Arus Jurnal Sains dan Teknologi (AJST)
Website: http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst
Email: jurnal.ajst@ardenjaya.com

Analisis Sentralitas dan Deteksi Komunitas Ethereum Transaction Network Menggunakan Algoritma Louvain

INFO PENPULIS

Muh. Farrel Apta Indratama
Universitas Muhammadiyah Makassar
105841109422@student.unismuh.ac.id

Muhammad Faisal
Universitas Muhammadiyah Makassar
muhfaisal@unismuh.ac.id

Rizki Yusliana Bakti
Universitas Muhammadiyah Makassar
rizkyyusliana@unismuh.ac.id

INFO ARTIKEL

ISSN: 3026-3603
Vol. 4, No. 2 Oktober 2026
http://jurnal.ardenjaya.com/index.php/ajst

© 2026 Arden Jaya Publisher All rights reserved

Saran Penulisan Referensi:

Indratama, M. F. A., Faisal, M., & Bakti, R. Y. (2026). Analisis Sentralitas dan Deteksi Komunitas Ethereum Transaction Network Menggunakan Algoritma Louvain. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi , 4*(2),531-538

Abstrak

Ethereum menghasilkan aktivitas transaksi yang membentuk jaringan dengan struktur hubungan yang kompleks sehingga posisi Ethereum address yang penting dan kelompok interaksi di dalam jaringan tidak mudah diidentifikasi secara langsung. Penelitian ini bertujuan membangun Ethereum Transaction Network (ETN), mengidentifikasi Key Actors menggunakan Degree Centrality, Betweenness Centrality, Closeness Centrality, dan Eigenvector Centrality, serta mendeteksi struktur komunitas menggunakan algoritma Louvain. Data penelitian berupa 10.000 transaksi Ethereum Mainnet yang diperoleh melalui Ethereum RPC PublicNode dari block 25.704.670–25.704.696. Setelah preprocessing, 34 transaksi self-loop dihapus sehingga diperoleh 9.966 transaksi. Jaringan dibentuk sebagai directed weighted graph dengan Ethereum address sebagai node dan transaksi sebagai edge, sedangkan bobot edge menunjukkan frekuensi transaksi antar pasangan address. Jaringan yang terbentuk memiliki 11.046 node dan 8.452 edge. Hasil analisis centrality menghasilkan 10 Key Actors berdasarkan kemunculan pada Top 10 sedikitnya dua ukuran centrality. Address Tether USD (USDT) paling konsisten dengan peringkat pertama pada Degree, Closeness, dan Eigenvector. Deteksi Louvain pada graf undirected menghasilkan 3.082 komunitas dengan modularity 0,938703. Pemetaan menunjukkan bahwa 10 Key Actors tersebar pada 10 komunitas berbeda; tujuh berada pada sepuluh komunitas terbesar dan tiga lainnya berada pada komunitas yang lebih kecil. Hasil tersebut menunjukkan bahwa analisis centrality dan community detection memberikan informasi yang saling melengkapi mengenai posisi struktural aktor dan konteks komunitasnya..

Kata Kunci: Ethereum, Ethereum Transaction Network, Centrality, Key Actors, Community Detection, Louvain

Abstract

Ethereum generates transaction activity that forms a complex network of relationships, making it difficult to directly identify structurally important addresses and interaction groups. This study aims to construct an Ethereum Transaction Network (ETN), identify Key Actors using Degree Centrality, Betweenness Centrality, Closeness Centrality, and Eigenvector Centrality, and detect community structures using the Louvain algorithm. The dataset consists of 10,000 Ethereum Mainnet transactions obtained through the PublicNode Ethereum RPC from blocks 25,704,670–25,704,696. During preprocessing, 34 self-loop transactions were removed, resulting in 9,966 transactions. The network was represented as a directed weighted graph, with Ethereum addresses as nodes and transactions as directed edges; edge weights represent transaction frequency between address pairs. The resulting network contains 11,046 nodes and 8,452 edges. Centrality analysis identified 10 Key Actors based on addresses appearing in the Top 10 of at least two centrality measures. The Tether USD (USDT) address consistently ranked first in Degree, Closeness, and Eigenvector Centrality. Louvain community detection on the undirected graph produced 3,082 communities with a modularity of 0.938703. Mapping the Key Actors to the detected communities shows that the 10 Key Actors are distributed across 10 different communities; seven are located in the ten largest communities, while three are located in smaller communities. These findings indicate that centrality analysis and community detection provide complementary information about the structural position of important actors and their community context.

