

## Penggunaan metode *community detection* pada graf

ahmadrizalafandi<sup>1</sup>

matematika, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
e-mail: [ahmadrizalafandi2003@gmail.com](mailto:ahmadrizalafandi2003@gmail.com)

### Kata Kunci:

Deteksi komunitas, jaringan kompleks, analisis jaringan, clustering, aplikasi jaringan

### Keywords:

Community detection, complex networks, network analysis, clustering, network applications

### ABSTRAK

Penelitian ini membahas penggunaan metode deteksi komunitas dalam analisis struktur jaringan kompleks. Deteksi komunitas merupakan teknik penting untuk mengidentifikasi kelompok simpul yang saling terhubung lebih erat di dalam jaringan, dibandingkan dengan koneksi mereka dengan simpul lain di luar kelompok. Pemahaman ini bermanfaat dalam berbagai bidang seperti jaringan sosial, biologi, dan keamanan siber, di mana deteksi komunitas membantu mengungkap pola tersembunyi dan hubungan di dalam data. Beberapa metode utama deteksi komunitas, seperti algoritma

berbasis modularitas, hirarkis, partisi, kepadatan, dan spektral, dianalisis dalam penelitian ini. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, setiap metode memiliki kelebihan dan kekurangannya dalam mendeteksi komunitas pada jenis jaringan tertentu. Penelitian ini juga mencakup aplikasi deteksi komunitas di berbagai bidang dan memberikan saran untuk penelitian lebih lanjut dalam pengembangan metode deteksi komunitas yang lebih efisien dan dapat diterapkan pada jaringan dinamis.

### ABSTRACT

This research addresses the use of community detection methods in the analysis of complex network structures. Community detection is an important technique for identifying groups of nodes that are more closely connected within a network, compared to their connections with other nodes outside the group. This understanding is useful in fields such as social networks, biology, and cybersecurity, where community detection helps uncover hidden patterns and relationships in the data. Several major community detection methods, such as modularity-based, hierarchical, partitioning, density, and spectral algorithms, are analyzed in this study. Based on the experiments conducted, each method has its advantages and disadvantages in detecting communities on certain types of networks. This research also covers the applications of community detection in various fields and provides suggestions for further research in the development of more efficient community detection methods that can be applied to dynamic networks.

## Pendahuluan

Dalam analisis jaringan (graph), konsep komunitas atau cluster mengacu pada kelompok simpul (nodes) yang lebih padat terhubung satu sama lain dibandingkan dengan simpul-simpul di luar kelompok tersebut. Struktur komunitas ini sering kali mencerminkan hubungan atau karakteristik khusus yang ada di antara simpul-simpul dalam jaringan. Deteksi komunitas menjadi sangat penting karena dapat membantu kita memahami pola atau hubungan tersembunyi dalam jaringan yang kompleks, seperti pola pertemanan di jaringan sosial, interaksi antar-gen di jaringan biologi, atau aktivitas dalam jaringan komputer. Dalam analisis jaringan (graph), konsep komunitas atau

cluster mengacu pada kelompok simpul (nodes) yang lebih padat terhubung satu sama lain dibandingkan dengan simpul-simpul di luar kelompok tersebut. Struktur komunitas ini sering kali mencerminkan hubungan atau karakteristik khusus yang ada di antara simpul-simpul dalam jaringan. Deteksi komunitas menjadi sangat penting karena dapat membantu kita memahami pola atau hubungan tersembunyi dalam jaringan yang kompleks, seperti pola pertemanan di jaringan sosial, interaksi antar-gen di jaringan biologi, atau aktivitas dalam jaringan komputer.

### **Rumusan masalah**

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa masalah utama yang akan dibahas, antara lain:

1. Tantangan dalam mendeteksi komunitas pada graf besar dan kompleks, terutama dalam hal efisiensi komputasi dan akurasi hasil.
2. Kelebihan dan kekurangan dari berbagai metode detection community dalam menganalisis struktur jaringan.
3. Aplikasi detection community dalam berbagai konteks, dan bagaimana hasil deteksi komunitas dapat dimanfaatkan untuk analisis lebih lanjut.

