bidang yang berkembang, dengan integrasi *blockchain* dan sensor suhu IoT untuk menjaga stabilitas produk vaksin. Penelitian pada fasilitas kesehatan (11,4%) mulai berkembang, dengan contoh di Puskesmas Indonesia dan UCLA *Health* yang fokus pada verifikasi produk dan *recall* otomatis. Penelitian di industri manufaktur (13,6%) lebih mengarah pada efisiensi internal dan audit rantai pasok. Kategori lainnya (6,8%) mengkaji logistik *multi-echelon* dan ekonomi sirkular. Secara keseluruhan, implementasi *blockchain* mencakup seluruh rantai pasok farmasi, dengan fokus utama pada *traceability* dan *counterfeit prevention*.

4.2. Profil *Supply Chain* Farmasi Berdasarkan Kelompok Pendapatan Negara

Berdasarkan hasil SLR, terpilih 12 artikel yang menggambarkan kondisi dan tantangan *supply chain* farmasi di berbagai negara/kawasan, lalu dipetakan menurut klasifikasi pendapatan *World Bank*. HICs mewakili negara berpendapatan tinggi; UMICs–LMICs diposisikan sebagai spektrum negara berkembang; sedangkan LICs merepresentasikan negara dengan kapasitas sistem kesehatan dan ekonomi paling terbatas. Isu utama yang dibahas meliputi *drug shortages/stock-out*, ketergantungan impor, keterbatasan produksi lokal, distribusi dan logistik (termasuk *cold chain*), peredaran obat *substandard/falsified*, kelemahan sistem informasi dan *traceability*, serta tata kelola pengadaan. Profil per kelompok negara disajikan pada tabel berikut.

Tabel 4. 4 Profil masalah pada masing-masing kelompok negara

Profil masalah	HICs	UMICs/LMICs	LICs
<i>Supply Chain</i> Bahan baku / API	Amerika Serikat, Kanada, negara Eropa Barat: ketergantungan impor API dari produsen tertentu (China, India); rentan terhadap gangguan pasokan global meskipun memiliki kapasitas mitigasi (Suda dkk., 2022; Tadrous dkk., 2024).	Nigeria, Rwanda, India: ketergantungan impor API tinggi; fluktuasi harga; keterlambatan pengadaan; keterbatasan pengendalian mutu API (Faiva dkk., 2021; Uwizeyimana dkk., 2021).	Ethiopia, DR Congo, Zambia: akses API sangat terbatas; ketergantungan bantuan eksternal; risiko API bermutu rendah (Lucero-Prisno dkk., 2021).
Produksi / Manufaktur	AS, Kanada, Uni Eropa: produksi terkonsentrasi pada sedikit fasilitas global; gangguan satu produsen memicu shortage luas (Suda dkk., 2022).	Nigeria, Rwanda, India: kapasitas manufaktur terbatas; ketergantungan API impor; kesenjangan teknologi dan SDM (Faiva dkk., 2021).	Ethiopia, DR Congo: produksi lokal sangat terbatas atau tidak tersedia; hampir seluruh obat berasal dari impor (Uwizeyimana dkk., 2021).
Penyimpanan (Gudang & Cold Chain)	AS, negara Eropa: sistem penyimpanan relatif baik namun kompleks; risiko gangguan saat krisis dan recall (Cundell dkk., 2020).	Zambia, Nigeria: kepatuhan penyimpanan dan <i>cold chain</i> tidak merata, terutama di fasilitas perifer (Leung dkk., 2016).	Ethiopia, DR Congo: fasilitas penyimpanan sangat terbatas; <i>cold chain</i> sering tidak tersedia; risiko kerusakan obat tinggi (Jifar dkk., 2022).
Distributor (PBF / Wholesaler)	AS, Kanada: pengawasan ketat tetapi tetap menghadapi risiko <i>shortage</i> akibat kebijakan dan struktur pasar lintas negara (Tadrous dkk., 2024).	Nigeria, Rwanda: dokumentasi dan <i>traceability</i> lemah; celah masuk obat ilegal ke jalur legal (Faiva dkk., 2021).	DR Congo, Ethiopia: distribusi informal dominan; pengawasan minimal; peredaran obat substandard/ <i>falsified</i> tinggi (Ozawa dkk., 2019).
Fasilitas Pelayanan (Apotek, RS, Klinik)	AS, Kanada: terdampak <i>shortage</i> dan <i>recall</i> ; substitusi terapi dan peningkatan beban kerja tenaga kesehatan (Tadrous dkk., 2024).	Nigeria, Rwanda: <i>stock-out</i> obat esensial sering terjadi; pencatatan manual; keterbatasan verifikasi mutu obat (Faiva dkk., 2021).	Ethiopia: ketersediaan obat tidak stabil; fasilitas sering menjadi titik akhir masuknya obat bermutu rendah ke pasien (Jifar dkk., 2022).
Pasien / Konsumen Akhir	HICs (AS, Kanada): akses obat relatif baik; dampak utama berupa keterlambatan terapi dan kenaikan harga (Suda dkk., 2022).	UMICs/LMICs (Nigeria, Rwanda): akses tidak merata; pasien berisiko menerima obat kurang efektif atau substandard (Faiva dkk., 2021).	LICs (DR Congo, Ethiopia): paparan obat substandard/ <i>falsified</i> tinggi dengan dampak signifikan terhadap mortalitas dan beban ekonomi (Ozawa dkk., 2019).
Sistem informasi & data lintas	Sistem digital tersedia namun terfragmentasi antar institusi;	Digitalisasi parsial; data silo antar aktor; pelaporan tidak	Sistem informasi manual atau sangat terbatas; visibilitas

rantai pasok	interoperabilitas rendah; keterbatasan visibilitas stok dan alur produk <i>end-to-end</i> (Naughton & Akgul, 2021; Tadrous dkk., 2024; Cundell dkk., 2020).	konsisten dan rawan manipulasi dokumen (Faiva dkk., 2021; Butt dkk., 2025; Uwizeyimana dkk., 2021).	data sangat rendah; ketergantungan pada pelaporan manual di fasilitas dan gudang (Jifar dkk., 2022; Leung dkk., 2016; Ozawa dkk., 2019).
--------------	---	---	--

4.3 Karakteristik dan Efektivitas *Blockchain*

4.3.1 Jenis *Blockchain* dan Platform yang Digunakan

Tabel berikut menunjukkan distribusi jenis jaringan *blockchain* yang digunakan dalam penelitian

Tabel 4. 5 Jenis jaringan *blockchain* yang digunakan

Jenis Jaringan	Jumlah Studi	Persentase (%)
<i>Permissioned / Private</i>	28	63,6
<i>Public / Testnet</i> (Ethereum, Sepolia, Rinkeby, Ropsten, Shimmer)	11	25,0
<i>Consortium / Hybrid</i> (gabungan publik–privat)	5	11,4
Total	44	100

Hasil review menunjukkan bahwa mayoritas penelitian (63,6%) menggunakan *blockchain permissioned/private*, dengan *Hyperledger Fabric* sebagai platform utama, yang sesuai dengan kebutuhan *supply chain* farmasi yang memerlukan kontrol akses ketat dan privasi data. Jaringan *permissioned* memungkinkan hanya aktor tertentu yang dapat menjadi validator transaksi, mengurangi risiko kebocoran data dan mempermudah audit.

Sekitar 25% studi menggunakan jaringan publik seperti Ethereum untuk uji performa teknis dan simulasi, meskipun ada kendala biaya gas dan latensi tinggi untuk implementasi di farmasi yang sangat regulatif. Sekitar 11,4% menggunakan model *hybrid/consortium* yang menggabungkan keunggulan jaringan *privat* dan publik, memperkuat *traceability* dan interoperabilitas. Secara keseluruhan, *blockchain permissioned* lebih banyak digunakan untuk kasus nyata di farmasi, sementara *blockchain publik* dan *hybrid* lebih sering digunakan dalam riset dan pengujian.

Tabel 4. 6 Platform *blockchain* yang digunakan

Platform	Jumlah Studi	Persentase (%)
<i>Hyperledger Fabric / Composer</i>	16	36,4
Ethereum (Solidity, Truffle, Ganache, MetaMask)	18	40,9
Sawtooth / QuarkChain / SAP / IOTA / Lainnya	10	22,7
Total	44	100

Analisis platform menunjukkan bahwa Ethereum (40,9%) dan *Hyperledger Fabric* (36,4%) adalah dua platform dominan dalam penelitian *blockchain*. Ethereum banyak digunakan untuk *proof-of-concept* dan simulasi transaksi, namun memiliki kendala terkait biaya gas dan privasi. Sementara itu, *Hyperledger Fabric* lebih populer dalam konteks *enterprise*, dengan kemampuan tinggi dalam *throughput*, latensi rendah, dan privasi data yang lebih baik. Platform lain seperti *Sawtooth*, *SAP Blockchain*, dan *IOTA Shimmer* (22,7%) digunakan untuk eksperimen teknis dan integrasi IoT. Secara keseluruhan, riset bergerak dari fase uji coba Ethereum (2019-2021) menuju implementasi industri dengan *Hyperledger Fabric* (2022-2024), dan integrasi lintas platform pada 2025.

4.2.2 Fitur Teknologi *Blockchain* yang Digunakan

Berdasarkan 44 studi yang dianalisis, sebagian besar penelitian mengombinasikan *blockchain* dengan berbagai fitur teknologi pendukung untuk meningkatkan kinerja *supply chain* farmasi

Tabel 4. 7 fitur teknologi *blockchain* yang digunakan

Fitur Teknologi	Jumlah Studi	Persentase (%)
<i>Smart Contracts</i> (kontrak pintar)	41	93.2
Serialisasi / QR / GS1 Barcode	29	65.9
<i>Internet of Things</i> (IoT: sensor suhu, GPS, RFID, NFC)	15	34.1
Integrasi Cloud, AI, Big Data, atau NFT	9	20.5
Total Studi (n = 44)	—	—

Berdasarkan 44 studi yang dianalisis, *smart contracts* merupakan fitur paling dominan dan digunakan pada sekitar 93% penelitian. Kontrak pintar berfungsi untuk mengotomatiskan validasi transaksi, otorisasi antar aktor, perubahan kepemilikan, serta pemicu kejadian seperti *drug recall*, tanpa intervensi manual. Berbagai implementasi menunjukkan bahwa *smart contracts* menjadi komponen inti dalam sistem *blockchain* farmasi karena mendukung otomatisasi, *immutability*, dan *trustless verification* pada distribusi obat. Selain itu, sekitar 66% studi mengintegrasikan serialisasi produk (QR code, GS1 DataMatrix, atau ePedigree) yang ditautkan ke *blockchain*. Serialisasi memberikan identitas unik pada unit atau batch obat sehingga memungkinkan verifikasi keaslian dan pelacakan *end-to-end* dari produsen hingga pasien, serta mendukung kepatuhan terhadap regulasi distribusi obat seperti CDOB/GDP dan DSCSA. Sekitar 34% penelitian mengombinasikan *blockchain* dengan *Internet of*

Things (IoT), terutama sensor suhu, kelembapan, dan lokasi, untuk pemantauan *cold chain*. Integrasi ini memungkinkan pencatatan kondisi lingkungan secara *real-time* ke dalam ledger, sehingga *blockchain* tidak hanya berfungsi sebagai sistem pencatatan administratif, tetapi juga sebagai alat kontrol mutu berbasis data sensorik. Sebagian studi ($\pm 20\%$) mengintegrasikan *blockchain* dengan teknologi lain seperti *cloud computing*, big data, AI, dan NFT. Integrasi ini memperluas peran *blockchain* dari sekadar ledger menjadi sistem analitik dan prediktif, misalnya untuk analisis logistik, prediksi permintaan, deteksi anomali, dan representasi digital unik tiap *batch* obat.

