



Dampak Ekologis Implementasi *Blockchain* Dan *Cryptocurrency* Di Era Digital

Rico Cito Purba

Universitas Mikroskil

Marince Lumbanraja

Universitas Mikroskil

Agnes Ulina Raelsi Raja Gukguk

Universitas Mikroskil

Wesly Varrey

Universitas Mikroskil

Tevia Oktavia Manalu

Universitas Mikroskil

Joosten

Universitas Mikroskil

Alamat: Jl. M.H Thamrin No.140, Pusat Ps., Kec. Medan Kota, Kota Medan, Sumatera Utara

Korespondensi penulis: joosten.ng@mikroskil.ac.id

Abstract. *Blockchain and cryptocurrencies have changed the way we transact and interact in the digital age. However, the rapid advancement of these technologies has resulted in major environmental impacts. Efficient implementation of blockchain requires the use of large amounts of energy and computing power, with consensus algorithms as the foundation. The purpose of this study is to investigate the environmental implications of blockchain and cryptocurrency implementation, as well as initiatives to mitigate these issues. The type of research is a library study (library research) using a qualitative method, namely by combining, collecting information or previous scientific papers on relevant topics. Along with the growing popularity of cryptocurrencies, the continuous mining process often results in large energy consumption and carbon emissions, sparking concerns about their long-term viability and environmental impact. Based on the results of previous research and research sources, the author found a solution to the problem of high energy consumption from the use of blockchain, namely: Proof of Stake (PoS), Proof of Authority (PoA), Sidechains and Layer-2 Solutions, Hardware Optimization, Implementation of Consensus Algorithms Based on RUST.*

Keywords: *Blockchain, Crypto, Impact*

Abstrak. *Blockchain dan mata uang kripto telah mengubah cara kita bertransaksi dan berinteraksi di era digital. Namun, kemajuan pesat teknologi ini telah mengakibatkan dampak lingkungan yang besar. Implementasi blockchain yang efisien memerlukan penggunaan sejumlah besar energi dan daya komputasi, dengan algoritma konsensus sebagai fondasinya. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki implikasi lingkungan dari penerapan blockchain dan mata uang kripto, serta inisiatif untuk mengurangi masalah ini. Jenis Penelitian adalah studi kepustakaan (library research) dengan menggunakan metode kualitatif yaitu dengan menggabungkan, mengumpulkan informasi atau karya tulis ilmiah terdahulu dengan topik yang relevan. Seiring dengan semakin populernya mata uang kripto, proses penambangan yang berkelanjutan sering kali mengakibatkan konsumsi energi dan emisi karbon yang besar, yang memicu kekhawatiran tentang kelangsungan hidup jangka panjang dan dampak lingkungannya. Berdasarkan hasil penelitian dan sumber penelitian sebelumnya penulis mendapatkan solusi dari permasalahan tingginya konsumsi energi dari penggunaan blockchain, yaitu: Proof of Stake (PoS), Proof of Authority (PoA), Sidechains dan Layer-2 Solutions, Optimalisasi Perangkat Keras, Penerapan Algoritma Konsensus Berdasarkan RUST*

Kata kunci: *Blockchain, Kripto, Dampak*

LATAR BELAKANG

Teknologi baru *Cryptocurrency* dan *Blockchain* telah merubah berbagai sektor. Teknologi ini membuka jalan bagi desentralisasi dan transparansi total dalam sistem dan memiliki kapasitas untuk mengatasi hambatan sistem terpusat, terutama dalam hal keamanan dan keandalan. Dalam beberapa tahun, *Blockchain* telah merambah lebih banyak sektor selain finansial, termasuk rantai pasokan, layanan kesehatan dan pemerintah (Bauk, 2023; Sapkota & Grobys, 2021).