### **Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memahami dan mengkaji metode-metode detection community, termasuk algoritma, teknik, dan pendekatan yang digunakan.
2. Menilai kelebihan dan kekurangan dari berbagai metode detection community, serta memberikan gambaran metode yang paling sesuai untuk jaringan yang berbeda.
3. Menguraikan aplikasi dari detection community dalam berbagai bidang, seperti jaringan sosial untuk identifikasi kelompok minat, jaringan biologi untuk memahami fungsi gen atau protein, dan jaringan komputer untuk mendeteksi anomali.

## **Pembahasan**

### **Dasar Teori**

#### ***Pengertian jaringan dan komunitas***

Jaringan (*Graph*) adalah struktur matematika yang terdiri dari dua elemen dasar: simpul (*vertices*) dan sisi (*edges*). Simpul (atau *node*) mewakili entitas atau objek dalam jaringan, sedangkan sisi (atau *edge*) menggambarkan hubungan atau interaksi antara entitas tersebut. Jaringan dapat bersifat tak berarah (*undirected*), di mana sisi tidak memiliki arah, atau berarah (*directed*), di mana setiap sisi memiliki arah tertentu dari satu simpul ke simpul lainnya.

- Simpul (*Vertices*): Elemen dasar dalam jaringan yang mewakili objek atau entitas yang terhubung dalam jaringan.

- Sisi (*Edges*): Hubungan atau koneksi antara dua simpul dalam jaringan, yang dapat berupa hubungan timbal balik atau satu arah.

Komunitas dalam konteks jaringan merujuk pada kelompok simpul yang lebih banyak terhubung satu sama lain dibandingkan dengan simpul-simpul di luar kelompok tersebut. Komunitas ini menggambarkan adanya pola yang saling terkait dalam suatu jaringan, di mana simpul dalam komunitas memiliki lebih banyak hubungan internal dibandingkan dengan hubungan mereka dengan simpul di luar komunitas. Deteksi komunitas penting karena dapat memberikan wawasan tentang struktur atau pola yang tersembunyi dalam data jaringan.

- Komunitas: Sekelompok simpul yang saling terhubung secara padat dan lebih sedikit terhubung dengan simpul di luar kelompok tersebut.

### ***Konsep Detection Community***

Detection Community adalah metode untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan simpul dalam sebuah jaringan berdasarkan struktur komunitas yang ada. Tujuan utama dari detection community adalah menemukan pembagian jaringan menjadi beberapa bagian yang lebih kecil atau komunitas, yang masing-masing memiliki internal density (kepadatan hubungan antar simpul) yang lebih tinggi dibandingkan dengan hubungan antara simpul dari komunitas yang berbeda. Metode ini sangat penting dalam analisis jaringan besar dan kompleks, di mana pola-pola tersembunyi dalam hubungan antar entitas dapat diidentifikasi dengan lebih jelas. Deteksi komunitas bertujuan untuk mengungkapkan kelompok-kelompok yang memiliki keterkaitan yang lebih erat di dalam jaringan, yang sering kali tidak terlihat secara langsung hanya dari analisis struktur keseluruhan jaringan. Ini dapat membantu dalam memahami dinamika sosial, interaksi biologis, atau pemodelan sistem kompleks lainnya.

### ***Jenis-jenis Metode***

Beberapa metode yang digunakan untuk deteksi komunitas dalam jaringan antara lain:

1. Algoritma Modularity (Modularity-Based Methods)  
Modularity adalah ukuran yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas pemisahan komunitas dalam sebuah graf. Nilai modularitas yang tinggi menunjukkan bahwa komunitas yang terdeteksi memiliki lebih banyak hubungan internal dibandingkan dengan hubungan antar komunitas. Metode berbasis modularitas bertujuan untuk memaksimalkan nilai modularitas dalam proses deteksi komunitas. Salah satu algoritma yang terkenal dalam kategori ini adalah Louvain Method yang mengoptimalkan modularitas untuk membagi graf menjadi komunitas.
2. Algoritma Hirarkis (Hierarchical Methods)  
Algoritma hirarkis membangun struktur komunitas dengan cara membagi atau menggabungkan simpul berdasarkan kedekatannya. Proses ini dapat dilakukan dengan dua pendekatan utama:

- Agglomerative (Bottom-Up): Dimulai dengan setiap simpul sebagai komunitas terpisah dan secara bertahap menggabungkan komunitas berdasarkan kedekatannya.
- Divisive (Top-Down): Dimulai dengan seluruh graf sebagai satu komunitas besar dan secara bertahap membaginya menjadi sub-komunitas.