Keywords: Ethereum, Ethereum Transaction Network, Centrality, Key Actors, Community Detection, Louvain

A. Pendahuluan

Blockchain merupakan teknologi buku besar terdistribusi yang memungkinkan pencatatan transaksi secara transparan pada jaringan terdesentralisasi. Karakteristik tersebut menjadikan blockchain tidak hanya berfungsi sebagai media penyimpanan transaksi, tetapi juga sebagai sumber data yang dapat dianalisis untuk memahami pola interaksi antarentitas (Dong et al. 2023; Munawar et al. 2023). Salah satu implementasi blockchain yang memiliki aktivitas transaksi kompleks adalah Ethereum. Ethereum menyediakan lingkungan untuk transaksi digital dan eksekusi smart contract sehingga digunakan oleh berbagai aplikasi terdesentralisasi dan layanan berbasis Web3 (Chen et al. 2020; Kezadri Hamiaz and Driss 2025)

Aktivitas transaksi yang berlangsung antar Ethereum address menghasilkan hubungan yang dapat direpresentasikan sebagai jaringan kompleks. Dalam pendekatan ini, Ethereum address diperlakukan sebagai node dan transaksi sebagai edge yang menghubungkan address pengirim dengan penerima. Representasi berbasis graf memungkinkan struktur transaksi dianalisis menggunakan ukuran topologi dan jaringan, termasuk centrality serta community detection (Lin et al. 2020; Serena, Ferretti, and D'Angelo 2022).

Berbagai metode peramalan seperti exponential smoothing dan ARIMA telah digunakan untuk memprediksi jumlah kunjungan pasien berdasarkan data historis. Metode tersebut mampu menangkap pola tren, namun umumnya hanya menggunakan data observasi tanpa mempertimbangkan faktor laten yang memengaruhi perubahan jumlah kunjungan pasien (Mauren et al., 2024). Penelitian terdahulu juga menunjukkan bahwa jaringan Ethereum memiliki pola konektivitas yang tidak homogen dan dapat memperlihatkan struktur komunitas tertentu (Lee et al. 2020; Said et al. 2021)

Kompleksitas jaringan tersebut menyebabkan identifikasi address yang memiliki posisi penting tidak cukup dilakukan hanya dengan melihat jumlah transaksi. Suatu node dapat memiliki banyak koneksi, menjadi penghubung antarkelompok, berada dekat dengan banyak node lain, atau terhubung dengan node yang juga penting. Karena setiap perspektif tersebut berbeda, Degree Centrality, Betweenness Centrality, Closeness Centrality, dan Eigenvector Centrality dapat digunakan secara bersama-sama untuk memperoleh gambaran posisi struktural node yang lebih komprehensif (Kosmatopoulos et al. 2022; Mukhtar et al. 2023; Zhang et al. 2023).

Selain mengetahui node yang penting, struktur kelompok di dalam jaringan juga perlu dianalisis. Community detection digunakan untuk menemukan kelompok node yang memiliki

hubungan internal lebih kuat dibandingkan hubungan dengan node di luar kelompoknya (Said et al. 2021). Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Louvain, yang mengoptimalkan modularity melalui proses local moving dan community aggregation sehingga sesuai untuk jaringan berukuran besar (Traag, Waltman, and van Eck 2019; Zhang et al. 2021).

Penelitian mengenai Ethereum telah banyak membahas representasi jaringan, karakteristik transaksi, sentralisasi, dan struktur komunitas (Chen et al. 2020). menunjukkan bahwa analisis graf dapat digunakan untuk memahami struktur jaringan Ethereum, sedangkan (Said et al. 2021). menganalisis perilaku transaksi dan struktur komunitas (De Collibus et al. 2024) juga menunjukkan adanya pola sentralisasi pada jaringan transaksi token berbasis Ethereum. Namun, analisis sentralitas dan deteksi komunitas masih sering diperlakukan sebagai analisis yang terpisah. Padahal, informasi mengenai aktor penting akan lebih bermakna apabila diketahui pula komunitas tempat aktor tersebut berada.

B. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan Network Analysis. Data berupa 10.000 transaksi Ethereum Mainnet diperoleh melalui Ethereum RPC PublicNode pada rentang block 25.704.670–25.704.696. Rentang tersebut menghasilkan 27 block dan merepresentasikan aktivitas transaksi dalam interval waktu yang berkesinambungan. Tahapan penelitian meliputi pengumpulan data, preprocessing, pembentukan Ethereum Transaction Network, analisis centrality, identifikasi Key Actors, deteksi komunitas Louvain, dan interpretasi hasil

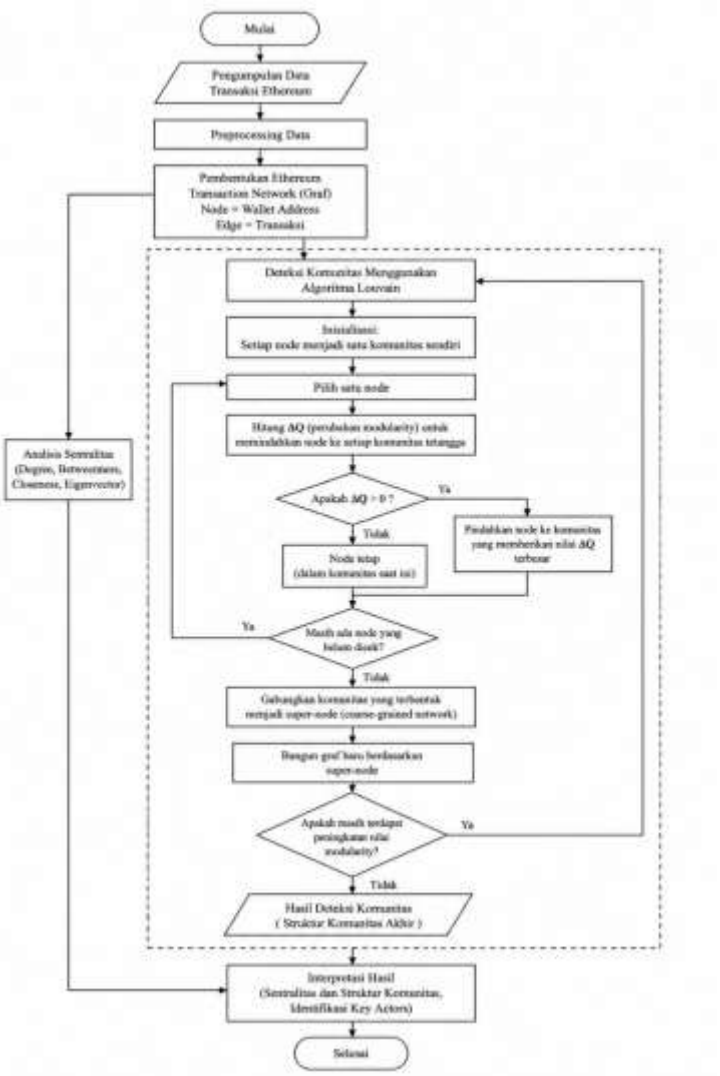
Pada tahap preprocessing, data diperiksa terhadap nilai kosong, transaction hash duplikat, address tidak valid, dan self-loop. Berdasarkan hasil penelitian, tidak ditemukan nilai kosong, hash duplikat, maupun address tidak valid. Sebanyak 34 self-loop dihapus sehingga jumlah transaksi yang digunakan dalam pembentukan jaringan menjadi 9.966 transaksi. Self-loop dihapus karena penelitian berfokus pada hubungan antaraddress yang berbeda. Dalam penelitian ini, Ethereum address mencakup address yang muncul pada atribut from dan to sehingga tidak diasumsikan seluruh node merupakan externally owned account (EOA).

Ethereum Transaction Network dibentuk sebagai directed weighted graph. Setiap Ethereum address direpresentasikan sebagai node, sedangkan transaksi dari address pengirim ke address penerima direpresentasikan sebagai edge berarah. Apabila pasangan address yang sama melakukan lebih dari satu transaksi, hubungan tersebut direpresentasikan sebagai satu edge dengan bobot yang menunjukkan frekuensi transaksi. Pendekatan ini mengikuti pemodelan jaringan transaksi Ethereum yang digunakan dalam penelitian terdahulu (Chen et al. 2020; Lin et al. 2020).