Pada penelitian sebelumnya yang berfokus pada dampak lingkungan yang dihasilkan dari proses penambangan *cryptocurrency*, lebih khususnya *Bitcoin* dan beberapa *cryptocurrency* lain menyebutkan bahwa penggunaan PoW, di mana daya komputasi yang dibutuhkan oleh pertambangan meningkatkan emisi karbon dan juga menciptakan limbah elektronik karena perangkat keras yang usang (Gioia Arnone, 2022). Namun, sumber yang akan berfokus dalam penelitian ini adalah solusi alternatif yang baru-baru ini mulai diterapkan untuk mengurangi dampak lingkungan yang terkandung dalam teknologi *Blockchain* transisi ke *Proof of Stake* PoS yang lebih hemat energi dan penambangan energi terbarukan. Keunikan penelitian ini adalah pengaruh potensi dampak teknologi *blockchain* yang ramah lingkungan diperhitungkan bukan semata-mata dari sudut pandang teknis, tetapi dari sudut pandang berkelanjutan ekologis termasuk peraturan pihak ketiga dan inisiatif lingkungan (Hillman & Ganesh, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk memahami bagaimana teknologi *blockchain* dapat dioptimalkan untuk mendukung keberlanjutan lingkungan, mengurangi jejak karbon, dan menjawab tantangan global terkait. Selain itu, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi potensi dan tantangan yang muncul dalam penerapan teknologi ini di era digital.

KAJIAN TEORITIS

Blockchain dan mata uang kripto telah mengubah cara kita bertransaksi dan berinteraksi di era digital. Namun, kemajuan pesat teknologi ini telah mengakibatkan dampak lingkungan yang besar. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menyelidiki implikasi lingkungan dari penerapan *blockchain* dan mata uang kripto, serta inisiatif untuk mengurangi masalah ini (Ariati & Rudianto, 2024). Seiring dengan pertumbuhan dan pembangunan populasi, masalah-masalah seperti degradasi lingkungan, sistem regulasi yang ketinggalan zaman, dan keinginan masyarakat yang meluas untuk

melindungi lingkungan pun muncul. Kualitas lingkungan global dan pembangunan sosial meningkat dengan cara- cara yang belum pernah terjadi sebelumnya (Rao & Han, 2024).

Implementasi *blockchain* yang efisien memerlukan penggunaan sejumlah besar energi dan daya komputasi, dengan algoritma konsensus sebagai fondasinya. Berdasarkan penelitian sebelumnya, telah dikembangkan lingkungan pemrograman baru untuk penerapan algoritma konsensus yang memerlukan lebih banyak waktu dan sumber daya komputasi (Mandal, 2023). Pada penelitian sebelumnya ditemukan salah satu solusi penerapan algoritma konsensus berdasarkan RUST menghasilkan peningkatan hemat daya (Chaurasia & Krishnamachari, 2022). Penelitian lain yang menyelidiki topik efisiensi energi dalam konteks *blockchain* sosial dan menganalisis penyebab utama konsumsi energi yang berlebihan juga menyebutkan bahwa manfaat dari teknologi *blockchain* ini terhambat oleh keberadaan algoritma *Proof-of-Work* (PoW) konsensus tradisional, yang ditemukan di banyak *blockchain*, Penelitian itu juga menjelaskan bagaimana beberapa elemen, termasuk mekanisme PoW, jaringan, penyimpanan data, dan interaksi pengguna, berinteraksi untuk membentuk dunia individu (R et al., 2024).

METODE PENELITIAN

Jenis Penelitian adalah studi kepustakaan (*library research*) dengan menggunakan metode kualitatif yaitu dengan menggabungkan, mengumpulkan informasi atau karya tulis ilmiah terdahulu dengan topik yang relevan. Penulis mulai menganalisis data setelah memperolehnya dengan membaca, memahami, menafsirkannya, dan mencatat informasi dari literatur yang telah dikumpulkan (Snyder, 2019). Hal ini dilakukan untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang fenomena atau masalah yang sedang diteliti. Selanjutnya, data digunakan untuk membandingkan data dari analisis yang dikumpulkan untuk menentukan validitas data (Hadi & Afandi, 2021). Dengan menggunakan metode penelitian kualitatif jenis penelusuran kepustakaan, diharapkan artikel yang dihasilkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam dan secara keseluruhan mengenai topik penelitian yang tim penulis teliti.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Blockchain dan mata uang kripto merupakan kemajuan dalam sistem dan teknologi keuangan, tetapi keduanya juga memiliki konsekuensi lingkungan yang substansial, khususnya dalam hal penggunaan energi dan emisi karbon. Konsekuensi ekologis *blockchain* dan mata uang kripto memiliki banyak sisi, dengan perhatian utama