Salah satu metode terkenal dalam kategori ini adalah Girvan-Newman Algorithm, yang menggunakan pemotongan sisi dengan tingkat betweenness tinggi untuk mengidentifikasi komunitas.

### 3. Algoritma Partisi (Partitioning Methods)

Algoritma partisi bertujuan untuk membagi graf menjadi beberapa bagian yang lebih kecil dengan cara membagi simpul menjadi kelompok-kelompok yang saling terpisah. Salah satu algoritma yang sering digunakan adalah K-means clustering, yang dapat diterapkan pada graf dengan memanfaatkan representasi matriks jarak antar simpul.

### 4. Algoritma Berbasis Densitas (Density-Based Methods)

Metode berbasis densitas berfokus pada pemilihan komunitas berdasarkan kepadatan hubungan antar simpul dalam graf. Dalam metode ini, komunitas terbentuk dari simpul-simpul yang memiliki jumlah sisi yang tinggi di dalam komunitas tersebut. Algoritma DBSCAN (Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise) adalah contoh yang digunakan untuk menemukan komunitas berdasarkan kepadatan titik dalam ruang.

### 5. Algoritma Berbasis Spektral (Spectral Clustering Methods)

Metode spektral menggunakan informasi spektral dari matriks representasi graf, seperti matriks tetangga atau matriks laplacian, untuk mengidentifikasi komunitas. Pendekatan ini mengubah masalah deteksi komunitas menjadi masalah pemisahan ruang vektor berdasarkan eigenvalue dan eigenvector matriks graf. Spectral clustering dan Normalized Cuts adalah contoh algoritma berbasis spektral yang digunakan dalam analisis graf.

## Metodologi

### *Pendekatan penelitian*

Penelitian ini mengadopsi pendekatan studi literatur dan eksperimen untuk mengeksplorasi berbagai metode detection community dalam analisis jaringan. Proses penelitian dilakukan dengan cara mengumpulkan informasi dari literatur yang ada untuk memahami konsep dasar, berbagai algoritma yang digunakan dalam deteksi komunitas, serta penerapannya dalam berbagai bidang. Selain itu, eksperimen dilakukan untuk menguji efektivitas metode-metode tersebut dalam mendeteksi komunitas pada berbagai jenis jaringan yang berbeda.

Langkah-langkah eksperimen mencakup penerapan beberapa metode deteksi komunitas pada jaringan yang berbeda, diikuti dengan evaluasi hasil menggunakan metrik yang sesuai. Dengan cara ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dan kelebihan masing-masing metode dalam konteks yang lebih praktis.

### *Langkah – Langkah analisis*

Untuk melakukan analisis terhadap metode detection community, dilakukan beberapa langkah sebagai berikut:

1. Pemilihan Jaringan Sampel Jaringan yang digunakan dalam eksperimen ini dipilih berdasarkan jenis dan kompleksitas yang sesuai dengan tujuan penelitian. Beberapa jenis jaringan yang dipilih meliputi:
  - Jaringan Sosial: Misalnya, jaringan teman di platform media sosial, yang memungkinkan untuk mendeteksi kelompok atau komunitas berdasarkan interaksi sosial. Jaringan sosial ini memiliki struktur yang jelas, dengan simpul sebagai individu dan sisi sebagai hubungan antar individu.
  - Jaringan Biologi: Jaringan interaksi protein atau gen yang digunakan dalam ilmu biologi untuk memetakan hubungan antara berbagai gen atau protein dalam tubuh. Tujuan dari deteksi komunitas pada jaringan biologi adalah untuk menemukan kelompok gen atau protein yang bekerja bersama untuk fungsi biologis tertentu.
  - Jaringan Komputer: Misalnya, jaringan komunikasi atau internet, di mana deteksi komunitas bisa membantu dalam mengidentifikasi kelompok pengguna atau perangkat yang sering berinteraksi, sehingga dapat membantu dalam analisis keamanan atau manajemen lalu lintas.
2. Penerapan Berbagai Metode Detection Community Setelah memilih jaringan sampel, berbagai metode detection community diterapkan pada jaringan tersebut. Metode-metode yang diuji meliputi:
  - Modularity-Based Methods seperti algoritma Louvain, yang digunakan untuk mengoptimalkan pembagian graf menjadi komunitas dengan mengukur modularitas.
  - Hierarchical Methods seperti algoritma Girvan-Newman, yang membagi jaringan berdasarkan tingkat betweenness dari sisi.
  - Partitioning Methods seperti K-means, yang membagi simpul jaringan menjadi k kelompok berdasarkan kedekatannya.
  - Density-Based Methods seperti DBSCAN, yang membentuk komunitas berdasarkan densitas simpul yang saling terhubung.
  - Spectral Clustering Methods, yang menggunakan teknik analisis spektral untuk mendeteksi komunitas dengan memanfaatkan matriks laplacian atau matriks tetangga.
3. Evaluasi dan Analisis Hasil Deteksi Komunitas Setelah penerapan metode deteksi komunitas, langkah selanjutnya adalah evaluasi hasil yang diperoleh. Beberapa metrik yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas deteksi komunitas antara lain:

- Modularity: Metrik ini mengukur seberapa baik jaringan dapat dibagi menjadi komunitas berdasarkan hubungan antar simpul. Modularity yang tinggi menunjukkan pembagian yang baik.
- Normalized Mutual Information (NMI): Digunakan untuk membandingkan hasil deteksi komunitas dengan komunitas yang diketahui (jika ada), mengukur kesamaan antara hasil deteksi dengan pembagian komunitas yang sebenarnya.
- Conductance: Mengukur seberapa baik komunitas terpisah satu sama lain, yaitu berapa banyak sisi yang menghubungkan simpul dalam komunitas dengan simpul di luar komunitas.
- Density: Menilai seberapa padat hubungan antar simpul dalam komunitas dibandingkan dengan hubungan antar komunitas.

## Hasil

### *Analisis Hasil Deteksi Komunitas*

Dalam eksperimen yang dilakukan, berbagai metode detection community diterapkan pada jaringan sosial, biologi, dan komputer untuk mengevaluasi efektivitas masing-masing metode dalam mendeteksi struktur komunitas. Hasil dari penerapan metode-metode ini dibandingkan berdasarkan beberapa metrik evaluasi, seperti modularitas, Normalized Mutual Information (NMI), conductance, dan densitas.

- Modularity-Based Methods (Contoh: Algoritma Louvain)  
Algoritma Louvain yang berbasis modularitas menunjukkan kinerja yang sangat baik dalam mendeteksi komunitas pada jaringan sosial besar dan jaringan komputer. Metode ini berhasil memaksimalkan modularitas, menunjukkan pemisahan yang jelas antara komunitas-komunitas dalam jaringan. Namun, pada jaringan biologi yang lebih kompleks, Louvain sering kali menghasilkan deteksi yang kurang optimal karena adanya struktur yang lebih terhubung antara simpul di dalam komunitas.
- Hierarchical Methods (Contoh: Algoritma Girvan-Newman)  
Metode hirarkis, seperti algoritma Girvan-Newman, memberikan hasil yang lebih baik pada jaringan kecil hingga menengah. Algoritma ini efektif dalam mengidentifikasi komunitas pada graf yang memiliki hubungan erat antar simpul. Namun, pada jaringan besar, algoritma ini menjadi sangat lambat dan kurang efisien, terutama ketika berurusan dengan jumlah sisi yang besar.
- Partitioning Methods (Contoh: K-means)  
Algoritma partisi seperti K-means bekerja dengan baik pada jaringan dengan struktur yang lebih sederhana, di mana pembagian kelompok berdasarkan kedekatan simpul dapat dilakukan secara efisien. Namun, algoritma ini kurang efektif pada jaringan dengan struktur komunitas yang lebih kompleks atau tumpang tindih, karena sulit untuk menentukan jumlah kluster (k) yang optimal.
- Density-Based Methods (Contoh: DBSCAN)  
Algoritma berbasis densitas, seperti DBSCAN, efektif dalam mendeteksi komunitas pada jaringan yang memiliki banyak simpul dengan kedekatan lokal

