

ABSTRAK

Sistem Renewable Energy Certificate (REC) memerlukan mekanisme pencatatan transaksi yang transparan, andal, dan dapat diaudit untuk menjamin integritas data serta mendukung verifikasi sertifikat energi terbarukan. Teknologi blockchain, khususnya Hyperledger Fabric sebagai permissioned blockchain, menawarkan pencatatan yang bersifat immutable melalui implementasi chaincode. Namun, performa sistem sangat dipengaruhi oleh kemampuan lapisan chaincode dan middleware dalam menangani peningkatan beban transaksi secara konkuren. Penelitian ini melakukan analisis performa sistem REC berbasis Hyperledger Fabric yang melibatkan tiga entitas utama, yaitu generator, issuer, dan buyer, dalam satu jaringan blockchain terdistribusi. Pengujian dilakukan menggunakan dua instrumen yang saling melengkapi, yaitu Hyperledger Caliper sebagai baseline pengukuran pada lapisan chaincode melalui Fabric SDK dan Apache JMeter untuk pengukuran full-stack pada lapisan REST API melalui middleware Node.js, dengan skenario load testing (100 hingga 1.100 transaksi) dan stress testing (2.000 hingga 12.000 transaksi). Parameter yang diukur meliputi success rate, latency, throughput, dan error rate, dilengkapi analisis kompleksitas Big O pada fungsi query utama chaincode. Hasil load testing menunjukkan lapisan chaincode mencapai peak throughput 34,7 TPS dengan success rate 100% pada beban hingga 700 transaksi, sedangkan lapisan full-stack mempertahankan success rate 100% pada seluruh skenario namun throughput terkunci pada plafon sekitar 10 TPS. Hasil stress testing mencatat kapasitas operasional aman 4.000 transaksi pada lapisan chaincode dan 2.000 transaksi pada lapisan full-stack, dengan selisih 50% yang mengindikasikan saturasi terjadi pada lapisan middleware. Analisis komparatif memperkuat temuan bahwa bottleneck utama sistem berada pada middleware Node.js akibat keterbatasan event loop single-threaded, bukan pada jaringan Fabric. Analisis Big O pada fungsi getAllCertificates dan getAllPurchasedCertificates menghasilkan kompleksitas waktu $O(N)$, yang berpotensi menjadi bottleneck struktural pada skala produksi. Hasil penelitian menunjukkan sistem REC berbasis Hyperledger Fabric layak dioperasikan pada beban normal, namun memerlukan optimasi terarah pada lapisan middleware dan pola akses data chaincode untuk mendukung skalabilitas pada beban tinggi dan volume ledger yang besar.

Kata kunci: Renewable Energy Certificate (REC); Blockchain; Hyperledger Fabric; Chaincode; Apache JMeter; Load Testing; Stress Testing