adalah konsumsi energi dan rasa ingin tahu lingkungan (Treiblmaier, 2023; Vrandken, 2017). Seiring dengan semakin populernya mata uang kripto, proses penambangan yang berkelanjutan sering kali mengakibatkan konsumsi energi dan emisi karbon yang besar, yang memicu kekhawatiran tentang kelangsungan hidup jangka panjang dan dampak lingkungannya. Tinjauan umum ini akan membahas aplikasi lingkungan, masalah regulasi, serta solusi potensial yang terkait dengan *blockchain* dan mata uang kripto (Buterin & Griffith, 2019).

Indeks Konsumsi Energi *Bitcoin Digiconomist*, yang diproduksi oleh ekonom Belanda Alex De Vries, menyebutkan bahwa jaringan *bitcoin* mengonsumsi 86,65 TWh per tahun dan mengeluarkan 41,16 MtCO₂. Satu transaksi *bitcoin* memiliki jejak karbon yang sama dengan 824.975 transaksi pembayaran Visa. Menurut De Vries, pengembang perangkat lunak *bitcoin* harus melangsungkan penyesuaian guna menciptakan setiap transaksi lebih hemat stamina. Proses penambangan mata uang kripto, khususnya *Bitcoin*, mengonsumsi listrik dalam jumlah yang signifikan. Penambang memanfaatkan komputer khusus untuk menjawab soal matematika yang rumit, yang mengakibatkan peningkatan penggunaan energi global. Hal ini berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon, terutama ketika sumber energi berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil (Vrandken, 2017).

1. Dampak Ekologis Blockchain Di Era Digital

Teknologi *Blockchain*, khususnya dalam konteks *cryptocurrency*, membawa dampak ekologis yang signifikan. Dampak ini terutama disebabkan oleh konsumsi energi yang besar serta masalah limbah elektronik yang dihasilkan dari aktivitas penambangan (mining) dan penggunaan perangkat keras khusus, sebagian besar energi ini tidak didedikasikan untuk memproses dan menyimpan transaksi sebaliknya, energi ini digunakan untuk persaingan intensif sumber daya yang bertujuan untuk menentukan entitas yang berhak membuat blok transaksi baru (Treiblmaier, 2023). Hal ini muncul karena prospek penerimaan *bitcoin* sendiri yang dicetak sebagai hadiah, mengakibatkan terdorongnya kemauan yang lebih besar ketika nilai *Bitcoin* meningkat untuk berinvestasi dalam sumber daya energi. Berikut beberapa aspek dampak ekologis utama dari *Blockchain* di era digital (Hillman & Ganesh, 2019):

- a. Konsumsi Energi yang Tinggi

Salah satu isu utama yang sering disorot adalah konsumsi energi dari jaringan *Blockchain* yang menggunakan model konsensus *Proof of Work (PoW)*. Dalam sistem ini, seperti yang digunakan oleh *Bitcoin*, setiap transaksi harus diverifikasi melalui proses komputasi yang memerlukan daya komputasi tinggi. Penambang menggunakan komputer khusus untuk menyelesaikan masalah matematika kompleks, yang menyebabkan lonjakan konsumsi energi global. Menurut *Cambridge Bitcoin Electricity Consumption Index*, konsumsi energi tahunan *Bitcoin* bahkan setara dengan kebutuhan energi beberapa negara besar. Hal ini berkontribusi pada peningkatan emisi karbon, terutama ketika sumber energi yang digunakan berasal dari pembangkit listrik berbahan bakar fosil (Nakamoto, n.d.)