Analisis centrality dilakukan menggunakan empat ukuran. Degree Centrality digunakan untuk melihat tingkat konektivitas langsung node; Betweenness Centrality mengukur peran node pada shortest path yang menghubungkan pasangan node lain; Closeness Centrality mengukur kedekatan node terhadap node yang dapat dijangkau; sedangkan Eigenvector Centrality mempertimbangkan keterhubungan node dengan node lain yang juga memiliki posisi penting (Kosmatopoulos et al., 2022; Evans & Chen, 2022). Keempat ukuran dihitung pada jaringan transaksi dan hasilnya diurutkan untuk memperoleh Top 10 pada setiap ukuran.

Key Actors ditentukan berdasarkan konsistensi kemunculan Ethereum address pada Top 10 dari empat ukuran centrality. Address yang muncul pada sedikitnya dua ukuran centrality dipertahankan sebagai Key Actor. Kriteria ini digunakan agar identifikasi tidak bergantung pada satu aspek jaringan saja, tetapi mempertimbangkan konektivitas, posisi penghubung, kedekatan, dan kualitas hubungan secara bersamaan (Kosmatopoulos et al. 2022; Mukhtar et al. 2023).

Deteksi komunitas dilakukan menggunakan algoritma Louvain. Karena implementasi python-louvain yang digunakan bekerja pada graf tidak berarah, jaringan directed weighted graph dikonversi menjadi undirected weighted graph sebelum proses community detection. Konversi ini menyebabkan informasi arah transaksi tidak digunakan dalam optimasi komunitas, sedangkan informasi arah tetap dipertahankan pada hasil analisis centrality. Louvain mengoptimalkan modularity melalui dua tahap utama, yaitu local moving dan community aggregation, dan mengulangi keduanya hingga tidak terdapat peningkatan modularity (Traag et al. 2019; Zhang et al. 2021).



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Kualitas pembagian komunitas dievaluasi menggunakan modularity. Secara umum, modularity membandingkan kepadatan hubungan di dalam komunitas dengan kepadatan yang diharapkan pada jaringan acak dengan karakteristik derajat yang sama. Nilai yang lebih tinggi menunjukkan pemisahan komunitas yang lebih kuat (Traag et al., 2019). Setelah komunitas diperoleh, setiap Key Actor dipetakan ke Community ID untuk menganalisis persebaran aktor penting terhadap struktur komunitas.

C. Hasil dan Pembahasan

Karakteristik Ethereum Transaction Network

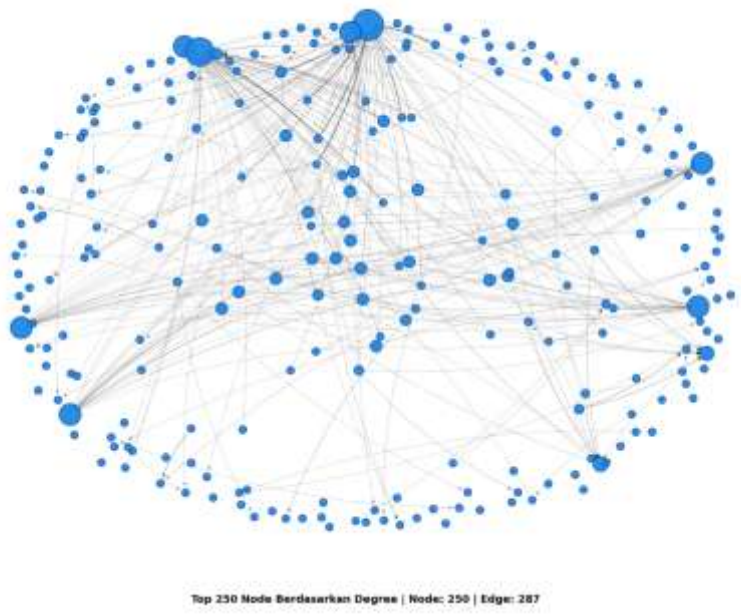
Data akhir menghasilkan 11.046 Ethereum address sebagai node dan 8.452 edge pada directed weighted graph. Nilai density sebesar 0,000069 menunjukkan bahwa jaringan bersifat sparse. Jaringan juga memiliki 3.050 connected components, sedangkan komponen terbesar terdiri atas 2.837 node atau 25,68% dari seluruh node. Karakteristik tersebut menunjukkan bahwa sebagian besar address memiliki hubungan terbatas dan jaringan terfragmentasi ke dalam banyak kelompok transaksi.