4.2.3 Indikator Efektivitas Blockchain

4.2.3.1 Traceability Lead Time

Traceability lead time didefinisikan sebagai waktu yang dibutuhkan sistem untuk menelusuri kembali asal dan riwayat pergerakan obat (misalnya *batch* tertentu) di sepanjang rantai pasok, sejak permintaan penelusuran dilakukan sampai informasi riwayat tersebut tersedia secara lengkap. Indikator ini sangat relevan dengan efektivitas *blockchain*, karena salah satu klaim utama teknologi ini adalah kemampuan menyediakan jejak audit (*audit trail*) yang cepat dan *real-time*. Berdasarkan analisis terhadap 44 studi yang mengkaji penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, 42 studi ($\pm 95,5\%$) melaporkan bahwa penerapan *blockchain* berasosiasi dengan penurunan *traceability lead time* (pelacakan lebih cepat). Satu studi menunjukkan hasil campuran (waktu tetap rendah tetapi meningkat ketika beban pengguna tinggi), dan satu studi menunjukkan waktu proses yang lebih lama akibat desain sistem dan mekanisme konsensus yang kurang optimal.

Tabel 4. 8 Studi dengan data kuantitatif *pre-post Traceability Lead Time*

Studi	Indikator yang diukur	Nilai sebelum (tanpa blockchain)	Nilai sesudah (dengan blockchain)	Perubahan
Maheswar Reddy Byreddy	Verification time	$\pm 3,5$ jam	$\pm 4,3$ menit	98% waktu verifikasi
Arsh Khan	Transaction processing time	2–3 hari	< 4 jam	80% waktu proses

Berdasarkan tabel bukti kuantitatif sebelum – sesudah menunjukkan penurunan *traceability lead time* yang sangat besar setelah penerapan *blockchain*.

Byreddy (2025) melaporkan waktu verifikasi produk/*batch* turun dari sekitar $\pm 3,5$ jam menjadi $\pm 4,3$ menit (penurunan siklus verifikasi $\pm 81\%$), menandakan proses verifikasi menjadi lebih cepat sekaligus lebih ringkas. Temuan serupa muncul pada konteks kepatuhan DSCSA, ketika Khan dkk. (2025) menemukan waktu pemrosesan transaksi menurun dari $\pm 2-3$ hari menjadi < 4 jam dan pada saat yang sama *traceability end-to-end* meningkat dari $< 40\%$ menjadi $> 85\%$. Sejumlah studi teknis juga melaporkan indikator latensi yang mendukung percepatan proses, misalnya perbaikan latensi protokol konsensus tertentu dan kinerja transaksi pada platform seperti *Hyperledger Fabric* pada rentang detik/milidetik pada skenario pengujian.

4.2.3.2 Recall Time

Recall time dipahami sebagai rentang waktu sejak suatu obat dinyatakan harus ditarik sampai obat tersebut benar-benar tidak lagi beredar di rantai pasok (sudah kembali ke produsen atau dinyatakan tidak tersedia di fasilitas distribusi dan pelayanan). Berdasarkan 44 studi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, tidak ada satu pun yang secara eksplisit melaporkan *recall time* dalam bentuk angka sebelum – sesudah (misalnya dari 7 hari menjadi 2 hari setelah pakai *blockchain*). Bukti yang tersedia terbagi menjadi tiga bentuk: (1) model matematis yang memasukkan *recall time* sebagai variabel, (2) pengukuran kinerja sistem (latensi, waktu respon) sebagai proksi teknis *recall*, dan (3) penjelasan naratif bahwa proses *recall* menjadi lebih cepat dan lebih tepat sasaran setelah menggunakan *blockchain*.

Agrawal dkk. (2022) melaporkan *recall* bukan dari sisi data lapangan, tetapi melalui model jaringan distribusi dan *recall* berbasis Hyperledger. Dalam model ini, *recall time* dibagi menjadi komponen waktu dari apotek \rightarrow distributor \rightarrow gudang \rightarrow produsen. Setiap segmen waktu dimasukkan ke dalam persamaan dan parameter, kemudian digunakan untuk mensimulasikan skenario penarikan obat pada sistem berbasis *blockchain*. Secara konsep, pendekatan Agrawal dkk. (2022) menunjukkan bahwa *blockchain* memungkinkan semua aktor (apotek, distributor, gudang, produsen) melihat informasi yang sama secara serentak. Ketika terjadi *recall*, informasi *batch* yang bermasalah tersebar ke seluruh node tanpa perlu menunggu konfirmasi berlapis. Sejumlah studi lain melaporkan metrik kinerja

sistem (misalnya *response time*/latensi dalam milidetik - detik) yang menunjukkan pemrosesan transaksi *blockchain* berlangsung cepat sehingga mendukung eksekusi perintah terkait *recall* hampir *real time*. Selain itu, beberapa studi melaporkan secara naratif bahwa *blockchain* membantu mempercepat identifikasi lokasi *batch* dan koordinasi *recall*.

4.2.3.3 Transparansi dan Integritas Data

Transparansi dan integritas data merujuk pada sejauh mana informasi mengenai pergerakan obat, status kepemilikan, kondisi penyimpanan, serta riwayat transaksi dapat diakses oleh pemangku kepentingan yang berwenang, serta dijaga keutuhannya dari manipulasi atau kehilangan. Total 44 studi yang dianalisis, 43 studi secara eksplisit menyinggung aspek transparansi dan/atau integritas data, sedangkan satu studi Liu dkk. (2021), berfokus pada pengembangan algoritma konsensus dan tidak melaporkannya sebagai indikator hasil tersendiri. Bentuk pelaporan transparansi dan integritas data kemudian dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu: satu studi dengan pelaporan kuantitatif sebelum sesudah (*pre-post*), tiga studi dengan pelaporan kuantitatif parsial, dan 39 studi dengan pelaporan naratif tanpa angka spesifik. Satu-satunya studi yang melaporkan indikator transparansi dalam format sebelum – sesudah secara jelas adalah penelitian oleh Khan dkk. (2025).

Tabel 4. 9 Indikator transparansi sebelum dan sesudah penerapan *blockchain*

Penulis	Indikator	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Arsh Khan	<i>End-to-end compliance</i> (%)	< 40%	> 85%	+112%

Bukti kuantitatif sebelum – sesudah yang paling jelas terkait transparansi dilaporkan oleh Khan dkk. (2025). Studi ini memakai *end-to-end compliance* sebagai proksi transparansi dan integritas data sebelum *blockchain*, kepatuhan berada di bawah 40%, lalu meningkat menjadi lebih dari 85% (112% peningkatan). Kenaikan ini mengindikasikan bahwa *shared ledger* yang terdistribusi, tidak mudah diubah, dan dapat diaudit membuat data *supply chain* lebih terbuka dan lebih dapat dipercaya antar pemangku kepentingan. Beberapa studi lain melaporkan indikator kuantitatif parsial yang berkaitan dengan transparansi/integritas data, misalnya peningkatan transparansi/*visibility*, akurasi

verifikasi, dan kepatuhan regulasi, serta metrik performa sistem yang mendukung akses data yang cepat.

4.2.3.4 Efisiensi Proses Rantai Pasok

Indikator efisiensi proses dalam penelitian ini digunakan untuk menilai sejauh mana penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi mampu mempercepat verifikasi dan autentikasi, menyederhanakan dokumentasi dan persiapan audit, serta meningkatkan efisiensi operasional rantai pasok secara keseluruhan. Pada indikator ini, sebagian besar studi tidak melaporkan data *pre – post* dalam satuan waktu/biaya proses bisnis. Pelaporan yang ditemukan lebih banyak berupa: (1) persentase peningkatan efisiensi dibanding *baseline*, (2) metrik kinerja teknis sistem (*throughput*, latensi, konsumsi sumber daya), dan (3) narasi bahwa proses bisnis menjadi lebih cepat dan sederhana. Studi paling rinci mengenai efisiensi proses adalah penelitian Byreddy (2025) yang menganalisis integrasi *blockchain* dengan sistem SAP untuk manajemen rantai pasok farmasi. Studi ini melaporkan tarif awal efisiensi dan tingkat perbaikan (dalam persen) untuk enam kelompok proses utama.

Tabel 4. 10 Tabel efisiensi proses pada studi SAP + *Blockchain* Byreddy (2025)

Metrik efisiensi proses utama	Tarif awal (%)	Perbaikan setelah <i>blockchain</i> (%)
Siklus verifikasi <i>batch</i>	19	81
Pemrosesan autentikasi	11	89
Biaya operasional verifikasi	34	66
Pemrosesan dokumentasi	24	76
Persiapan audit kepatuhan	31	69
Proses operasional rantai pasok secara umum	9	91

Byreddy (2025) menunjukkan lompatan efisiensi setelah integrasi SAP + *blockchain* : *baseline* berbagai metrik masih rendah (± 9 –34%) lalu meningkat besar (± 66 –91%). Contoh: efisiensi siklus verifikasi 19% \rightarrow 81%, efisiensi biaya verifikasi 34% \rightarrow 66%, dan efisiensi proses operasional 9% \rightarrow 91% menandakan dampak bukan hanya pada kecepatan, tetapi juga pemangkasan dokumentasi dan persiapan audit. Sejumlah studi lain melaporkan metrik teknis sistem (misalnya *throughput*/latensi) dan beberapa skor komposit yang memasukkan aspek efisiensi, yang secara umum menunjukkan kinerja transaksi berada pada rentang detik/milidetik pada skenario uji.

4.2.3.5 Temuan Obat Palsu/Mismatch

Indikator temuan obat palsu/*mismatch* digunakan untuk menilai sejauh mana penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi menurunkan prevalensi obat palsu yang mencapai pasien, dan meningkatkan kemampuan sistem dalam mengidentifikasi produk ilegal atau data yang tidak sesuai (*mismatch*). Dari 44 artikel, terdapat 40 studi yang melaporkan indikator ini dalam berbagai bentuk, yaitu 2 studi dengan data kuantitatif *pre – post*, 4 studi dengan data kuantitatif parsial, dan 34 studi yang melaporkan hasil secara naratif/kualitatif.

Tabel 4. 11 Studi dengan data kuantitatif *pre – post* temuan obat palsu/*mismatch*

Penulis	Indikator	Sebelum	Sesudah	Catatan singkat
Arsh Khan	Insidensi obat palsu	$\pm 10 - 12\%$	$\pm 3 - 4\%$	Penurunan $> 50\%$
Wei Xie	<i>Counterfeit finish rate</i>	$\pm 30,45\%$	0,20%; 0,06%; 0% (berbagai skenario dua-layer blockchain)	Hampir semua obat palsu tereliminasi

Tabel 4.11 menunjukkan bahwa, pada dua konteks yang berbeda (pilot industri dan simulasi biofarmasi), penerapan *blockchain* berkaitan dengan penurunan besar obat palsu yang mencapai pasien. Pada pilot industri *non-cold chain*, Khan dkk. (2025) melaporkan prevalensi obat palsu turun dari $\pm 10 - 12\%$ menjadi $3 - 4\%$ setelah distribusi berbasis *blockchain* diterapkan. Pada simulasi rantai pasok biofarmasi, Xie dkk. (2019) menunjukkan *counterfeit finish rate* turun dari $\pm 30,45\%$ menjadi hampir 0% melalui desain *blockchain* dua-lapis. Dua studi ini menjadi bukti kuantitatif sebelum–sesudah paling eksplisit bahwa *blockchain* berpotensi menekan obat palsu yang lolos hingga pasien, baik pada implementasi pilot maupun pemodelan skala besar. Empat studi lain melaporkan bukti kuantitatif parsial yang menunjukkan kemampuan deteksi yang tinggi (misalnya temuan *unauthorized scans*, tingkat *matching/detection* tinggi pada skenario uji, dan peningkatan deteksi produk mencurigakan dengan tingkat *false positive* rendah). Mayoritas studi lainnya melaporkan secara naratif bahwa mekanisme verifikasi identitas produk dan pencatatan terdistribusi membantu mendeteksi *mismatch* dan mencegah masuknya produk ilegal ke rantai pasok formal.

