

# BAB I

## PENDAHULUAN

Bab ini membahas mengenai latar belakang, rumusan masalah, manfaat dan tujuan, ruang lingkup, dan sistematika penulisan yang mendasari skripsi ini.

### 1.1 Latar Belakang

Industri farmasi menghadapi tantangan serius dalam rantai pasok obat baik secara global maupun di Indonesia. Secara global, peredaran obat palsu dan produk farmasi substandar telah mencapai tingkat yang mengkhawatirkan. Organisasi Kesehatan Dunia (WHO) melaporkan bahwa setidaknya 1 dari 10 obat di negara berpenghasilan rendah dan menengah adalah substandar atau palsu dengan kerugian diperkirakan mencapai US\$ 30 miliar setiap tahun (WHO, 2024). Di luar kerugian ekonomi yang diproyeksikan melebihi US\$ 30 miliar setiap tahunnya, biaya manusia yang harus ditanggung jauh lebih tragis. Analisis epidemiologis menunjukkan bahwa antara 72.000 hingga 169.000 anak meninggal setiap tahun akibat pneumonia karena diobati dengan antibiotik palsu yang tidak memiliki khasiat terapeutik, sementara obat antimalaria palsu berkontribusi pada tambahan angka kematian sebanyak 116.000 jiwa per tahun di wilayah sub-Sahara Afrika (PharmaLedger, 2020).

Permasalahan rantai pasok obat tidak terbatas pada isu pemalsuan. Inefisiensi distribusi dan kurangnya transparansi dalam rantai pasok turut menjadi sorotan. Rantai pasok obat modern melibatkan banyak pemangku kepentingan (pabrik, distributor, apotek, rumah sakit, hingga pasien) dengan alur distribusi yang kompleks dan sering terfragmentasi. Kurangnya visibilitas (transparansi) *end-to-end* membuat sulit untuk melacak asal-usul dan pergerakan obat secara real-time. Akibatnya, ketika terjadi penarikan obat (*recall*) atau deteksi produk bermasalah, penanganannya kerap lambat dan tidak efisien. WHO mencatat bahwa rantai pasok obat yang panjang dengan banyak perantara meningkatkan risiko pemalsuan dan penyelundupan di sepanjang jalur distribusi (WHO, 2024).

Kemajuan teknologi menawarkan peluang untuk mengatasi permasalahan klasik rantai pasok obat di atas. Salah satu inovasi yang menonjol adalah teknologi

*blockchain*, khususnya dengan pemanfaatan *smart contract*. *Blockchain* merupakan sistem pencatatan digital terdistribusi yang tersimpan di banyak node komputer, sehingga sulit dimanipulasi atau dipalsukan. Setiap transaksi atau perpindahan barang yang terekam dalam *blockchain* akan membentuk sebuah blok yang terenkripsi dan terhubung secara kronologis dengan blok sebelumnya, menciptakan rantai data yang *immutability* (tidak dapat diubah secara sepihak). Menurut penelitian Ismail dkk. (2025), penerapan *blockchain* dapat meningkatkan transparansi, akuntabilitas, dan kepatuhan regulasi dalam rantai pasok obat melalui mekanisme ledger terdesentralisasi (Ismail, 2025). Artinya, semua pihak yang berwenang (misal produsen, distributor, regulator) dapat mengakses informasi yang sama secara *real-time*, sehingga mencegah asimetri informasi dan memudahkan deteksi dini jika terjadi anomali (misalnya obat yang hilang atau disusupi produk palsu).

Salah satu fitur unggulan *blockchain* adalah kemampuan mendukung *smart contract*, yaitu potongan kode program yang tersimpan di *blockchain* dan dieksekusi otomatis saat kondisi tertentu terpenuhi. Dalam konteks distribusi obat, *smart contract* dapat diprogram untuk mengotomatisasi proses verifikasi dan penelusuran. Sebagai contoh, *smart contract* dapat memastikan bahwa setiap unit obat memiliki identitas unik (serial) dan mengatur perpindahan kepemilikan obat secara sah dari satu entitas ke entitas berikutnya. Setiap kali produk berpindah dari produsen ke distributor, atau distributor ke apotek, *smart contract* akan mengeksekusi transaksi perpindahan tersebut hanya jika memenuhi aturan yang disepakati (misalnya hanya pihak berizin yang boleh menyerahkan/ menerima barang, dan tidak ada catatan produk tersebut pernah disalin atau dipalsukan). Dengan mekanisme ini, *blockchain* menegakkan aturan bisnis secara otomatis sekaligus mencatat jejak transaksi yang permanen, sehingga memperkuat integritas rantai pasok (Yadav, 2025).