b. Emisi Karbon dan Perubahan Iklim

Sebagian besar energi yang digunakan untuk penambangan *cryptocurrency* berasal dari sumber energi yang tidak terbarukan, seperti batu bara. Hal ini mengakibatkan emisi karbon yang signifikan, yang berkontribusi pada perubahan iklim. Penambangan *Bitcoin*, misalnya, dikabarkan menghasilkan emisi karbon setara dengan beberapa industri berat lainnya, dan hal ini memiliki dampak langsung terhadap peningkatan suhu global (Treiblmaier, 2023).

c. Ketergantungan pada Sumber Daya Alam

Penambangan *Cryptocurrency* memerlukan perangkat keras yang khusus, seperti ASIC (*Application-Specific Integrated Circuits*), yang tidak hanya memerlukan energi besar tetapi juga bahan baku yang terbatas seperti logam berat. Penambangan besar-besaran berkontribusi pada eksploitasi sumber daya alam yang langka, seperti lithium, yang diperlukan untuk komponen elektronik, meningkatkan tekanan terhadap lingkungan (Gesa, 2024).

d. Limbah Elektronik

Perangkat keras untuk penambangan *cryptocurrency* memiliki umur pakai yang relatif singkat karena cepatnya perkembangan teknologi. Setelah perangkat keras ini usang, sering kali sulit untuk didaur ulang, menambah volume limbah elektronik (*e-waste*) yang mengandung bahan beracun dan berbahaya bagi lingkungan (Rauchs, n.d.).

2. Solusi Dan Inisiatif Keberlanjutan

a. *Proof of Stake (PoS)*

Proof of Stake (PoS) suatu mekanisme konsensus yang digunakan dalam sistem *blockchain* untuk memverifikasi transaksi dan menambang blok baru. Sistem yang bertujuan untuk melindungi dari serangan siber. Dalam mekanisme *Proof of Stake* (PoS) validator dipilih berdasarkan jumlah koin yang dimiliki. Validator yang memiliki lebih banyak koin memiliki peluang lebih besar untuk memvalidasi transaksi dan mendapatkan imbalan (Bauk, 2023). Dengan tujuan untuk mengurangi konsumsi energi dan secara signifikan mengurangi kebutuhan akan daya komputasi serta emisi karbon. Selain lebih aman untuk lingkungan sekitar PoS juga cenderung lebih terdesentralisasi dibandingkan dengan beberapa implementasi PoW, dan dapat meningkatkan efisiensi transaksi (Carlsten et al., n.d.).

b. *Proof of Authority* (PoA)

Proof of Authority (PoA) adalah mekanisme konsensus yang mengandalkan sejumlah validator tepercaya untuk mengamankan jaringan dan tidak memerlukan sumber daya komputasi yang besar atau insentif berbasis saham. *Proof of Authority* (PoA) sering digunakan dalam jaringan privat atau konsorium. Pengurangan konsumsi energi merupakan salah satu dampak positif dari mekanisme *Proof of Authority* (PoA) dengan menggunakan entitas yang telah terverifikasi dan tepercaya sebagai validator (Buterin & Griffith, 2019).

c. *Sidechains dan Layer-2 Solutions*

Sidechains adalah mekanisme terpisah yang terhubung dengan *blockchain* utama, *Layer-2 Solutions* merupakan solusi yang dibangun di atas *blockchain* utama untuk meningkatkan skalabilitas dan efisiensi. Solusi-solusi ini memindahkan sebagian besar transaksi ke lapisan jaringan terpisah yang lebih efisien secara energi, mengurangi beban pada *blockchain* utama (Gioia Arnone, 2022). Dengan memindahkan sebagian besar transaksi ke sidechain atau layer-2, beban pada *blockchain* utama berkurang secara signifikan. Hal ini mengurangi kebutuhan akan daya komputasi yang tinggi pada *blockchain* utama (Buterin & Griffith, 2019).

d. Optimalisasi Perangkat Keras

Pengembangan perangkat keras yang lebih efisien merupakan langkah penting lainnya menuju peningkatan efisiensi energi *blockchain*. Penambang dapat menggunakan perangkat ASIC (*Application-Specific Integrated Circuit*), yang secara khusus ditujukan untuk mengekstrak mata uang kripto dengan penggunaan daya yang lebih sedikit daripada