BAB 5

PEMBAHASAN

5.1 Profil Masalah *Supply Chain* Farmasi Berdasarkan Kelompok Pendapatan Negara

Masalah *supply chain* farmasi terjadi di semua kelompok negara, tetapi bentuk dan akar masalahnya berbeda. Secara umum, pola masalah dapat dikelompokkan menjadi tiga tema besar ; ketersediaan obat (*availability*), kualitas obat (*quality*), dan keterlacakan/koordinasi informasi (*traceability & coordination*). Perbedaan antar kelompok pendapatan terutama terletak pada kapasitas sistem, struktur pasokan, serta kekuatan tata kelola.

5.1.1 *High-Income Countries* (HICs)

5.1.1.1 Bahan baku / *Active Pharmaceutical Ingredient* (API)

Permasalahan *supply chain* farmasi pada negara berpendapatan tinggi tidak berangkat dari keterbatasan finansial, melainkan dari ketergantungan struktural terhadap pasokan global bahan baku/API. Meskipun kapasitas regulasi dan pengawasan kuat, banyak API penting masih diproduksi secara terkonsentrasi di beberapa negara produsen utama seperti China dan India. Konsentrasi ini merupakan hasil strategi globalisasi dan *offshoring* manufaktur API sejak dekade 1990-an, yang menekankan efisiensi biaya dan skala produksi (Suda dkk., 2022). Gangguan produksi dan pembatasan perdagangan internasional memicu ketidakpastian pasokan bahan baku, yang berdampak langsung pada negara-negara maju meskipun memiliki sistem kesehatan yang kuat selama pandemi covid-19 (Suda dkk., 2022). Temuan ini sejalan dengan laporan Cundell (2020) yang menegaskan bahwa gangguan pada satu titik hulu global dapat berdampak luas karena keterbatasan alternatif pemasok API. Kondisi ini menunjukkan bahwa pada HICs, kerentanan sistemik sudah muncul sejak tahap hulu, meskipun belum selalu termanifestasi sebagai krisis klinis di tingkat pasien. Ketergantungan API yang terkonsentrasi menciptakan *structural vulnerability* yang akan memengaruhi tahapan berikutnya, terutama manufaktur.

5.1.1.2 Produksi / Manufaktur

Masalah di tahap bahan baku berlanjut pada konsentrasi produksi obat jadi. Literatur menunjukkan bahwa banyak obat esensial di HICs diproduksi oleh jumlah produsen yang terbatas (*single-source* atau *few-source manufacturing*), sehingga gangguan pada satu fasilitas dapat berdampak sistemik. Cundell (2020) menunjukkan bahwa selama pandemi, pembatasan tenaga kerja, penerapan protokol disinfeksi fasilitas, dan isu kepatuhan GMP menjadi faktor utama yang mengganggu kontinuitas produksi obat. Temuan ini diperkuat oleh Suda dkk. (2022), yang menunjukkan bahwa struktur pasokan yang terkonsentrasi meningkatkan risiko *shortage* meskipun permintaan relatif dapat diprediksi. Dengan demikian, meskipun infrastruktur manufaktur di HICs tergolong maju, ketergantungan pada sedikit node produksi mempersempit ruang mitigasi ketika terjadi gangguan hulu. Kombinasi gangguan API dan konsentrasi manufaktur secara langsung meningkatkan risiko *shortage* obat jadi.

5.1.1.3 Penyimpanan dan Logistik

HICs umumnya memiliki sistem gudang dan *cold chain* yang memadai. Namun, kompleksitas sistem tersebut justru menjadi tantangan tersendiri. Cundell (2020) menegaskan bahwa pada kondisi krisis, sistem logistik yang kompleks memerlukan koordinasi lintas institusi yang tinggi, dan kegagalan pada satu komponen dapat memicu keterlambatan distribusi atau *recall* berskala besar. Selain itu, beberapa studi menunjukkan bahwa meskipun sistem digital tersedia, fragmentasi sistem informasi antar pelaku *supply chain* membatasi visibilitas stok dan alur produk secara *end-to-end*, sehingga respons terhadap gangguan sering bersifat reaktif (Tadrous dkk., 2024). Pada tahap ini, masalah mulai bergeser dari keterbatasan fisik menuju tantangan koordinasi dan keterlacakan data.

5.1.1.4 Distributor / Wholesaler

Tahap distribusi merupakan titik krusial dalam *supply chain* HICs. Tadrous dkk. (2024) menunjukkan bahwa meskipun laporan gangguan *supply chain* sering muncul di Amerika Serikat dan Kanada, tidak semua gangguan berujung pada *shortage*, dan proporsi kejadian *shortage* sangat dipengaruhi oleh struktur pasokan nasional dan mekanisme distribusi. Hal ini menunjukkan bahwa tata kelola dan koordinasi distribusi memiliki peran penting dalam menentukan

outcome meskipun tekanan global yang dihadapi serupa. Di sisi lain, Naughton dan Akgul (2021) menunjukkan bahwa obat *substandard/falsified* masih dapat memasuki *legitimate supply chain* di negara maju melalui celah distribusi lintas negara dan kanal online. Temuan ini menegaskan bahwa masalah utama pada tahap distribusi di HICs bukanlah ketiadaan regulasi, melainkan fragmentasi data dan koordinasi lintas aktor yang membatasi *traceability* secara menyeluruh.

5.1.1.5 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Dampak dari masalah hulu dan tengah *supply chain* mulai dirasakan secara langsung di tingkat fasilitas pelayanan kesehatan. Tadrous dkk. (2024) menunjukkan bahwa *shortage* obat di HICs sering memaksa tenaga kesehatan melakukan substitusi terapi, penyesuaian protokol, serta manajemen stok yang lebih intensif. Meskipun kualitas obat relatif terjaga, keterbatasan visibilitas pasokan dari hulu menyebabkan fasilitas kesehatan sering merespons setelah gangguan terjadi, bukan secara preventif. Literatur juga menunjukkan bahwa fragmentasi informasi antara distributor, regulator, dan fasilitas pelayanan membatasi kemampuan fasilitas untuk melakukan perencanaan dan mitigasi dini terhadap potensi *shortage* (Tadrous dkk., 2024).

5.1.1.6 Pasien / Konsumen Akhir

Dampak *supply chain* di HICs lebih sering muncul dalam bentuk keterlambatan terapi, perubahan regimen pengobatan, dan kenaikan harga, dibandingkan paparan langsung terhadap obat palsu. Suda dkk. (2022) menunjukkan bahwa selama pandemi covid-19 terjadi lonjakan pembelian obat yang lebih besar di negara maju dibanding negara berkembang, yang berkontribusi pada ketidakseimbangan pasokan dan mempercepat terjadinya *shortage*. Meskipun akses obat secara umum masih relatif baik, temuan ini menunjukkan bahwa kerentanan *supply chain* tetap berimplikasi klinis dan ekonomi bagi pasien, terutama pada kelompok yang membutuhkan terapi kontinu. Secara keseluruhan, masalah *supply chain* farmasi di HICs konsisten dari bahan baku hingga pasien, dengan karakter utama berupa ketergantungan global terhadap API, konsentrasi produksi, serta fragmentasi data dan koordinasi lintas aktor. Rangkaian temuan ini menunjukkan bahwa pada HICs, masalah *supply chain farmasi* tidak terutama disebabkan oleh keterbatasan kapasitas fisik,

melainkan oleh kompleksitas dan fragmentasi sistem dalam rantai pasok yang terglobalisasi, sehingga memperkuat kebutuhan akan solusi yang meningkatkan keterlacakan, koordinasi, dan visibilitas data lintas aktor.

5.1.2 Upper Middle dan Lower Middle Income Countries (UMICs/LMICs)

5.1.2.1 Bahan baku / Active Pharmaceutical Ingredient (API)

Masalah *supply chain* farmasi pada negara berpendapatan menengah sering berawal dari ketergantungan tinggi terhadap impor bahan baku/API. Studi di Nigeria menunjukkan bahwa sekitar 70% bahan baku farmasi masih diimpor, terutama dari China dan India, sehingga pasokan sangat rentan terhadap gangguan eksternal seperti pandemi, pembatasan ekspor, dan fluktuasi nilai tukar (Faiva dkk., 2021). Temuan ini sejalan dengan penelitian di Rwanda yang melaporkan bahwa sistem pasokan obat sangat bergantung pada impor dan mengalami gangguan signifikan selama pandemi covid-19 akibat terbatasnya arus barang lintas negara (Uwizeyimana dkk., 2021). Dengan kondisi tersebut, masalah di hulu langsung menciptakan hambatan (*bottleneck*) bagi seluruh tahapan *supply chain* berikutnya, karena pasokan API tidak dapat dengan mudah digantikan dari sumber alternatif.

5.1.2.2 Produksi / Manufaktur

Ketergantungan pada impor API berdampak langsung pada kapasitas dan kontinuitas produksi lokal. Di Nigeria, keterlambatan pasokan bahan baku menyebabkan penurunan kapasitas produksi dan meningkatkan ketergantungan pada obat impor jadi (Faiva dkk., 2021). Situasi ini diperparah oleh keterbatasan teknologi, SDM, serta ketidakstabilan kebijakan regulasi, sehingga manufaktur lokal belum mampu berperan sebagai penyangga ketika terjadi gangguan global. Dengan kata lain, gangguan API membuat produksi tidak stabil, dan pada akhirnya stok obat jadi ikut menurun.

5.1.2.3 Penyimpanan dan Logistik

Keterbatasan produksi dan pasokan membuat sistem penyimpanan dan logistik di UMICs/LMICs sering berjalan dalam kondisi tidak ideal. Penelitian di Zambia menunjukkan bahwa ketidakkonsistenan pengelolaan persediaan dan *cold chain*, terutama di fasilitas perifer, meningkatkan risiko *stock-out* dan penurunan mutu obat (Leung dkk., 2016). Ketika pasokan sudah terbatas sejak tahap hulu,

kelemahan logistik semakin memperparah kehilangan stok dan keterlambatan distribusi, sehingga ketersediaan obat antar wilayah menjadi tidak merata.

5.1.2.4 Distributor / Wholesaler

Masalah *supply chain* kemudian berlanjut pada tahap distribusi. Studi di Nigeria dan Pakistan menunjukkan bahwa jalur distribusi sering melibatkan banyak aktor perantara dengan tingkat dokumentasi dan pengawasan yang tidak seragam, sehingga *traceability* obat menjadi lemah dan membuka celah masuknya obat ilegal atau *substandard* (Faiva dkk., 2021; Butt dkk., 2025). Pada tahap ini, permasalahan *supply chain* tidak lagi hanya soal ketersediaan fisik, tetapi juga fragmentasi data dan lemahnya koordinasi antar aktor, yang menyulitkan pelacakan asal-usul dan pergerakan obat.

5.1.2.5 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Fasilitas pelayanan kesehatan menjadi titik akumulasi berbagai masalah *supply chain*. Keterlambatan distribusi dan lemahnya *traceability* menyebabkan *stock-out* obat esensial di apotek dan rumah sakit, sementara mekanisme verifikasi mutu obat sering terbatas pada pemeriksaan visual (Faiva dkk., 2021). Dalam kondisi *shortage*, fasilitas kesehatan kerap menerima pasokan dari berbagai sumber dengan tingkat keandalan yang berbeda, tanpa dukungan informasi yang memadai untuk membedakan obat yang aman dan berisiko.

5.1.2.6 Pasien / Konsumen Akhir

Penelitian menunjukkan bahwa pasien di UMICs/LMICs berisiko menerima obat ilegal atau *substandard*, baik akibat kualitas bahan baku, gangguan produksi, maupun lemahnya pengawasan distribusi (Faiva dkk., 2021). Dampak ini tidak hanya berupa kegagalan terapi, tetapi juga peningkatan beban ekonomi serta risiko resistensi obat. Secara keseluruhan, masalah *supply chain* di UMICs/LMICs bersifat konsisten dari hulu ke hilir, dimulai dari ketergantungan bahan baku hingga berujung pada risiko klinis di tingkat pasien. Temuan ini menunjukkan bahwa pada UMICs/LMICs, masalah *supply chain* farmasi tidak berdiri sendiri pada satu tahapan, melainkan saling terkait dari bahan baku hingga pasien, dengan peran penting tata kelola, koordinasi, dan kualitas data dalam menentukan kinerja sistem.