Jumlah edge lebih kecil daripada jumlah transaksi karena beberapa transaksi terjadi berulang antara pasangan address yang sama dan digabung menjadi satu edge berbobot. Pada tahap community detection, konversi ke undirected weighted graph menghasilkan 8.447 edge. Perbedaan ini merupakan konsekuensi dari representasi hubungan berarah menjadi hubungan tidak berarah sebelum optimasi Louvain.

Tabel 1. Tabel 1. Karakteristik Ethereum Transaction Network

Parameter	Nilai
Transaksi awal	10.000

Transaksi setelah preprocessing	9.966
Rentang block	25.704.670–25.704.696
Jumlah block	27
Jumlah node	11.046
Jumlah edge (directed)	8.452
Density	0,000069
Connected components	3.050
Largest connected component	2.837 node (25,68%)



Gambar 2. Visualisasi Ethereum Transaction Network

Hasil Analisis Centrality dan Key Actors

Hasil centrality memperlihatkan bahwa posisi struktural node berbeda menurut ukuran yang digunakan. Address 0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7 memperoleh Degree Centrality tertinggi sebesar 0,066546, Closeness Centrality tertinggi sebesar 0,068587, dan Eigenvector Centrality tertinggi sebesar 0,448164. Address tersebut merupakan smart contract Tether USD (USDT). Sementara itu, Betweenness Centrality tertinggi diperoleh oleh address 0xf30ba13e4b04ce5dc4d254ae5fa95477800 f0eb0 dengan nilai 0,000006689568. Perbedaan ini menunjukkan bahwa node yang paling terhubung tidak selalu merupakan node yang paling dominan sebagai penghubung antarbagian jaringan.

Tabel 2. Nilai centrality tertinggi

Ukuran	Address	Nilai	Makna utama
Degree	0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7	0,066546	Konektivitas langsung tertinggi
Betweenness	0xf30ba13e4b04ce5dc4d254ae5fa95477800f0eb0	0,000006689568	Peran penghubung tertinggi
Closeness	0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7	0,068587	Kedekatan tertinggi
Eigenvector	0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7	0,448164	Pengaruh struktural tertinggi

Penggabungan Top 10 dari empat ukuran centrality menghasilkan 10 Key Actors. Tether USD/USDT muncul tiga kali, yaitu pada Degree, Closeness, dan Eigenvector, sedangkan sembilan address lainnya muncul dua kali pada kombinasi ukuran yang berbeda. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa setiap ukuran centrality menangkap dimensi struktural yang berbeda, sehingga penggunaan beberapa ukuran memberikan dasar identifikasi yang lebih komprehensif dibandingkan penggunaan satu ukuran saja.

Tabel 3. Identifikasi Key Actors berdasarkan Top 10 centrality

No.	Ethereum address	Kemunculan	Centrality
1	0xdac17f958d2ee523a2206206994597c13d831ec7	3	Degree; Closeness; Eigenvector
2	0x4cd00e387622c35bddb9b4c962c136462338bc31	2	Degree; Closeness
3	0x66a9893cc07d91d95644aedd05d03f95e1dba8af	2	Degree; Closeness
4	0xf30ba13e4b04ce5dc4d254ae5fa95477800f0eb0	2	Degree; Betweenness
5	0x0000000000000068f116a894984e2db1123eb395	2	Degree; Closeness
6	0xa0b86991c6218b36c1d19d4a2e9eb0ce3606eb48	2	Degree; Closeness
7	0x51c72848c68a965f66fa7a88855f9f7784502a7f	2	Degree; Closeness
8	0xa26148ae51fa8e787df319c04137602cc018b521	2	Betweenness; Closeness
9	0x7cc45b8c26e8509f0a87a8bb36d934f0979999cf	2	Betweenness; Closeness
10	0x6872b6630a3afcd3117191a8403c2002e13df7de	2	Betweenness; Degree

Hasil Deteksi Komunitas Louvain

Deteksi komunitas menggunakan Louvain menghasilkan 3.082 komunitas dari 11.046 node dan 8.447 edge pada graf undirected weighted. Nilai modularity sebesar 0,938703 menunjukkan bahwa hubungan internal komunitas jauh lebih terkonsentrasi dibandingkan hubungan antarkomunitas pada jaringan yang dianalisis. Komunitas terbesar adalah Community ID 12 dengan 917 node (8,30%), diikuti Community ID 3 dengan 566 node (5,12%) dan Community ID 20 dengan 171 node (1,55%). Sepuluh komunitas terbesar memiliki ukuran antara 48 dan 917 node, sehingga ukuran komunitas yang terbentuk sangat tidak merata.