GPU biasa. Menerapkan solusi pendinginan hemat energi di pusat data juga dapat membantu meminimalkan penggunaan Listrik (Chaurasia & Krishnamachari, 2022; Rao & Han, 2024).

e. Penerapan Algoritma Konsensus Berdasarkan RUST

Rust adalah bahasa pemrograman sistem yang dikenal karena efisiensinya, keamanannya, dan daya saingnya. Bahasa ini telah meraih popularitas dalam pengembangan *blockchain* karena berbagai alasan, termasuk penggunaannya dalam proyek-proyek seperti *hyperledger fabric*, yang menggunakan Rust (Chaurasia & Krishnamachari, 2022). Keamanan Memori Model Rust mengurangi kesalahan pemrograman umum seperti dereferensi *pointer null* dan *buffer overflow*, yang sangat penting dalam aplikasi *blockchain* yang memerlukan keamanan. Cara kerja Rust dikompilasi menjadi kode asli, yang menyediakan pekerjaan yang berbeda dari C dan C++. Efisiensi ini sangat penting untuk node *blockchain* yang memerlukan *throughput* tinggi dan latensi rendah. Persaingan Desain Rust memungkinkan pemrograman pesaing yang aman, memungkinkan pengembangan solusi *blockchain* yang mampu menangani banyak transaksi secara bersamaan (Bauk, 2023; Vadapalli, n.d.). Komunitas Rust sangat aktif dan berkembang, dengan banyak pustaka dan kerangka kerja yang tersedia untuk pengembangan *blockchain*, seperti Substrate, yang mempercepat proses membangun *blockchain* khusus. Ekosistem ini mendukung berbagai inisiatif, termasuk *blockchain* berbasis Rust dan *blockchain* untuk pengembangan Rust (Chaurasia & Krishnamachari, 2022).

Dengan mengintegrasikan kemajuan ini, teknologi *blockchain* tidak hanya dapat membantu mengurangi jejak karbon tetapi juga membantu transisi menuju sistem energi yang lebih berkelanjutan. *Blockchain* berpotensi menjadi instrumen penting dalam upaya global untuk mengatasi masalah perubahan iklim dengan memanfaatkan algoritma konsensus yang efisien, mengintegrasikan sumber energi terbarukan, pengoptimalan perangkat keras, dan model perdagangan *peer-to-peer* (Sapkota & Grobys, 2021).

KESIMPULAN DAN SARAN

Manfaat teknologi *blockchain* semakin banyak dirasakan oleh manusia, namun disisi lain *blockchain* juga memiliki dampak yang merugikan akibat dari aktivitas manusia itu sendiri. Dampak ini terutama disebabkan oleh tingginya konsumsi energi dan masalah limbah elektronik yang disebabkan oleh aktivitas penambangan dan penggunaan

perangkat keras khusus. Sebagian besar energi ini tidak didedikasikan untuk memproses dan menyimpan transaksi; sebaliknya, energi ini digunakan untuk persaingan yang membutuhkan banyak sumber daya untuk menentukan entitas mana yang berhak membuat blok transaksi baru. Berdasarkan hasil penelitian dan sumber penelitian sebelumnya penulis mendapatkan solusi dari permasalahan tingginya konsumsi energi dari penggunaan *blockchain*, yaitu: *Proof of Stake* (PoS), *Proof of Authority* (PoA), *Sidechains* dan *Layer-2 Solutions*, Optimalisasi Perangkat Keras, Penerapan Algoritma Konsensus Berdasarkan RUST

UCAPAN TERIMA KASIH

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa. Karena atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan artikel ilmiah ini, Penulis mengucapkan terima kasih kepada institusi perguruan tinggi Universitas Mikroskil yang sudah memberikan wadah untuk kami sehingga bisa mengembangkan topik penelitian kami. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pendamping Bapak Joosten Ng, S.Kom., M.Eng yang senantiasa sabar dalam mendampingi penulis untuk menyelesaikan artikel ilmiah ini lewat masukan yang diberikan.