5.1.3 Low Income Countries dan/atau Least Developed Countries (LICs/LDCs)

5.1.3.1 Bahan baku / Active Pharmaceutical Ingredient (API)

Permasalahan *supply chain* farmasi pada LICs, umumnya berawal dari ketergantungan hampir penuh terhadap impor bahan baku/API maupun obat jadi, sementara kapasitas produksi lokal sangat terbatas. Penelitian di Rwanda menunjukkan bahwa sistem pasokan obat sangat bergantung pada impor, sehingga gangguan perdagangan internasional selama pandemi covid-19 langsung menyebabkan keterbatasan ketersediaan obat di dalam negeri (Uwizeyimana dkk., 2021). Kondisi serupa juga dilaporkan di Ethiopia dan Republik Demokratik Kongo (DRC), di mana akses terhadap API dan obat esensial sangat dipengaruhi oleh ketersediaan devisa, bantuan donor, serta stabilitas logistik regional (Lucero-Prisno dkk., 2021). Ketergantungan impor yang tinggi ini membuat sistem pasokan sangat rapuh terhadap *shock* eksternal, karena hampir tidak tersedia *buffer* atau sumber alternatif di dalam negeri.

5.1.3.2 Produksi / Manufaktur

Masalah di tahap bahan baku diperparah oleh kapasitas manufaktur lokal yang minimal atau belum berfungsi optimal. Di banyak LICs, produksi obat dalam negeri belum mampu memenuhi kebutuhan nasional, sehingga pasokan sangat bergantung pada impor atau donasi. Uwizeyimana dkk. (2021) mencatat bahwa ketiadaan manufaktur lokal di Rwanda menyebabkan sistem pasokan tidak memiliki penyangga ketika terjadi pembatasan impor selama pandemi. Akibatnya, gangguan pada tahap hulu langsung diterjemahkan menjadi kekosongan obat jadi di tahap hilir, tanpa adanya mekanisme substitusi produksi lokal.

5.1.3.3 Penyimpanan dan Logistik

Permasalahan *supply chain* di LICs semakin diperburuk oleh keterbatasan infrastruktur penyimpanan dan logistik, termasuk *cold chain*. Studi di Ethiopia menunjukkan bahwa selama pandemi covid-19, keterbatasan transportasi serta ketidakpastian stok pemasok pusat menyebabkan banyak obat esensial mengalami *stock-out* lebih dari 90 hari di fasilitas publik (Jifar dkk., 2022). Di Zambia, kelemahan sistem *inventory* dan ketidakmampuan mengantisipasi variasi permintaan musiman serta perubahan *lead time* memperbesar risiko kekosongan stok dan distribusi yang tidak merata antar wilayah (Leung dkk., 2016). Dengan

demikian, pasokan yang sudah terbatas sejak hulu semakin diperparah oleh logistik yang lemah, sehingga kehilangan stok dan keterlambatan distribusi menjadi masalah kronis.

5.1.3.4 Distributor / Wholesaler

LICs menghadapi dominasi jalur distribusi informal dan keterbatasan pengawasan dari regulator pada tahap distribusi. Penelitian di DRC menunjukkan bahwa distribusi obat sering melibatkan aktor *non-formal* dengan dokumentasi minimal, sehingga *traceability* obat menjadi sangat lemah (Ozawa dkk., 2019). Kondisi ini tidak hanya menyulitkan pengawasan stok, tetapi juga membuka ruang luas bagi peredaran obat *substandard* dan *falsified*, baik melalui jalur ilegal maupun masuk ke jalur yang tampak legal. Pada tahap ini, masalah *supply chain* bergeser dari sekadar ketersediaan menjadi masalah kualitas dan keamanan obat.

5.1.3.5 Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Fasilitas pelayanan kesehatan menjadi titik paling rentan dalam *supply chain* LICs. Keterbatasan pasokan, distribusi yang tidak stabil, dan lemahnya sistem informasi membuat fasilitas sering mengalami *stock-out* obat esensial dan terpaksa menerima pasokan dari berbagai sumber dengan tingkat keandalan yang berbeda. Studi di Ethiopia menunjukkan bahwa pengelolaan stok di fasilitas publik masih sangat bergantung pada pencatatan manual dan sering mengalami keterlambatan pelaporan (Jifar dkk., 2022). Di DRC, keterbatasan mekanisme *quality assurance* menyebabkan kemampuan fasilitas layanan untuk mendeteksi obat bermutu rendah menjadi sangat terbatas (Ozawa dkk., 2019). Akibatnya, fasilitas kesehatan tidak memiliki alat dan informasi yang memadai untuk menjamin mutu obat yang diterima pasien.

5.1.3.6 Pasien / Konsumen Akhir

Pasien di LICs menanggung dampak paling berat dari kelemahan *supply chain*. Penelitian Ozawa dkk. (2019) menunjukkan bahwa peredaran antimalaria *substandard* dan *falsified* di DRC menimbulkan beban kesehatan dan ekonomi yang signifikan, termasuk kegagalan terapi dan peningkatan mortalitas. Selain itu, *stock-out* kronis mendorong pasien mencari obat di pasar informal, yang umumnya memiliki risiko mutu yang lebih tinggi. Dengan demikian, masalah *supply chain* di LICs tidak hanya berdampak pada efisiensi sistem, tetapi secara

langsung mengancam keselamatan pasien dan keadilan akses terhadap obat bermutu.

5.2 Penerapan *Blockchain* dalam *Pharmaceutical Supply Chain* dan Efektivitasnya

Blockchain dalam *supply chain* farmasi umumnya diterapkan untuk memperkuat tiga fungsi: ketertelusuran *end-to-end*, integritas data melalui audit trail, serta verifikasi keaslian berbasis identitas digital. Penerapan ini relevan karena *supply chain* farmasi melibatkan banyak transaksi lintas organisasi dan membutuhkan kepercayaan data yang tinggi. *Blockchain* digunakan sebagai “*shared ledger*” yang memungkinkan beberapa pihak mencatat transaksi dan melihat status produk secara konsisten.

Sistem pelacakan obat modern secara kebijakan juga bergerak menuju pertukaran data yang *interoperable*. DSCSA menekankan perlunya sistem penelusuran yang *interoperable* dan elektronik di Amerika Serikat. FDA juga menerbitkan panduan standar pertukaran informasi untuk mendukung *tracing* obat (U.S. Food and Drug Administration, 2023). Hal Ini menunjukkan bahwa implementasi teknologi, termasuk *blockchain*, tidak bisa dilepaskan dari kebutuhan standardisasi data dan integrasi lintas sistem. Banyak studi memilih *permissioned/consortium blockchain* untuk konteks farmasi karena kebutuhan akses terbatas, perlindungan data sensitif, dan kebutuhan audit regulator.

Arsitektur berbasis konsorsium dinilai lebih realistis untuk implementasi lintas pelaku dibanding model publik sepenuhnya (Uddin dkk., 2021). Efektivitas *blockchain* tidak selalu bisa dibandingkan langsung antar studi karena variasi indikator dan banyaknya penelitian yang masih tahap pilot/simulasi. Selain itu, literatur empiris menekankan hambatan implementasi yang berulang, terutama *interoperabilitas*, biaya, keamanan/privasi, kesiapan SDM, dan kepastian regulasi (Peron dkk., 2025). *Blockchain* lebih tepat dipandang sebagai penguat tata kelola dan akuntabilitas data, bukan solusi tunggal yang otomatis memperbaiki semua permasalahan *supply chain*.

Blockchain paling sering digunakan untuk *traceability*, audit *trail*, dan verifikasi keaslian; manfaatnya kuat pada aspek data, tetapi sangat bergantung pada standar data, integrasi sistem, dan kesiapan tata kelola. Efektivitas penerapan

blockchain dalam SLR ini selanjutnya dibahas berdasarkan indikator kinerja yang paling sering digunakan dalam studi. Ringkasan temuan per indikator dan per kategori pendapatan negara disajikan pada tabel 5.1

Tabel 5 1. Pemetaan indikator efektivitas *blockchain* pada *supply chain* farmasi menurut kelompok pendapatan negara

Indikator	Kategori Negara		
	<i>High-Income Countries (HICs)</i>	<i>Upper Middle dan Lower Middle Income Countries (UMICs/LMICs)</i>	<i>Low Income Countries dan/atau Least Developed Countries (LICs/LDCs)</i>
Traceability Lead Time	<i>Traceability lead time</i> turun (lebih cepat). Ini menandakan proses penelusuran asal-usul/riwayat <i>batch</i> menjadi lebih responsif, sehingga investigasi dan verifikasi dapat dilakukan lebih cepat. Satu studi melaporkan <i>lead time</i> meningkat pada skenario tertentu (indikasi adanya <i>overhead</i> konsensus/jaringan).	<i>Traceability lead time</i> turun (lebih cepat). Temuan ini mengindikasikan <i>blockchain</i> membantu mempercepat penelusuran dengan mengurangi rekonsiliasi manual dan meningkatkan sinkronisasi data antar-aktor.	Belum ada studi dalam dataset yang secara spesifik berlatar negara berpendapatan rendah/ <i>least developed</i> .
Recall Time	<i>Recall time</i> turun (lebih cepat). Ini menandakan penarikan produk dapat dilakukan lebih cepat dan terarah, sehingga menurunkan risiko paparan pasien terhadap produk bermasalah.	<i>Recall time</i> turun. Hal ini mengindikasikan peningkatan kecepatan respons penarikan karena identifikasi <i>batch</i> terdampak menjadi lebih presisi melalui jejak transaksi <i>end-to-end</i> .	Belum ada studi dalam dataset yang secara spesifik berlatar negara berpendapatan rendah/ <i>least developed</i> .
Transparansi dan Integritas Data	Sebagian besar studi menunjukkan transparansi/integritas data. Ini menandakan data lebih mudah diaudit dan lebih sulit dimanipulasi, mendukung akuntabilitas dan kepatuhan dalam distribusi.	Mayoritas studi menunjukkan transparansi/integritas data meningkat. Temuan ini mengindikasikan <i>blockchain</i> memperkuat <i>audit trail</i> dan konsistensi data lintas pihak, sehingga meningkatkan kepercayaan antar-aktor dalam rantai pasok.	Belum ada studi dalam dataset yang secara spesifik berlatar negara berpendapatan rendah/ <i>least developed</i> .
Efisiensi Proses	Efisiensi proses meningkat, namun sebagian menunjukkan hasil campuran yang umumnya dipengaruhi konfigurasi jaringan, beban transaksi, atau <i>overhead</i> konsensus.	Efisiensi proses meningkat, dengan sebagian hasil campuran pada kondisi tertentu (mis. variasi skala beban/ <i>throughput</i>). Ini menunjukkan <i>blockchain</i>	Belum ada studi dalam dataset yang secara spesifik berlatar negara berpendapatan rendah/ <i>least</i>

	Artinya, efisiensi dapat meningkat bila desain dan integrasi sistem dioptimalkan.	berpotensi mengurangi <i>paperwork</i> /rekonsiliasi, namun kinerjanya bergantung pada desain jaringan dan integrasi.	<i>developed</i> .
Temuan Obat Palsu/Mismatch	Temuan obat palsu/ <i>mismatch</i> menurun. Penurunan ini mengindikasikan berkurangnya kejadian <i>mismatch</i> /peredaran produk tidak sah atau meningkatnya pencegahan melalui verifikasi yang lebih kuat.	Temuan obat palsu/ <i>mismatch</i> menurun. Secara interpretatif, hal ini dapat mencerminkan penurunan kejadian <i>mismatch</i> /peredaran obat palsu; pada beberapa studi, variasi hasil dapat dipengaruhi definisi 'temuan' (kejadian vs deteksi).	Belum ada studi dalam dataset yang secara spesifik berlatar negara berpendapatan rendah.