Tabel 4. Sepuluh komunitas terbesar hasil Louvain

Rank	Community ID	Node	Persentase (%)
1	12	917	8,30
2	3	566	5,12
3	20	171	1,55
4	767	154	1,39
5	27	125	1,13
6	14	123	1,11
7	489	114	1,03
8	28	105	0,95
9	15	89	0,81
10	24	48	0,43



Gambar 4. Visualisasi sepuluh komunitas terbesar hasil Louvain

Hubungan Key Actors dengan Struktur Komunitas

Pemetaan Key Actors terhadap hasil Louvain menunjukkan bahwa kesepuluh Key Actors tersebar pada sepuluh Community ID yang berbeda. Tujuh Key Actors berada pada sepuluh komunitas terbesar, sedangkan tiga lainnya berada pada komunitas yang tidak termasuk dalam sepuluh komunitas terbesar. Tether USD/USDT berada pada Community ID 12, komunitas terbesar, sedangkan USD Coin/USDC berada pada Community ID 3, komunitas terbesar kedua. Tiga Key Actors lain yang berada di luar sepuluh komunitas terbesar masing-masing berada pada Community ID 564, 25, dan 216. Temuan ini menunjukkan bahwa status Key Actor tidak ditentukan oleh ukuran komunitas, melainkan oleh posisi struktural node berdasarkan centrality.



Gambar 4. Persebaran Key Actors pada struktur komunitas Louvain

Secara substantif, hasil tersebut menunjukkan bahwa centrality dan community detection memberikan informasi yang berbeda tetapi saling melengkapi. Centrality menjelaskan mengapa suatu address dianggap penting berdasarkan pola konektivitas dan posisinya, sedangkan Louvain menjelaskan konteks kelompok tempat address tersebut berada. Penyebaran Key Actors pada komunitas yang berbeda juga menunjukkan bahwa aktor penting dalam jaringan Ethereum tidak harus terkonsentrasi pada satu kelompok transaksi. Dengan demikian, pemetaan centrality terhadap komunitas dapat memberikan gambaran yang lebih utuh mengenai struktur jaringan dibandingkan hanya menggunakan peringkat centrality global.

D. Kesimpulan

Ethereum Transaction Network berhasil dibangun dari 10.000 transaksi Ethereum Mainnet setelah preprocessing menghasilkan 9.966 transaksi. Jaringan directed weighted yang terbentuk terdiri atas 11.046 Ethereum address dan 8.452 edge dengan karakteristik sparse dan terfragmentasi.

Analisis Degree, Betweenness, Closeness, dan Eigenvector Centrality menunjukkan perbedaan posisi struktural antaraddress. Tether USD/USDT menjadi address paling konsisten dengan peringkat pertama pada Degree, Closeness, dan Eigenvector, sedangkan Betweenness tertinggi diperoleh oleh address 0xf30ba13e4b04ce5dc4d254ae5fa95477800f0eb0. Berdasarkan kemunculan pada Top 10 sedikitnya dua ukuran centrality, diperoleh 10 Key Actors.

Algoritma Louvain pada graf undirected weighted menghasilkan 3.082 komunitas dengan modularity 0,938703. Struktur komunitas memiliki ukuran yang sangat bervariasi, dengan Community ID 12 sebagai komunitas terbesar yang terdiri atas 917 node.

Kesepuluh Key Actors tersebar pada sepuluh Community ID yang berbeda. Tujuh Key Actors berada pada sepuluh komunitas terbesar dan tiga lainnya berada pada komunitas yang lebih kecil. Temuan ini menegaskan bahwa analisis centrality dan deteksi komunitas memberikan informasi yang saling melengkapi untuk memahami posisi aktor penting dan konteks komunitasnya. Penelitian lanjutan dapat menggunakan periode dan jumlah transaksi yang lebih panjang, analisis komunitas temporal, klasifikasi fungsi address, serta perbandingan Louvain dengan algoritma community detection lainnya.

E. Referensi

Chen, Ting, Zihao Li, Yuxiao Zhu, Jiachi Chen, Xiapu Luo, John Chi Shing Lui, Xiaodong Lin, and Xiaosong Zhang. 2020. "Understanding Ethereum via Graph Analysis." *ACM Transactions on Internet Technology* 20(2). doi:10.1145/3381036.