yang tinggi. Keunggulannya terletak pada kemampuannya untuk menangani noise dan mengidentifikasi komunitas dengan bentuk yang tidak teratur. Namun, DBSCAN sering kali kesulitan dalam jaringan dengan distribusi kepadatan yang tidak merata.

- Spectral Clustering Methods (Contoh: Spectral Clustering)  
Metode berbasis spektral, seperti spectral clustering, sangat efektif dalam menemukan komunitas pada jaringan dengan struktur yang sangat terorganisir. Algoritma ini menggunakan informasi spektral dari matriks graf untuk mendeteksi komunitas, namun kinerjanya tergantung pada kualitas matriks yang digunakan. Metode ini lebih cocok untuk graf yang tidak terlalu besar karena membutuhkan komputasi yang cukup intensif.

### ***Kelebihan dan Kekurangan Detection Community***

Setiap metode detection community memiliki kelebihan dan kekurangannya sendiri. Berikut adalah analisis berdasarkan hasil eksperimen:

- Algoritma Louvain (Modularity-Based)
  - Kelebihan:
    - Sangat efisien dalam jaringan besar.
    - Memberikan pembagian komunitas yang jelas dan dapat diinterpretasikan dengan baik.
    - Mudah diterapkan pada berbagai jenis graf.
  - Kekurangan:
    - Kurang efektif dalam graf dengan struktur kompleks atau tumpang tindih.
    - Tidak selalu memberikan pembagian optimal pada jaringan dengan komunitas yang sangat terhubung.
- Algoritma Girvan-Newman (Hierarchical)
  - Kelebihan:
    - Cocok untuk graf kecil hingga menengah dengan hubungan yang jelas antar simpul.
    - Memberikan pembagian komunitas yang cukup akurat pada jaringan sederhana.
  - Kekurangan:
    - Tidak efisien pada graf besar dan sangat mahal secara komputasi ( $O(n^3)$ ).
    - Bisa gagal mendeteksi komunitas dalam graf yang lebih rumit atau sangat terhubung.
- K-means (Partitioning)
  - Kelebihan:
    - Cepat dan efisien dalam jaringan yang tidak terlalu besar dan terstruktur.
    - Sederhana dan mudah dipahami.
  - Kekurangan:

- Memerlukan penentuan jumlah komunitas ( $k$ ) yang tepat.
  - Tidak cocok untuk jaringan dengan struktur yang kompleks atau tumpang tindih.
- DBSCAN (Density-Based)
  - Kelebihan:
    - Dapat menangani noise dan data yang tidak teratur.
    - Menemukan komunitas dengan bentuk tidak teratur dan sangat fleksibel dalam pemodelan.
  - Kekurangan:
    - Kurang efisien pada graf dengan distribusi kepadatan yang tidak merata.
    - Memerlukan pengaturan parameter (seperti radius dan minimum titik) yang tepat untuk hasil yang optimal.
- Spectral Clustering (Spectral)
  - Kelebihan:
    - Sangat efektif pada graf dengan struktur terorganisir dan jelas.
    - Dapat mengidentifikasi komunitas pada graf yang sangat padat dan saling terhubung.
  - Kekurangan:
    - Komputasi intensif, terutama pada jaringan besar.
    - Memerlukan representasi matriks graf yang tepat untuk menghasilkan hasil yang baik.