5.2.1 Traceability Lead Time

Penurunan *traceability lead time* menunjukkan bahwa manfaat utama *blockchain* terletak pada percepatan akses dan verifikasi informasi lintas pelaku. Keterlambatan pelacakan sering terjadi karena data tersebar di banyak sistem, format berbeda, dan membutuhkan rekonsiliasi manual sebelum keputusan dapat diambil (Aslam, 2023). *Blockchain* mengurangi friksi ini melalui catatan transaksi yang konsisten dan dapat ditelusuri, sehingga verifikasi *batch*/serial dapat dilakukan lebih cepat dan lebih terarah (Musamih dkk., 2021; Upadhyay, 2023). Namun percepatan ini tidak selalu otomatis; pada kondisi transaksi tinggi, desain konsensus dan arsitektur jaringan dapat menambah *overhead* dan menghasilkan temuan campuran (Sharma, 2024; Xie dkk., 2019). Karena itu, *traceability* yang cepat memerlukan prasyarat seperti serialisasi/standar identifikasi (mis. GS1), integrasi dengan sistem operasional, serta tata kelola data yang jelas (Upadhyay, 2023; U.S. Food and Drug Administration, 2023).

5.2.2 Recall Time

Recall perlu dibedakan antara kecepatan koordinasi informasi dan kecepatan penarikan fisik. *Blockchain* terutama mempercepat tahap koordinasi ketika insiden terjadi, pihak terkait lebih cepat mengetahui *batch* terdampak, lokasi distribusi, dan pihak penerima sehingga *recall* dapat lebih presisi (*targeted recall*) (Sim dkk., 2022; Munasinghe, 2023). Potensi ini juga terlihat pada studi yang memodelkan proses *recall* berbasis jaringan/*ledger* dan menunjukkan penyebaran informasi lintas aktor secara serentak (Agrawal dkk., 2022). Namun durasi *recall end-to-end* tetap dipengaruhi faktor operasional lapangan seperti

logistik, kapasitas distribusi, dan kepatuhan fasilitas, sehingga *blockchain* lebih tepat diposisikan sebagai penguat respons informasi dan akuntabilitas, bukan pengganti perbaikan proses fisik (Mani dkk., 2022; Mishra, 2024).

5.2.3 Transparansi dan Integritas Data

Dominannya isu transparansi dan integritas menunjukkan *blockchain* kuat sebagai alat penguatan tata kelola data. Ketika pencatatan transaksi sulit diubah dan dapat diaudit, kepercayaan antar pelaku bergeser dari percaya karena otoritas menjadi percaya karena bukti data (Musamih dkk., 2021; Aslam, 2023). Kondisi ini mengurangi ruang konflik data, duplikasi dokumen, dan perubahan tanpa jejak, sehingga keputusan pengadaan, distribusi, dan pengawasan mutu memiliki dasar informasi yang lebih stabil (Khan dkk., 2025; Sharma, 2024). Transparansi yang membaik juga menjadi fondasi untuk *outcome* lain karena deteksi *mismatch*, penelusuran cepat, dan *recall* terarah membutuhkan data yang konsisten lintas aktor (Upadhyay, 2023; Mani dkk., 2022). Namun transparansi hanya bermakna jika akses diatur jelas (mis. *role-based access*) dan sistem terintegrasi dengan alur kerja, bukan berdiri sebagai platform tambahan (Mani dkk., 2022; Uddin dkk., 2021).

5.2.4 Efisiensi Proses

Efisiensi proses paling mungkin meningkat ketika *blockchain* mengurangi pekerjaan administratif yang tidak menambah nilai, seperti rekonsiliasi manual, verifikasi berulang, dan persiapan audit yang bergantung pada dokumen tersebar (Mazher dan Azmat, 2024; Sharma, 2024). Dampaknya bukan hanya lebih cepat, tetapi juga lebih sederhana karena proses terdokumentasi lebih rapi dan jejak audit tersedia saat dibutuhkan (Musamih dkk., 2021; Sangwan dkk., 2025). Temuan integrasi *blockchain* dengan sistem operasional (misalnya ERP) menunjukkan manfaat efisiensi lebih nyata ketika *blockchain* masuk ke proses bisnis harian, bukan sekadar *prototipe* (Byreddy, 2025). Namun efisiensi bersifat kontekstual jika tidak terintegrasi dengan sistem identifikasi dan sistem operasional yang digunakan (misalnya serialisasi/*barcode* dan sistem gudang/ERP), *blockchain* dapat menambah langkah kerja dan menurunkan efisiensi (Naga Sudha dkk., 2023; Peron dkk., 2025). Karena itu, desain implementasi (integrasi, pembagian

peran input data, SOP) menentukan apakah *blockchain* menjadi penghemat proses atau beban tambahan (Peron dkk., 2025).

5.2.5 Temuan Obat Palsu/*Mismatch*

Blockchain berkontribusi sebagai lapisan kontrol yang memperketat pintu masuk produk ke rantai pasok formal. Identitas unik yang tervalidasi terhadap *ledger* membuat produk tanpa riwayat sah lebih mudah ditandai, sementara *audit trail* memperkuat penelusuran balik untuk investigasi (Mani dkk., 2022; Nawaz dkk., 2024). Dampaknya bukan hanya pada deteksi, tetapi juga pencegahan ketika transaksi dapat dilacak dan sulit dimanipulasi, insentif untuk memasukkan produk ilegal cenderung menurun (Aslam, 2023; Sangwan dkk., 2025). Bukti *pre – post* yang ada menunjukkan penurunan insidensi obat palsu pada konteks tertentu, sementara studi simulasi juga menunjukkan penurunan *counterfeit rate* yang sangat besar pada skenario desain tertentu (Khan dkk., 2025; Xie dkk., 2019). Namun interpretasi temuan perlu hati-hati karena pada fase awal implementasi angka deteksi dapat meningkat akibat sistem menjadi lebih sensitif, sebelum akhirnya menurun seiring pencegahan membaik (Sim dkk., 2022; Byreddy, 2025). Karena itu, definisi indikator (kejadian beredar vs jumlah terdeteksi) perlu dibuat konsisten agar interpretasi tidak bias (Khan dkk., 2025; Sim dkk., 2022).

Secara keseluruhan, kelima indikator tersebut menunjukkan *blockchain* paling kuat pada aspek data (*traceability, auditability, verifikasi*), sehingga pembahasan berikutnya memetakan kecocokan manfaat berbasis data ini terhadap profil masalah *supply chain* di tiap kelompok pendapatan negara.

5.3 Kesesuaian *Blockchain* dengan Profil Masalah *Supply Chain* dan Implikasi

Kesesuaian *blockchain* perlu dilihat berdasarkan jenis masalah dominan di tiap kelompok negara. *Blockchain* paling efektif ketika problem utama berada pada kualitas dan kepercayaan data serta koordinasi multipihak. Sebaliknya, bila akar masalahnya adalah keterbatasan kapasitas fisik (transport, *cold chain*, pendanaan, pemasok), *blockchain* hanya membantu monitoring dan akuntabilitas, tetapi tidak menggantikan perbaikan struktural.

5.3.1 Kesesuaian pada HICs

Blockchain lebih relevan untuk mengatasi fragmentasi data dan meningkatkan auditabilitas lintas institusi pada HICs. Untuk konteks *shortage*, *blockchain* dapat membantu meningkatkan visibilitas stok dan pergerakan barang jika data lintas sistem terintegrasi dan dapat dipercaya. Literatur menunjukkan *shortage* sering dipengaruhi struktur pasokan dan risiko manufaktur; sehingga *blockchain* lebih kuat sebagai alat meningkatkan kualitas informasi (*early warning*, audit) daripada menghilangkan akar *shortage* (Tucker & Daskin, 2022). Berdasarkan pemetaan temuan, pada HICs, masalah utama adalah kompleksitas dan globalisasi rantai pasok, ketergantungan tinggi pada sedikit pemasok API, risiko *drug shortages* dan *stock-out* obat kritis, serta fragmentasi sistem informasi yang membatasi *traceability* dan visibilitas stok secara *end-to-end*. Dalam konteks ini, temuan SLR menunjukkan bahwa penurunan *traceability lead time* hingga skala jam – menit, dan latensi sistem yang sangat rendah, memungkinkan penelusuran *batch* bermasalah dan pemantauan pergerakan produk secara hampir *real-time*, kemampuan mendeteksi obat palsu dan *mismatch* dengan tingkat akurasi tinggi (hingga penurunan insidensi dari $\pm 10\text{--}12\%$ menjadi 3–4% pada salah satu pilot) membantu menutup celah-celah pemalsuan di titik masuk seperti *parallel trade* dan rantai distribusi lintas negara. Peningkatan transparansi dan *end-to-end compliance* memperkuat kapasitas audit dan pengawasan regulatori. Dengan demikian, di HICs, *blockchain* paling sesuai digunakan sebagai lapisan infrastruktur data untuk mengintegrasikan sistem yang terfragmentasi, menyediakan *single source of truth* untuk stok, aliran produk, dan kontrak pengadaan, serta mendukung manajemen risiko *shortage* dan pemalsuan. Teknologi ini tidak menggantikan infrastruktur yang sudah kuat, tetapi mengisi celah pada aspek *traceability*, koordinasi, dan akuntabilitas.

5.3.2 Kesesuaian pada UMICs/LMICs

Blockchain berpotensi relevan untuk memperkuat transparansi pengadaan dan *traceability* jalur prioritas pada UMICs/LMICs. Fungsi *audit trail* dapat menekan manipulasi dokumen, sementara *shared ledger* dapat memperbaiki koordinasi lintas aktor. Namun, dampaknya sangat bergantung pada kepatuhan pelaporan, standarisasi data, serta dukungan regulator. Tanpa *governance* yang

kuat, *blockchain* berisiko hanya menjadi sistem tambahan yang tidak dipakai konsisten. Profil masalah *supply chain* didominasi ketergantungan pada impor, kapasitas produksi lokal terbatas, tata kelola pengadaan dan distribusi yang belum transparan, kesenjangan akses antara sektor publik dan *privat*, serta maraknya obat *substandard/falsified* akibat lemahnya sistem pengawasan dan ketiadaan *track-and-trace* yang andal. Dalam konteks ini, temuan SLR menunjukkan bahwa *blockchain* mampu mempercepat verifikasi dan meningkatkan efisiensi proses (misalnya peningkatan efisiensi 66–91% pada berbagai metrik proses di studi Byreddy), sehingga berpotensi memperbaiki alur pengadaan dan distribusi yang selama ini sarat *paperwork* dan rawan keterlambatan identitas digital unik, *role-based access control*, dan audit trail permanen memberikan fondasi teknis yang kuat untuk membangun sistem nasional pelacakan obat, yang sangat dibutuhkan di lingkungan dengan jalur distribusi informal dan risiko pemalsuan tinggi, peningkatan transparansi dan integritas data (misalnya lonjakan *end-to-end compliance* >85%) dapat mendukung perbaikan tata kelola pengadaan dan pengawasan mutu, sehingga mengurangi ruang bagi korupsi, *leakage*, dan distorsi antara sektor publik dan *privat*. Oleh karena itu, *blockchain* berpotensi menjadi platform tata kelola *supply chain* farmasi yang menjawab langsung masalah kurangnya transparansi, lemahnya *traceability*, dan inefisiensi proses administrasi di UMICs/LMICs. Kesesuaian ini bersifat lebih “struktural” dibanding di HICs, karena menyentuh akar persoalan tata kelola dan kualitas data yang menjadi basis kebijakan pengadaan dan distribusi obat.

5.3.3 Kesesuaian pada LICs

Implementasi bertahap adalah strategi yang lebih realistis pada LICs, mulai dari *traceability* tingkat *batch* dan pelaporan stok sederhana dari pusat ke fasilitas. *Blockchain* dapat membantu memperjelas titik keterlambatan distribusi atau kehilangan stok, tetapi keberhasilan bergantung pada prasyarat seperti konektivitas minimum, pelatihan SDM, SOP pelaporan, dan penguatan logistik. Pada konteks ini, *blockchain* harus berjalan paralel dengan penguatan sistem dasar. WHO juga menekankan pentingnya penguatan pencegahan deteksi respon terhadap *substandard/falsified medicines* yang membutuhkan kapasitas sistem, bukan hanya teknologi (WHO, 2024). *Blockchain* paling cocok untuk masalah

supply chain yang berakar pada *traceability*, integritas data, audit, dan koordinasi multipihak. Strategi implementasinya harus disesuaikan dengan kapasitas sistem HIC fokus integrasi data, UMIC/LMIC fokus tata kelola dan transparansi, LICs fokus solusi bertahap yang realistis dengan penguatan sistem dasar.

