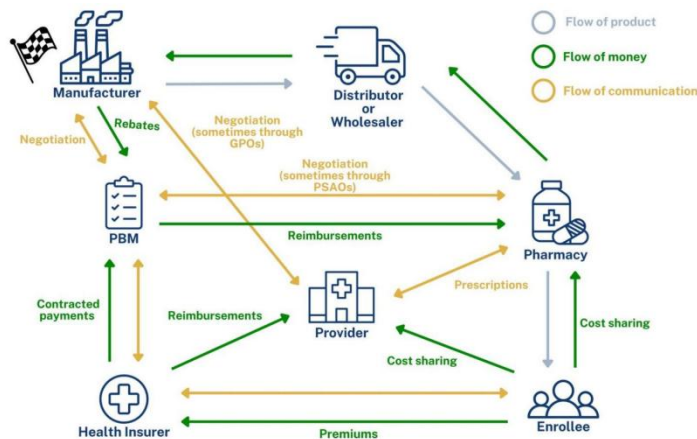


BAB 2

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, psiktropika, prekursor farmasi, dan obat-obat tertentu yang sering disalahgunakan

CDOB juga memuat ketentuan khusus untuk narkotika, psiktropika, 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.