De Collibus, Francesco Maria, Carlo Campajola, Guido Caldarelli, and Claudio J. Tessone. 2024. "Patterns and Centralisation in Ethereum-Based Token Transaction Networks." *Frontiers in Physics* 12(December):1–15. doi:10.3389/fphy.2024.1305167.

Dong, Shi, Khushnood Abbas, Meixi Li, and Joarder Kamruzzaman. 2023. "Blockchain Technology and Application: An Overview." *PeerJ Computer Science* 9:1–50. doi:10.7717/peerj-cs.1705.

Kezadri Hamiaz, Mounira, and Maha Driss. 2025. "Ethereum Smart Contracts Under Scrutiny: A

Survey of Security Verification Tools, Techniques, and Challenges." *Computers* 14(6):1–49. doi:10.3390/computers14060226.

Kosmatopoulos, Andreas, Kostas Loumponias, Ourania Theodosiadou, Theodora Tsikrika, Stefanos Vrochidis, and Ioannis Kompatsiaris. 2022. "Identification of Key Actor Nodes: A Centrality Measure Ranking Aggregation Approach." *Proceedings of the 2022 IEEE/ACM International Conference on Advances in Social Networks Analysis and Mining, ASONAM 2022* 125–28. doi:10.1109/ASONAM55673.2022.10068668.

Lee, Xi Tong, Arijit Khan, Sourav Sen Gupta, Yu Hann Ong, and Xuan Liu. 2020. "Measurements, Analyses, and Insights on the Entire Ethereum Blockchain Network." *The Web Conference 2020 - Proceedings of the World Wide Web Conference, WWW 2020* 2:155–66. doi:10.1145/3366423.3380103.

Lin, Dan, Jiajing Wu, Qi Yuan, and Zibin Zheng. 2020. "Modeling and Understanding Ethereum Transaction Records via a Complex Network Approach." *IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs* 67(11):2737–41. doi:10.1109/TCSII.2020.2968376.

Mukhtar, Mohd Fariduddin, Zuraida Abal Abas, Azhari Samsu Baharuddin, Mohd Natashah Norizan, Wan Farah Wani Wan Fakhruddin, Wakisaka Minato, Amir Hamzah Abdul Rasib, Zaheera Zainal Abidin, Ahmad Fadzli Nizam Abdul Rahman, and Siti Haryanti Hairol Anuar. 2023. "Integrating Local and Global Information to Identify Influential Nodes in Complex Networks." *Scientific Reports* 13(1):1–12. doi:10.1038/s41598-023-37570-7.

Munawar, Zen, Novianti Indah Putri, Iswanto Iswanto, and Dandun Widhiantoro. 2023. "Analisis Keamanan Pada Teknologi Blockchain." *Infotronik : Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika* 8(2):67. doi:10.32897/infotronik.2023.8.2.2062.

Said, Anwar, Muhammad Umar Janjua, Saeed Ul Hassan, Zeeshan Muzammal, Tania Saleem, Tipajin Thaipisutikul, Suppawong Tuarob, and Raheel Nawaz. 2021. "Detailed Analysis of Ethereum Network on Transaction Behavior, Community Structure and Link Prediction." *PeerJ Computer Science* 7:21–26. doi:10.7717/peerj-cs.815.

Serena, Luca, Stefano Ferretti, and Gabriele D'Angelo. 2022. "Cryptocurrencies Activity as a Complex Network: Analysis of Transactions Graphs." *Peer-to-Peer Networking and Applications* 15(2):839–53. doi:10.1007/s12083-021-01220-4.

Traag, V. A., L. Waltman, and N. J. van Eck. 2019. "From Louvain to Leiden: Guaranteeing Well-Connected Communities." *Scientific Reports* 9(1). doi:10.1038/s41598-019-41695-z.

Zhang, Jicun, Jiyou Fei, Xueping Song, and Jiawei Feng. 2021. "An Improved Louvain Algorithm for Community Detection." *Mathematical Problems in Engineering* 2021. doi:10.1155/2021/1485592.

Zhang, Kun, Yu Zhou, Haixia Long, Chaoyang Wang, Haizhuang Hong, and Seyed Mostafa Armaghan. 2023. "Towards Identifying Influential Nodes in Complex Networks Using Semi-Local Centrality Metrics." *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences* 35(10):101798. doi:10.1016/j.jksuci.2023.101798.