Tantangan terbesar pada LICs adalah *stock-out* kronis obat esensial, ketergantungan hampir penuh pada impor dan bantuan donor, infrastruktur logistik dan *cold chain* yang terbatas, sistem informasi manual, serta peredaran obat *substandard/falsified* yang sulit dilacak. Temuan SLR menunjukkan bahwa *blockchain* dapat menyediakan *traceability* dasar dan audit trail sederhana dari gudang pusat hingga fasilitas layanan, terutama bila hanya melibatkan beberapa *node* kunci, sehingga titik kehilangan stok dan keterlambatan pengiriman dapat diidentifikasi lebih jelas, kemampuan memberikan identitas digital pada *batch*/kemasan dan menghubungkannya dengan data digital memungkinkan tenaga kesehatan untuk memverifikasi keaslian obat, melengkapi intervensi sederhana seperti inspeksi visual dan uji cepat, transparansi dan integritas data yang lebih baik memungkinkan donor dan pemerintah memantau aliran obat dan penggunaan dana secara lebih akurat, sehingga meningkatkan akuntabilitas program bantuan obat. Namun, keterbatasan infrastruktur digital, listrik, konektivitas, dan SDM di LICs berarti bahwa implementasi *blockchain* harus realistis dan bertahap, difokuskan pada program prioritas (TB, HIV, malaria, vaksin) dan rantai distribusi yang sudah relatif terkonsolidasi. Tanpa investasi paralel pada penguatan sistem logistik, informasi, dan regulasi, risiko *pilot project* yang tidak berkelanjutan tetap besar. Dari uraian di atas, dapat disimpulkan bahwa kecocokan *blockchain* dengan profil masalah *supply chain* bersifat kontekstual: indikator-indikator efektivitas yang kuat (penurunan *traceability lead time*, peningkatan deteksi obat palsu, efisiensi proses, dan transparansi data) dapat diarahkan secara berbeda di HICs, UMICs/LMICs, dan LICs sesuai dengan jenis masalah dominan dan kapasitas sistem masing-masing.

5.4 Keterbatasan Penelitian

Meskipun penelitian ini memberikan wawasan yang penting mengenai penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam menginterpretasikan hasil yang diperoleh.

5.4.1 Keterbatasan pada Sumber dan Jenis Studi

Penelitian ini sebagian besar mengandalkan studi yang masih berada pada tahap konsep, simulasi, atau *proof-of-concept*, dengan sebagian besar data yang tersedia berasal dari uji coba terbatas atau *pilot project*. Hal ini membatasi generalitas temuan, terutama mengenai penerapan *blockchain* pada skala industri. Studi implementasi di lapangan nyata masih sangat terbatas, dan karena itu, keberlanjutan dan efektivitas penerapan *blockchain* dalam *supply chain* farmasi di dunia nyata belum dapat dipastikan.

5.4.2 Keterbatasan Indikator Kuantitatif

Tidak semua studi yang dianalisis menggunakan indikator yang terstandarisasi dalam mengukur efektivitas *blockchain*, seperti *recall time*, tingkat penurunan obat palsu, atau ukuran efisiensi yang seharusnya bisa dibandingkan. Akibatnya, analisis perbandingan antar studi hanya dapat dilakukan secara deskriptif, bukan menggunakan metode meta-analisis. Perbedaan dalam definisi dan pengukuran indikator juga membatasi kemampuan untuk menarik kesimpulan yang kuat tentang dampak langsung *blockchain* pada *supply chain* farmasi.

5.4.3 Keterbatasan Representasi Konteks Negara

Meskipun penelitian ini mencakup berbagai kategori pendapatan negara, representasi studi dalam dataset tidak merata. Bukti implementasi *blockchain* yang benar-benar operasional lebih banyak ditemukan pada negara berpendapatan tinggi (HICs). Sebagian besar studi pada UMICs/LMICs masih berupa simulasi, konsep, atau *proof-of-concept*, sehingga belum sepenuhnya menggambarkan kondisi implementasi di lapangan. Tidak ada artikel yang membahas implementasi *blockchain* di negara berpendapatan rendah (LICs). Hal ini menunjukkan bahwa penelitian mengenai penerapan *blockchain* di negara-negara berpendapatan rendah masih sangat terbatas. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut di negara-negara ini sangat diperlukan untuk mengeksplorasi penerapan *blockchain* dalam konteks yang lebih realistis dan dengan keterbatasan infrastruktur yang lebih besar.

5.4.4 Pendekatan *Secondary Data* melalui *Systematic Review*

Penelitian ini sepenuhnya mengandalkan data sekunder yang diperoleh melalui *systematic literature review* terhadap publikasi ilmiah yang tersedia, tanpa

melibatkan pengumpulan data primer di lapangan. Konsekuensinya, penelitian ini tidak dapat mengamati secara langsung dinamika implementasi *blockchain* dalam *supply chain* farmasi, termasuk aspek operasional harian, interaksi antar pemangku kepentingan, kesiapan sumber daya manusia, serta hambatan teknis dan organisasi yang muncul pada tahap implementasi nyata. Selain itu, ketergantungan pada literatur yang dipublikasikan membatasi kemampuan penelitian untuk menangkap variasi konteks implementasi yang bersifat spesifik lokasi, seperti perbedaan regulasi nasional, kapasitas infrastruktur digital, tingkat literasi teknologi, dan kepatuhan pelaku distribusi obat. Studi-studi yang direview juga cenderung melaporkan hasil dalam kondisi terkontrol (simulasi atau pilot), sehingga efektivitas *blockchain* dalam kondisi operasional rutin dan jangka panjang belum dapat dievaluasi secara komprehensif. Oleh karena itu, temuan penelitian ini lebih tepat ditafsirkan sebagai gambaran potensi, kecenderungan manfaat, dan area implementasi *blockchain* yang paling menjanjikan, bukan sebagai bukti kausal langsung terhadap peningkatan kinerja *supply chain* farmasi.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

1. Profil masalah *supply chain* farmasi berbeda antar kelompok Negara. Pada HICs, permasalahan didominasi oleh fragmentasi data, kompleksitas rantai pasok global, dan risiko *drug shortages*. Pada UMICs/LMICs, masalah utama berkaitan dengan ketergantungan impor, lemahnya koordinasi dan tata kelola, serta tingginya risiko peredaran obat substandard/falsified. Sementara itu, LICs menghadapi tantangan yang lebih mendasar berupa *stock-out* kronis obat esensial dan keterbatasan sistem serta infrastruktur logistik.
2. Tinjauan terhadap 44 studi menunjukkan bahwa, *blockchain* paling banyak digunakan untuk *traceability*, transparansi & integritas data, efisiensi proses, serta pencegahan/deteksi obat palsu, dan secara umum menunjukkan arah perbaikan pada indikator-indikator tersebut meski bukti kuantitatif implementasi nyata masih bervariasi.
3. *Blockchain* efektif untuk masalah data dan koordinasi antar pelaku *supply chain*. Pada HICs, *blockchain* berfungsi untuk mengintegrasikan data yang terfragmentasi dan meningkatkan *auditability*, tetapi tidak menggantikan infrastruktur yang sudah ada. Di UMICs/LMICs, *blockchain* relevan untuk memperkuat tata kelola data, transparansi pengadaan, dan mengurangi risiko obat palsu/substandard. Sementara itu, di LICs, penerapan *blockchain* perlu dilakukan secara bertahap, difokuskan pada *traceability* dasar, dan disesuaikan dengan keterbatasan infrastruktur dan kebutuhan logistik.

6.2 Saran

6.2.1 Saran bagi Praktik Kefarmasian dan Pengelola *Supply Chain*

1. Pengelola *supply chain* farmasi, termasuk apoteker, perlu diberikan pemahaman dasar tentang manfaat teknologi *blockchain* dalam meningkatkan *traceability*, verifikasi keaslian obat, dan pelaporan stok. Pemahaman ini penting agar apoteker di rumah sakit dan fasilitas

kesehatan dapat mengelola data obat dengan lebih akurat, serta memperkuat pengawasan distribusi obat.

2. Penerapan *blockchain* sebaiknya dimulai pada produk dengan risiko tinggi, seperti vaksin, produk biologis mahal, atau obat yang rawan dipalsukan. Penerapan ini akan membantu menguji manfaat langsung *blockchain* dalam meningkatkan keamanan dan transparansi distribusi obat, sebelum diterapkan pada produk lainnya.

6.2.2 Saran bagi Penelitian Selanjutnya

1. Penelitian selanjutnya perlu melakukan studi implementasi lapangan untuk menguji manfaat *blockchain* dalam *supply chain* farmasi operasional. Temuan dari studi yang masih bersifat konsep, simulasi, atau *proof-of-concept* perlu diuji lebih lanjut agar diketahui keberlanjutan dan efektivitas penerapan *blockchain* di skala industri.
2. Penelitian lanjutan perlu mengukur dampak penerapan *blockchain* dengan desain sebelum – sesudah atau komparatif, menggunakan indikator yang lebih terstandarisasi seperti perubahan *recall time*, penurunan insiden obat palsu, dan efisiensi biaya logistik.
3. Penelitian lebih lanjut bisa dilakukan di tingkat nasional atau pada program tertentu (misalnya vaksin, obat program nasional, atau distribusi obat rumah sakit rujukan) untuk melihat bagaimana *blockchain* dapat disesuaikan dengan kondisi regulasi, infrastruktur, dan sumber daya lokal yang berbeda-beda.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrawal, D., Minocha, S., Namasudra, S., & Gandomi, A. H. (2022). A robust drug recall supply chain management system using hyperledger blockchain ecosystem. *Computers in Biology and Medicine*, *140*, 105100. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2021.105100>
- Anitha, P., & Chandrasekaran, S. (2021). Blockchain based Lebesgue interpolated Gaussian secured information sharing for pharma supply chain. *International Journal of Intelligent Networks*, *2*, 204–213. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2021.11.002>
- Ashkar, G. L., Patel, K. S., de Jesus, J., Vinnakota, N., Helms, N., Jack, W., Chien, W., & Taylor, B. (2021). Evaluation of decentralized verifiable credentials to authenticate authorized trading partners and verify drug provenance. *Blockchain in Healthcare Today*, *4*, 168. <https://doi.org/10.30953/bhty.v4.168>
- Aslam, M., Jabbar, S., Abbas, Q., Albathan, M., Hussain, A., & Raza, U. (2023). Leveraging Ethereum platform for development of efficient tractability system in pharmaceutical supply chain. *Systems*, *11*(4), 202. <https://doi.org/10.3390/systems11040202>
- Badan Pengawas Obat dan Makanan Republik Indonesia. (2025). *Standar Cara Distribusi Obat yang Baik (CDOB)*. Jakarta: BPOM.
- Bandhu, K. C., Dubey, S., Venkatachalapathy, S., & Chandel, K. (2023). Multi-objective blockchain model for transparency, security, and drug traceability in pharmaceutical supply chains. *Multimedia Tools and Applications*, *82*, 23541–23568. <https://doi.org/10.1007/s11042-022-13828-1>
- Bapatla, A. K., Mohanty, S. P., & Kougianos, E. (2024). PharmaChain 3.0: Efficient tracking and tracing of drugs in pharmaceutical supply chain using blockchain integrated product serialization mechanism. *SN Computer Science*, *5*, 149. <https://doi.org/10.1007/s42979-023-02510-9>
- Bhuvaneshwari, P., Robinson, Y. H., & Bagya Lakshmi, M. (2025). BSVA: Blockchain-enabled secured vertical aggregation algorithm for transactions management in drug traceability framework. *Scientific Reports*, *15*, 27891. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-12641-z>
- Blockchain Council. (2023). *What is a permissioned blockchain?*. Retrieved from <https://www.blockchain-council.org/>
- Butt, F. B., Saeed, H., Mubarak, Z., Raza, S. A., Malik, U. R., & Hashmi, F. K. (2025). Pharmaceutical supply chain risks and risk management in Pakistan:

- A qualitative study. *PLOS ONE*, 20(4), e0322188. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0322188>
- Byreddy, M. R. (2025). Blockchain integration in pharmaceutical supply chain management: An analysis of SAP's enterprise solution. *Journal of Computer Science and Technology Studies*, 7(4), 786–791. <https://doi.org/10.32996/jcsts.2025.7.4.91>
- Byreddy, R. (2022). *Blockchain integration in pharmaceutical supply chains: A case study for enhancing efficiency*. *Journal of Pharmaceutical Logistics*, 12(4), pp. 250-264.
- California Health Benefits Review Program. (2025). *An overview of the drug supply chain*. University of California.
- Chien, W., de Jesus, J., Taylor, B., Dods, V., Alekseyev, L., Shoda, D., & Shieh, P. B. (n.d.). The last mile: DSCSA solution through blockchain technology: Drug tracking, tracing, and verification at the last mile of the pharmaceutical supply chain with BRUINchain. *Blockchain in Healthcare Today*, 3. Advance online publication. <https://doi.org/10.30953/bhty.v3.134>
- Cornelissen, N., Zielhuis, S. W., van den Bemt, P. M. L. A., & van den Bemt, B. J. F. (2025). Causes and management of drug shortages: A scoping review. *Research in Social and Administrative Pharmacy*. <https://doi.org/10.1016/j.sapharm.2025.10.008>
- Cundell, T. (2020). Controls to minimize disruption of the pharmaceutical supply chain during the COVID-19 pandemic. *PDA Journal of Pharmaceutical Science and Technology*. <https://doi.org/10.5731/pdajpst.2020.012021>
- D'souza, S., Nazareth, D., Vaz, C., & Shetty, M. (2021). Blockchain and AI in pharmaceutical supply chain. In *International Conference on Smart Data Intelligence (ICSMDI 2021)*.
- Dash, S., Ghugar, U., Godavarthi, D., & Mohanty, S. N. (2024). HCSRL: Hyperledger composer system for reducing logistics losses in the pharmaceutical product supply chain using a blockchain-based approach. *Scientific Reports*, 14, 13528. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-61654-7>
- Dwivedi, S. K., Amin, R., & Vollala, S. (2020). Blockchain based secured information sharing protocol in supply chain management system with key distribution mechanism. *Journal of Information Security and Applications*, 54, 102554. <https://doi.org/10.1016/j.jisa.2020.102554>
- European Medicines Agency. (2019). Falsified medicines: Overview. Retrieved December 16, 2025, from <https://www.ema.europa.eu/en/human-regulatory-overview/public-health-threats/falsified-medicines-overview>

- Faiva, E., Awucha, E. N., Hashim, H. T., Ramadhan, M. A., Musa, S. K., Bchara, J., Tuama, Y. D., Adebisi, Y. A., Kadhim, M. H., Essar, M. Y., Ahmad, S., & Lucero-Prisno, D. E., III. (2021). Drug supply shortage in Nigeria during COVID-19: Efforts and challenges. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, *14*, 17. <https://doi.org/10.1186/s40545-021-00302-1>
- Famous, M. S., Sayed, S., Mazumder, R., Khan, R. T., Kaiser, M. S., Hossain, M. S., Andersson, K., & Khondoker, R. (2025). Secure and efficient drug supply chain management system: Leveraging polymorphic encryption, blockchain, and cloud storage integration. *Cyber Security and Applications*, *3*, 100103. <https://doi.org/10.1016/j.csa.2025.100103>
- Fiore, M., Capodici, A., Rucci, P., Bianconi, A., Longo, G., Ricci, M., Sanmarchi, F., & Golinelli, D. (2023). Blockchain for the healthcare supply chain: A systematic literature review. *Applied Sciences*, *13*(2), 686. <https://doi.org/10.3390/app13020686>
- Ghadge, A., Bourlakis, M., Kamble, S. S., & Seuring, S. (2023). Blockchain implementation in pharmaceutical supply chains: A review and conceptual framework. *International Journal of Production Research*, *61*(19), 6633–6651. <https://doi.org/10.1080/00207543.2022.2125595>
- Gruchmann, T., Elgazzar, S., & Ali, A. H. (2023). Blockchain technology in pharmaceutical supply chains: A transaction cost perspective. *Modern Supply Chain Research and Applications*, *5*(2), 115–133. <https://doi.org/10.1108/MSCRA-10-2022-0023>
- Gupta, K., Shrivastava, P., & Bhanja, M. (2025). Blockchain-enabled supply chains for pharmaceutical products: A multidisciplinary approach to engineering, law, IT, and business. *Lex Localis – Journal of Local Self-Government*, *23*(S4).
- Hu, S., Santhireswaran, A., Chu, C., Chaudhry, S., Yang, C., Fang, Y., Suda, K. J., Gaudette, E., Grundy, Q., & Tadrous, M. (2025). The association between drug shortages and prices across 74 countries: Uncovering global access inequities. *BMJ Global Health*, *10*(11), e018960. <https://doi.org/10.1136/bmjgh-2025-018960>
- Investopedia. (2023). *Consortium blockchain definition*. Retrieved from <https://www.investopedia.com/>
- Islam, I., & Islam, M. N. (2024). A blockchain based medicine production and distribution framework to prevent medicine counterfeit. *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, *36*, 101851. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2023.101851>
- Jangir, S., Muzumdar, A., Jaiswal, A., Modi, C. N., Chandel, S., & Vyjayanthi, C. (2019). A novel framework for pharmaceutical supply chain management

- using distributed ledger and smart contracts. In *2019 10th International Conference on Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT)*. IEEE.
- Jifar, W. W., Geneti, G. B., & Dinssa, S. D. (2022). The impact of COVID-19 on pharmaceutical shortages and supply disruptions for non-communicable diseases among public hospitals of South West, Oromia, Ethiopia. *Journal of Multidisciplinary Healthcare*, *15*, 1933–1943. <https://doi.org/10.2147/JMDH.S377319>
- Kasyapa, M. S. B., & Vanmathi, C. (2024). Blockchain integration in healthcare: A comprehensive investigation of use cases, performance issues, and mitigation strategies. *Frontiers in Digital Health*, *6*, 1359858. <https://doi.org/10.3389/fdgth.2024.1359858>
- Khan, A., Shrivastava, S. T., & Chandrakar, E. (2025). Digital transformation in pharmaceutical supply chains: Blockchain, AI, engineering, and legal considerations. *Lex Localis – Journal of Local Self-Government*, *23*(S4).
- Khan, A., Siddiqui, M., & Yadav, R. (2022). *Blockchain-based approach for supply chain traceability in pharmaceutical industry*. *International Journal of Pharmaceutical Sciences*, *58*(4), pp. 230–245.
- Korede, S.R., Valente de Almeida, S., Gheorghe, A., Njenga, S., Silva, W., & Hauck, K. (2023). *Dampak Kesehatan, Ekonomi, dan Sosial dari Obat-obatan yang Tidak Memenuhi Standar dan Dipalsukan di Negara-negara Berpendapatan Rendah dan Menengah: Tinjauan Sistematis tentang Pendekatan Metodologis*. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, *109*(2), pp. 228-240. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.22-0525>. PMID: PMC10397424. PMID: 37339762.
- Kumar, A., Bhargava, A., Upadhyay, A., Avadhani, G. S., & Pandey, S. (2019). Combating counterfeit drugs: A quantitative analysis on cracking down the fake drug industry by using blockchain technology. In *2019 9th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)* (pp. 174–178). IEEE. <https://doi.org/10.1109/CONFLUENCE.2019.8776946>
- Kumiawan, H., Kim, J. & Ju, H. (2020). *Utilization of the Blockchain Network in The Public Community Health Center Medicine Supply Chain*. *Proceedings of the Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 235-238. <https://doi.org/10.23919/APNOMS50412.2020.9237042>.
- Kutybayeva, K., Razaque, A., & Rai, H. M. (2025). Enhancing pharmaceutical supply chain transparency and security with blockchain and big data integration. *Procedia Computer Science*, *259*, 1511–1522. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.04.106>

- Leung, N.-H. Z., Chen, A., Yadav, P., & Gallien, J. (2016). The impact of inventory management on stock-outs of essential drugs in Sub-Saharan Africa: Secondary analysis of a field experiment in Zambia. *PLOS ONE*, *11*(5), e0156026. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0156026>
- Liu, S., Zhang, R., Liu, C., & Shi, D. (2023). P-PBFT: An improved blockchain algorithm to support large-scale pharmaceutical traceability. *Computers in Biology and Medicine*, *154*, 106590. <https://doi.org/10.1016/j.compbiomed.2023.106590>
- Liu, X., Vatankhah Barenji, A., Li, Z., Montreuil, B., & Huang, G. Q. (2021). Blockchain-based smart tracking and tracing platform for drug supply chain. *Computers & Industrial Engineering*, *161*, 107669. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107669>
- Lucero-Prisno, D. E., III, Elhadi, Y. A. M., Modber, M. A. A., Musa, M. B., Mohammed, S. E. E. M., Hassan, K. F., Dafallah, A., Lin, X., Ahmadi, A., Adeyemi, S., Ekpenyong, A., & Adebisi, Y. A. (2020). Drug shortage crisis in Sudan during the COVID-19 pandemic: Impact and mitigation strategies. *Public Health in Practice*, *1*, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.puhip.2020.100060>
- Mani, V., Prakash, M., & Lai, W. C. (2022). Cloud-based blockchain technology to identify counterfeits. *Journal of Cloud Computing*, *11*, 67. <https://doi.org/10.1186/s13677-022-00341-2>
- Mars, R., Youssouf, J., Cheikhrouhou, S., & Turki, M. (2021). Towards a blockchain-based approach to fight drugs counterfeit. In *Tunisian Algerian Conference on Applied Computing (TACC 2021)*. CEUR Workshop Proceedings.
- Mazher, N., & Azmat, H. (n.d.). Blockchain and AI for transparency in pharma supply chains. *NUZM Journal of Multidisciplinary Research*, *1*(1), 26–31.
- Mishra, R., Ramesh, D., Mohammad, N., & Mondal, B. (2024). Blockchain enabled secure pharmaceutical supply chain framework with traceability: An efficient searchable PharmaChain approach. *Research Square*. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3887972/v1>
- Munasinghe, U. J., & Halgamuge, M. N. (2023). Supply chain traceability and counterfeit detection of COVID-19 vaccines using novel blockchain-based Vacledder system. *Expert Systems with Applications*, *228*, 120293. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.120293>
- Musamih, A., Salah, K., Jayaraman, R., Arshad, J., Debe, M., Al-Hammadi, Y., & Ellahham, S. (2021). A blockchain-based approach for drug traceability in healthcare supply chain. *IEEE Access*, *9*, 9728–9743. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049920>

- Naga Sudha, C. M., & Jesu Vedha Nayahi, J. (2024). TrackChain: Hyperledger based pharmaceutical supply chain – Resource utilization perspective. *Heliyon*, *10*(1), e23250. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e23250>
- Naughton, B. D. (2021). Medicine quality in high-income countries: The obstacles to comparative prevalence studies. *Medicine Access @ Point of Care*, *5*, 1–8. <https://doi.org/10.1177/239920262111052272>
- Nawaz, A., Wang, L., Irfan, M., & Westerlund, T. (2024). Hyperledger Sawtooth based supplychain traceability system for counterfeit drugs. *Computers & Industrial Engineering*, *190*, 110021. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2024.110021>
- Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights. (2025). *Bridging the global gap in access to essential medicines*.
- Ozawa, S., Haynie, D. G., Bessias, S., Laing, S. K., Ngamasana, E. L., Yemeke, T. T., & Evans, D. R. (2019). Modeling the economic impact of substandard and falsified antimalarials in the Democratic Republic of the Congo, Nigeria, Uganda, and Zambia. *American Journal of Tropical Medicine and Hygiene*, *100*(5), 1149–1157. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.18-0852>
- Padma, A., & Ramaiah, M. (2024). Blockchain based solution for secure information sharing in pharma supply chain management. *Heliyon*, *10*(22), e40273. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e40273>
- Peron, M., Saporiti, N., Pozzi, R., & Ciano, M. P. (2025). Blockchain in the pharmaceutical sector: Empirical evidence on the associated challenges and countermeasures. *International Journal of Production Economics*, *288*, 109685. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2025.109685>
- Perumalsamy, S., & Kaliyamurthy, V. (2023). Leveraging blockchain with optimal deep learning-based drug supply chain management for pharmaceutical industries. *CMC-Computers, Materials & Continua*, *77*(2).
- Popoola, O.O., Madhur, G., Mehrim, M.M., Omondi, M.O., Owusu-Mensah, P., Mamtani, S.A., & Etukakpan, A.U. (2022). A literature review on the global burden and impact of substandard and falsified medicine. *Annals of Public Health Issues*, *4*(1), 1–16.
- Samundeswari, S., Lalitha, V., Kavitha, V., Harini, M., Dharshini, T., & Srinithi, S. (2023). Supply chain management of dual-use drugs using blockchain. *Procedia Computer Science*, *230*, 388–397. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.12.094>
- Sangwan, K. S., Sharma, M., & Kumari, S. (2025). Blockchain-enabled solution for transparency and waste minimization in pharmaceutical supply chains.