Selain mencegah pemalsuan melalui kontrol kepemilikan, *blockchain* memungkinkan pelacakan asal-usul (*provenance*) yang transparan. Informasi penting seperti sumber bahan baku, tanggal produksi, nomor *batch*, hingga riwayat penyimpanan dan transportasi (termasuk pengendalian suhu), dapat direkam di *blockchain* dan diakses sepanjang rantai pasok (Kshetri, 2018). Dengan demikian,

jika ditemukan produk cacat atau palsu, asal-usulnya dapat ditelusuri dengan cepat dan akurat, mempercepat proses *recall* dan investigasi.

Transisi menuju sistem terdesentralisasi pada Ethereum Mainnet (Layer-1) terhambat oleh kendala skalabilitas (15-30 transaksi per detik) yang memicu lonjakan biaya transaksi. Dengan biaya pencatatan obat mencapai \$5-\$15 per *batch* dan *deployment* hingga \$150, adopsi teknologi ini menjadi tidak layak secara ekonomi (*economically unfeasible*) bagi industri farmasi bervolume tinggi. Estimasi menunjukkan beban operasional dapat mencapai \$5.000.000 per tahun untuk produksi 1 juta *batch*, menciptakan paradoks di mana solusi keamanan yang krusial justru terlalu mahal untuk diterapkan.

Penelitian ini menerapkan pendekatan pengembangan purwarupa (*prototype smart contract*) untuk memodelkan entitas dan peristiwa kunci dalam rantai pasok farmasi, mulai dari produksi hingga dispensasi, guna menegakkan aturan bisnis serta menjamin jejak audit yang *immutable* demi kepatuhan serialisasi. Sebagai terobosan teknis dan ekonomis dibandingkan penelitian sebelumnya yang umumnya terkendala biaya tinggi pada *Ethereum Layer-1*, penelitian ini mengimplementasikan arsitektur jaringan Base (*Ethereum Layer-2*) berbasis teknologi *Optimistic Rollup*. Mekanisme ini memungkinkan pemrosesan ratusan transaksi secara *off-chain* yang kemudian dikompresi menjadi satu bukti kriptografis, sehingga sistem mampu mewarisi keamanan *Ethereum Layer-1* namun dengan biaya transaksi yang direduksi drastis hingga di bawah \$0.01. Dengan demikian, arsitektur ini menawarkan solusi konkret terhadap *Blockchain Trilemma* dengan menyeimbangkan desentralisasi, keamanan, dan skalabilitas secara simultan.

Dengan latar belakang ini, penelitian bertujuan merancang dan mengembangkan purwarupa end-to-end yang menggabungkan *smart contract* untuk *track-and-trace*, integrasi serialisasi sesuai praktik regulatori, dan dashboard sederhana sebagai antarmuka keputusan. Sistem yang diusulkan diharapkan membantu BPOM, Kementerian Kesehatan, industri farmasi besar, dan Distributor dalam menekan peredaran obat palsu, mempercepat penarikan *batch* bermasalah, mengurangi biaya audit tahunan, serta meningkatkan transparansi dan akuntabilitas distribusi obat.

## 1.2 Rumusan Masalah

Data mengenai status *batch*, kepemilikan, dan keaslian obat adalah elemen kunci bagi pengawasan distribusi dan penarikan kembali (*recall*). Namun, fragmentasi data lintas pelaku (pabrik/industri farmasi, distributor, fasilitas pelayanan kefarmasian, dan regulator) membuat jumlah, format, serta kualitas data yang masuk tidak seragam. Di sisi lain, proses pencatatan dan verifikasi masih dominan off-chain menggunakan *Enterprise Resource Planning* (ERP) atau *Warehouse Management System* (WMS) internal, spreadsheet, maupun laporan manual, sehingga jejak audit *end-to-end* sulit ditelusuri, deteksi duplikasi/pemalsuan tidak selalu cepat, dan *recall* kerap terlambat. Diperlukan mekanisme yang mampu menyatukan jejak transaksi lintas sistem sekaligus menegakkan aturan bisnis secara otomatis agar keterlacakan dan akuntabilitas meningkat tanpa bergantung pada satu pihak terpusat.