DAFTAR REFERENSI

- Ariati, I., & Rudianto, D. (2024). Dampak *Blockchain* dalam Manajemen Keuangan pada Perusahaan Fintech. *Journal of Economics and Business UBS*, 13(2), 566–576. <https://doi.org/10.52644/joeb.v13i2.1558>
- Bauk, S. (2023). *Blockchain* Principles and Energy Consumption Concerns. *2023 27th International Conference on Information Technology (IT)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/IT57431.2023.10078571>
- Buterin, V., & Griffith, V. (2019). Casper the Friendly Finality Gadget. *Computer Science > Cryptography and Security*.
- Carlsten, M., Kalodner, H., Weinberg, S. M., & Narayanan, A. (n.d.). *On the Instability of Bitcoin Without the Block Reward*. <https://github.com/citp/mining>
- Chaurasia, A., & Krishnamachari, D. R. (2022). Implementation of Energy efficient *Blockchain* using RUST. *2022 Seventh International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, 429–434. <https://doi.org/10.1109/PDGC56933.2022.10053178>
- Gesa. (2024, September 22). *Lebih Dekat dengan Blockchain Layer 1, Ketahui Berbagai Kelebihan dan Kekurangannya*. INVESTOR.ID.
- Gioia Arnone. (2022). *BLOCKCHAIN AND CRYPTOCURRENCY INNOVATION FOR A SUSTAINABLE FINANCIAL SYSTEM*. *International Journal of Industrial Management*, 15(1), 1–16. <https://doi.org/10.15282/ijim.15.1.2022.8994>
- Hadi, N. F., & Afandi, N. K. (2021). Literature Review is A Part of Research. *Sultra Educational Journal*, 1(3), 64–71. <https://doi.org/10.54297/seduj.v1i3.203>

- Hillman, V., & Ganesh, V. (2019). Kratos: A secure, authenticated and publicly verifiable system for educational data using the *blockchain*. *2019 IEEE International Conference on Big Data (Big Data)*, 5754–5762. <https://doi.org/10.1109/BigData47090.2019.9006190>
- Mandal, S. (2023). *Blockchain Technology and its effect on Environment: A Comparative Study between Proof-Of-Work and Proof-Of-Stake*. *International Journal of Rural Development, Environment and Health Research*, 7(2), 01–06. <https://doi.org/10.22161/ijreh.7.2.1>
- Nakamoto, S. (n.d.). *Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System*. www.bitcoin.org
- R, Vaishnavi., C, A., C, P., Sankalp Kumar, S., Prasanna, E., & V, Dr. S. (2024). Energy Efficiency in *Blockchain Social Networks*. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 5(3), 819–825. <https://doi.org/10.55248/gengpi.5.0324.0632>
- Rao, J., & Han, X. (2024). *Analysis on the Application of Ecological Environment Protection System Under Blockchain Technology*. <https://doi.org/10.3233/FAIA240105>
- Rauchs, M. (n.d.). *GLOBAL CRYPTOCURRENCY BENCHMARKING STUDY*. <https://ssrn.com/abstract=2965436> Electronic copy available at: <https://ssrn.com/abstract=2965436> Electronic copy available at: <http://>
- Sapkota, N., & Grobys, K. (2021). *Blockchain consensus protocols, energy consumption and Cryptocurrency prices*. *The Journal of Energy Markets*. <https://doi.org/10.21314/JEM.2020.221>
- Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, 104, 333–339. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2019.07.039>
- Treiblmaier, H. (2023). A comprehensive research framework for Bitcoin's energy use: Fundamentals, economic rationale, and a pinch of thermodynamics. *Blockchain: Research and Applications*, 4(3), 100149. <https://doi.org/10.1016/j.bcra.2023.100149>
- Vadapalli, R. (n.d.). *BLOCKCHAIN FUNDAMENTALS TEXT BOOK Fundamentals of Blockchain*. <https://www.researchgate.net/publication/345045424>
- Vrandken, H. (2017). *Sustainability of bitcoin and blockchains*. *Current Opinion in Environmental Sustainability* (Vol. 28).