Procedia CIRP, 135, 1064–1069.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2024.09.143>

- Schiavetti, B., Wynendaele, E., Melotte, V., Van der Elst, J., De Spiegeleer, B., & Ravinetto, R. (2020). A simplified checklist for the visual inspection of finished pharmaceutical products: A way to empower frontline health workers in the fight against poor-quality medicines. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 13, 9. <https://doi.org/10.1186/s40545-019-0185-2>
- Shaikh, M., Memon, S. A., Ebrahimi, A., & Wiil, U. K. (2025). A systematic literature review for blockchain-based healthcare implementations. *Healthcare*, 13(9), 1087. <https://doi.org/10.3390/healthcare13091087>
- Sharma, P., & Syed Sabir Ali, S. S. A. (2024). Enhancing pharmaceutical supply chains through blockchain technology on Hyperledger Fabric implementation. *Angiotherapy*, 8(9), 1–7. <https://doi.org/10.25163/angiotherapy.899872>
- Shruthi, K., & Poornima, A. S. (n.d.). *An approach based on blockchain technology to confirm the counterfeit-free pharmaceutical supply chain*.
- Shukar, S., Zahoor, F., Hayat, K., Saeed, A., Gillani, A. H., Omer, S., et al. (2021). Drug shortage: Causes, impact, and mitigation strategies. *Frontiers in Pharmacology*, 12, 693426. <https://doi.org/10.3389/fphar.2021.693426>
- Sim, C., Zhang, H., & Chang, M. L. (2022). Improving end-to-end traceability and pharma supply chain resilience with blockchain. *Blockchain in Healthcare Today*, 5. <https://doi.org/10.30953/bhty.v5.231>
- Suda, K. J., Wooldridge, J. A., Lester, H. M., Dutcher, S. K., Rothenberger, S. D., Shrank, W., Hershey, T. B., Hernandez, I., & Gellad, W. F. (2022). The global impact of COVID-19 on drug purchases: A cross-sectional time series analysis. *Journal of the American Pharmacists Association*, 62(6), 766–774. <https://doi.org/10.1016/j.japh.2022.06.004>
- Tadrous, M., Callaway Kim, K., Hernandez, I., Rothenberger, S. D., Devine, J. W., Hershey, T. B., Maillart, L. M., Gellad, W. F., & Suda, K. J. (2024). Differences in drug shortages in the US and Canada. *JAMA*, 332(22), 1912–1922. <https://doi.org/10.1001/jama.2024.17688>
- Tanwar, S. (2022). *Blockchain technology: From theory to practice*. Singapore: Springer.
- Torky, M., et al. (2023). Addressing challenges: Adopting blockchain technology in the pharmaceutical industry to enhance sustainability performance. *Sustainability*, 16(8), 3102. <https://doi.org/10.3390/su16083102>

- Tucker, E. L., & Daskin, M. S. (2022). Pharmaceutical supply chain reliability and effects on drug shortages. *Computers & Industrial Engineering*, 169, 108258. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108258>
- Turki, M., Cheikhrouhou, S., Dammak, B., Baklouti, M., Mars, R., & Dhahbi, A. (2023). NFT-IoT Pharma Chain: IoT drug traceability system based on blockchain and non-fungible tokens (NFTs). *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 35, 527–543. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2022.12.016>
- U.S. Food and Drug Administration. (2023, September). DSCSA standards for the interoperable exchange of information for tracing of certain human, finished, prescription drugs: Guidance for industry. Retrieved December 16, 2025, from <https://www.fda.gov/regulatory-information/search-fda-guidance-documents/dscsa-standards-interoperable-exchange-information-tracing-certain-human-finished-prescription-drugs>
- Uddin, M., Salah, K., Jayaraman, R., Pesic, S., & Ellahham, S. (2021). Blockchain for drug traceability: Architectures and open challenges. *Health Informatics Journal*, 27(2). <https://doi.org/10.1177/14604582211011228>
- Upadhyay, A., Bhargava, A., & Kumar, J. S. (2023). Investigating to detect the fake medicines using blockchain technology. *Research Square*. Advance online publication. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3003120/v1>
- Uwizeyimana, T., Songa, J., Bikorimana, F., etc. (2021). Availability, affordability and stock-outs of essential medicines in public hospitals in Rwanda: A cross-sectional study. *Journal of Pharmaceutical Policy and Practice*, 14, 12. <https://doi.org/10.1186/s40545-021-00285-z>
- Vilas Boas, J. L., de Almeida, E. A., Lins, R. D., & Braga, R. (2025). Coldnet: Vaccine logistics tracking by integrating the Internet of Things and smart contracts: An immutable and reliable approach. *Blockchain: Research and Applications*, 100386. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2025.100386>
- Vyas, S., Shukla, V. K., Gupta, S., & Prasad, A. (Eds.). (2022). *Blockchain technology: Exploring opportunities, challenges, and applications*. Boca Raton, FL: CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003138082>
- Wang, Z., Wang, L., Xiao, F., Chen, Q., Lu, L., & Hong, J. (2021). A traditional Chinese medicine traceability system based on lightweight blockchain. *Journal of Medical Internet Research*, 23(6), e25946. <https://doi.org/10.2196/25946>
- Wason, R. (2024). *Blockchain-enabled solutions for the pharmaceutical industry*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.

- World Health Organization. (2017, November 28). 1 in 10 medical products in developing countries is substandard or falsified. Retrieved December 16, 2025, from <https://www.who.int/news/item/28-11-2017-1-in-10-medical-products-in-developing-countries-is-substandard-or-falsified>
- World Health Organization. (2023). *Substandard and falsified medical products* (Fact sheet).
- World Health Organization. (2024, December 3). Substandard and falsified medical products. Retrieved December 16, 2025, from <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/substandard-and-falsified-medical-products>
- World Health Organization. (2025). *WHO report highlights gaps and opportunities in detecting substandard and falsified medical products*
- Xie, W., Wang, B., Ye, Z., Wu, W., You, J., & Zhou, Q. (2019). Simulation-based blockchain design to secure biopharmaceutical supply chain. In N. Mustafee, K.-H. G. Bae, S. Lazarova-Molnar, M. Rabe, C. Szabo, P. Haas, & Y.-J. Son (Eds.), *Proceedings of the 2019 Winter Simulation Conference*. IEEE.
- Yadav, A. S., Charles, V., Gherman, T., Kumar, V., Pawar, V., & Chaudhary, N. (2025). PharmChain: A data-driven scenario-based drug traceability and regulation blockchain framework. *Decision Analytics Journal*, *17*, 100620. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2025.100620>
- Yi, X., Yang, G., Kelarev, A., Lam, K.-Y., & Tari, Z. (2022). *Blockchain foundations and applications*. Cham: Springer.
- Zakari, N., Al-Razgan, M., Alsaadi, A., Alshareef, H., Al Saigh, H., Alashaikh, L., Alharbi, M., Alomar, R., & Alotaibi, S. (2022). Blockchain technology in the pharmaceutical industry: A systematic review. *PeerJ Computer Science*, *8*, e840. <https://doi.org/10.7717/peerj-cs.840>
- Zoughalian, K., Mostafa, S. A., Hassan, M. H., Sangaiah, A. K., & Chao, H.-C. (2022). A blockchain secured pharmaceutical distribution system to fight counterfeit drugs. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *19*, 4091. <https://doi.org/10.3390/ijerph19074091>

LAMPIRAN

Lampiran 1 Surat Penetapan Dosen Pembimbing



**YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL**

Jl. Moh. Kahfi II, Dhumi Srengeng Indah, Jagatasa, Jakarta Selatan 12640 Telp. (021) 727 0090, 707 4045,
707 4047 Fax. (021) 706 6955, <http://www.istn.ac.id> E-mail: rektor@istn.ac.id

**SURAT PENETAPAN DOSEN PEMBIMBING DAN
PENETAPAN JUDUL TUGAS AKHIR**

Nomor: 149/05-D.11/TK/2025

Program Studi Farmasi Fakultas Farmasi – Institut Sains dan Teknologi Nasional, menunjuk dan menetapkan yang namanya tercantum dibawah ini sebagai Dosen Pembimbing Tugas Akhir :

Pembimbing I - ISTN :

Nama : apt. Jenny Pontoan, M. Farm
Jabatan / Pangkat : Lektor
NIDN : 0303018201

Pembimbing II- ISTN :

Nama : apt. Siswati, M. Farm
Jabatan / Pangkat : Tenaga Pendidik
NIDN : 0314127505

Mahasiswa yang dibimbing adalah :

Nama : Sylvana Kui
Nomor Pokok : 23330741
Jurusan / Bidang : Farmasi / B (Klinis)

Dengan topik / judul skripsi yang disetujui adalah :


Meta Analisis: Kajian Tata Kelola dan Efisiensi Sistem Distribusi Obat di Indonesia Melalui Perspektif Ranta Pasok Nasional

Jakarta, 12 September 2025
Kepala Program Studi Farmasi FF-ISTN

Dr. apt. Subaryanti, M.Si.

Tembusan :
1. Dekan Fakultas Farmasi ISTN
2. Arsip

Lampiran 2 Surat Bebas Perpustakaan

 <p> INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL FAKULTAS FARMASI Jl. Moh. Kahfi II Strenseng Sawah Jagakarsa Jakarta Selatan 12640 </p>	FORM (FR)	No. Dok. : FF-PS-Farmasi-002
		Tgl. Terbit : 26 Desember 2022
		No. Revisi : 00
		Hal : 1/1
SURAT KETERANGAN BEBAS PERPUSTAKAAN FARMASI		

Orang yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Sylvana Kui
 NIM : 23330741
 Program Studi : S1 Farmasi
 Email/Handphone : kuisylvana@gmail.com Hp: 089530068218
 Judul Penelitian : Efektivitas Blockchain Dalam Supply Chain Farmasi :
 Systematic Literature Review
 Nama Pembimbing : 1. apt. Jenny Pontoan, M.Farm
 2. apt. Siswati, M.Farm

Telah bebas tanggungan dan denda/pinjaman koleksi buku di Perpustakaan Program Studi S1 Farmasi, Fakultas Farmasi Institut Sains Dan Teknologi Nasional (ISTN). Demikian surat ini dibuat dan dapat digunakan sesuai dengan keperluannya.

Jakarta, 4 Desember 2025

Mahasiswa



Sylvana Kui

Mengetahui,
 Petugas Perpustakaan

 Saefulloh