Berdasarkan latar belakang yang sudah dipaparkan di atas, maka rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang arsitektur *smart contract* yang mampu menerjemahkan logika bisnis rantai pasok farmasi yang kompleks ke dalam kode yang terdesentralisasi dan aman?
2. Bagaimana mengatasi hambatan biaya gas tinggi dalam adopsi *blockchain* melalui implementasi Optimistic Rollup pada jaringan Base tanpa mengorbankan keamanan data, serta analisis perbandingan penghematan biayanya terhadap solusi Layer-1?
3. Bagaimana efisiensi penyimpanan data *on-chain* melalui teknik pemrograman tingkat lanjut seperti optimasi struktur data (*struct packing*), serta metode validasi keamanan sistem dari kerentanan umum *smart contract*?

## 1.3 Tujuan dan Manfaat

Berdasarkan rumusan masalah yang telah disusun maka tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Membangun purwarupa sistem track-and-trace berbasis *Smart contract* yang fungsional, mencakup fitur manajemen siklus hidup obat (*minting, transfer,*

*recall*) dengan mekanisme kontrol akses berbasis peran (Role-Based Access Control / RBAC).

2. Membuktikan secara empiris bahwa penggunaan jaringan Base (Layer-2) mampu menurunkan biaya operasional pencatatan data distribusi obat menjadi kurang dari 1% dibandingkan biaya pada Ethereum Layer-1, menjadikannya solusi yang layak untuk industri skala besar.

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini, yaitu:

1. Artefak diharapkan dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan Kementerian Kesehatan/industri dalam meningkatkan pengawasan distribusi.
2. Artefak diharapkan dapat membantu mengurangi peredaran obat palsu dari tangan orang yang tidak bertanggung jawab dan dapat dikembangkan sesuai kebijakan masing masing.

#### **1.4 Ruang Lingkup**

Ruang lingkup atau batasan masalah dalam penelitian “Desain Arsitektur *Smart Contract* yang Efisien dan Aman untuk Sistem Pelacakan Distribusi Obat” adalah:

1. Fokus Pengembangan Sistem Penelitian ini dibatasi pada perancangan dan implementasi teknis *smart contract* untuk fungsi utama rantai pasok (registrasi *batch*, transfer kepemilikan, validasi, dan penandaan *recall*) menggunakan fitur keamanan Role-Based Access Control (RBAC).
2. Integrasi dan Data Sistem yang dibangun merupakan purwarupa (*prototype*) yang berdiri sendiri (*standalone*), sehingga tidak mencakup integrasi dengan sistem eksternal (seperti ERP, WMS, atau SATUSEHAT).
3. Pengujian hanya menggunakan data sintetis (bukan data produksi riil) untuk keperluan simulasi.
4. Penelitian ini membatasi evaluasi keamanan pada empat kerentanan umum, yaitu *Integer Overflow/Underflow*, *Reentrancy*, *Unauthorized Access*, dan *Denial of Service* (DoS).

## 1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini mengikuti sistematika penulisan dokumen tugas akhir supaya pembaca dapat memahami hal yang disampaikan dalam dokumen dengan lebih mudah. Sistematika penulisan yang digunakan dalam dokumen tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

### BAB I PENDAHULUAN

Bab ini memuat lima subbab, meliputi latar belakang permasalahan rantai pasok obat dan urgensi solusi berbasis *smart contract*, rumusan masalah yang dirumuskan dari celah keterlacakan dan fragmentasi data, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup dan batasan (purwarupa *smart contract* Ethereum) serta sistematika penulisan.

### BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi kajian teori mengenai *blockchain*, *smart contract*, Ethereum, sistem distribusi obat, serta kontrol akses berbasis peran. Juga memuat hasil kajian pustaka dari penelitian terdahulu, serta identifikasi *research gap* yang menjadi dasar pemilihan fokus penelitian ini.

### BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan pendekatan *Design Science Research* (DSR) yang digunakan, tahapan penelitian (identifikasi kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, model data *batch/lot/serial*, desain *smart contract* termasuk fungsi utama dan kontrol akses peran, kebijakan keamanan/privasi data), dan skenario uji serta metrik evaluasi sistem.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi *smart contract* *MedicineSupplyChain.sol* dan dashboard/Dapp, diantaranya, struktur kode, proses deployment, antarmuka pengguna, integrasi pembacaan kode 2D/serial, serta hasil pengujian skenario (pelacakan asal-usul, deteksi duplikasi/anomali, penandaan *recall*) disertai analisis metrik

performa (latensi, throughput, akurasi). Dibahas pula evaluasi keberhasilan pencapaian tujuan penelitian dan keterbatasan purwarupa.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menyampaikan kesimpulan atas hasil penelitian dan pemenuhan tujuan, serta memberikan saran pengembangan lebih lanjut terhadap sistem yang dibangun maupun arah penelitian lanjutan.