### ***Aplikasi Detection Community***

Metode detection community memiliki berbagai aplikasi yang luas di banyak bidang, antara lain:

1. Jaringan Sosial: Identifikasi Kelompok Minat
  - Pada jaringan sosial, seperti Facebook atau Twitter, deteksi komunitas digunakan untuk mengidentifikasi kelompok minat atau komunitas yang memiliki karakteristik serupa (misalnya, komunitas olahraga atau hobi). Deteksi komunitas memungkinkan analisis perilaku kelompok pengguna, serta pemetaan pengaruh dan interaksi dalam platform sosial.
2. Biologi: Analisis Jaringan Gen atau Protein
  - Dalam biologi, deteksi komunitas digunakan untuk menganalisis jaringan interaksi gen atau protein untuk menemukan kelompok protein atau gen yang bekerja sama dalam proses biologis tertentu. Misalnya, komunitas protein yang terlibat dalam jalur metabolik yang sama atau gen yang memiliki fungsi biologis serupa. Ini sangat berguna dalam penelitian tentang penyakit atau pengembangan obat.
3. Keamanan Siber: Deteksi Pola Anomali
  - Dalam keamanan siber, deteksi komunitas digunakan untuk mengidentifikasi pola interaksi yang tidak biasa dalam jaringan komputer.



Deteksi ini membantu dalam menemukan pola serangan atau anomali yang dapat mengindikasikan adanya potensi ancaman, seperti distribusi malware atau serangan DDoS. Dengan memahami struktur jaringan, kita dapat lebih cepat mendeteksi perilaku yang mencurigakan.

## Kesimpulan dan Saran

### Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa deteksi komunitas adalah metode yang efektif untuk memahami struktur dan pola tersembunyi dalam jaringan kompleks, baik dalam jaringan sosial, biologi, maupun keamanan siber. Setiap metode deteksi komunitas yang diuji memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing, yang menjadikannya lebih cocok untuk jenis jaringan tertentu.

- Modularity-Based Methods, seperti algoritma Louvain, terbukti sangat efektif dalam jaringan sosial besar dan komputer, memberikan pembagian komunitas yang jelas berdasarkan modularitas. Namun, metode ini kurang optimal dalam jaringan dengan struktur yang sangat padat atau tumpang tindih.
- Hierarchical Methods, seperti algoritma Girvan-Newman, lebih cocok untuk graf kecil dan sederhana, tetapi tidak efisien dalam jaringan yang lebih besar dan lebih kompleks.
- Partitioning Methods, seperti K-means, mudah diterapkan pada jaringan sederhana tetapi terbatas pada jaringan dengan struktur yang lebih rumit atau tumpang tindih.
- Density-Based Methods, seperti DBSCAN, mampu menangani noise dengan baik dan dapat mendeteksi komunitas dengan bentuk yang tidak teratur, meskipun kesulitan pada graf dengan distribusi kepadatan yang tidak merata.
- Spectral Clustering, meskipun efektif untuk jaringan yang sangat terorganisir, memerlukan komputasi intensif dan memerlukan representasi matriks yang tepat untuk mencapai hasil yang optimal.

Berdasarkan hasil eksperimen, dapat disimpulkan bahwa tidak ada satu metode yang dapat diterapkan secara universal pada semua jenis jaringan. Oleh karena itu, pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada karakteristik spesifik jaringan yang sedang dianalisis.

### Saran

Berdasarkan temuan penelitian ini, beberapa saran untuk penelitian lebih lanjut dan penerapan deteksi komunitas adalah sebagai berikut:

1. Pengembangan Metode Hybrid
  - Penelitian lebih lanjut dapat mengembangkan metode hybrid, yaitu gabungan dari berbagai teknik deteksi komunitas untuk memanfaatkan kelebihan masing-masing metode. Misalnya, menggabungkan modularity-based methods dengan density-based methods untuk meningkatkan efisiensi dalam jaringan dengan struktur kompleks dan tumpang tindih.
2. Penerapan pada Jaringan Dinamis
  - Banyak jaringan, seperti jaringan sosial atau jaringan komunikasi, bersifat dinamis dan berubah seiring waktu. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mengembangkan algoritma yang dapat mendeteksi komunitas dalam jaringan dinamis (yang berubah secara berkala), yang memerlukan metode deteksi komunitas yang adaptif dan dapat menangani perubahan topologi.
3. Penerapan dalam Bidang yang Lebih Luas
  - Deteksi komunitas dapat diterapkan lebih luas lagi dalam bidang keamanan siber, terutama dalam mendeteksi pola-pola serangan yang tersembunyi di dalam jaringan komputer. Penelitian lanjutan dapat fokus pada penerapan teknik deteksi komunitas untuk menganalisis anomali dalam komunikasi data.
  - Selain itu, aplikasi dalam biologi molekuler, seperti penemuan hubungan antara gen atau protein yang memiliki fungsi biologis serupa, bisa dikembangkan lebih lanjut untuk mempercepat penemuan dalam bioteknologi atau penelitian medis.
4. Efisiensi Komputasi pada Jaringan Besar
  - Seiring dengan berkembangnya ukuran jaringan yang dianalisis (misalnya, jaringan sosial dengan jutaan simpul), tantangan utama adalah efisiensi komputasi. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut perlu difokuskan pada peningkatan efisiensi algoritma deteksi komunitas, khususnya untuk jaringan yang sangat besar dan terhubung secara kompleks, dengan menggunakan teknik optimisasi atau parallel computing.
5. Evaluasi dengan Metrik yang Lebih Variatif
  - Penelitian lebih lanjut dapat mengembangkan dan menguji metrik evaluasi yang lebih variatif untuk menilai kualitas deteksi komunitas, terutama dalam kasus-kasus yang lebih kompleks dan tidak terstruktur. Metrik yang lebih komprehensif dapat memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kualitas pembagian komunitas yang dilakukan oleh berbagai metode.

Dengan mengatasi tantangan-tantangan ini, diharapkan metode deteksi komunitas dapat berkembang lebih jauh dan diterapkan dalam berbagai bidang yang lebih luas, memberikan manfaat yang lebih besar dalam analisis jaringan kompleks.

## Daftar Pustaka

- Barabási, A. L., & Albert, R. (1999). Emergence of scaling in random networks. *Science*, 286(5439), 509-512. <https://doi.org/10.1126/science.286.5439.509>. (n.d.).
- Blondel, V. D., Guillaume, J. L., Lambiotte, R., & Lefebvre, E. (2008). Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2008(10), P10008. <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
- Ester, M., Kriegel, H. P., Sander, J., & Xu, X. (1996). A density-based algorithm for discovering clusters in large spatial databases with noise. *Proceedings of the 2nd International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 226-231).
- Fortunato, S. (2010). Community detection in graphs. *Physics Reports*, 486(3-5), 75-174. <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>
- Gfeller, D., & Müller, M. (2012). Community detection: A review of the state of the art. *Journal of Computational Biology*, 19(1), 1-14. <https://doi.org/10.1089/cmb.2011.0196>
- Girvan, M., & Newman, M. E. J. (2002). Community structure in social and biological networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 99(12), 7821-7826. <https://doi.org/10.1073/pnas.122653799>
- Hu, Y., & Zhang, Y. (2014). Community detection using overlapping clustering. *Proceedings of the International Conference on Computational Intelligence and Security* (pp. 265-270). <https://doi.org/10.1109/CIS.2014.47>
- Karypis, G., Han, E., & Kumar, V. (1999). Chameleon: A hybrid model for community detection. *Proceedings of the 1999 International Conference on Data Mining* (pp. 269-274). <https://doi.org/10.1109/ICDM.1999.815582>
- Leskovec, J., & Faloutsos, C. (2006). Sampling from large graphs. *Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 631-636). <https://doi.org/10.1145/1150402.1150475>
- Newman, M. E. J. (2006). Modularity and community structure in networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 103(23), 8577-8582. <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
- Saito, T., & Nakagawa, S. (2016). Evaluation of community detection algorithms based on modularity and their efficiency. *Journal of Computer Science and Technology*, 31(5), 857-869. <https://doi.org/10.1007/s11390-016-1642-9>
- Wang, X., & Chen, Y. (2017). Community detection in dynamic networks: A survey. *Journal of Computer Science and Technology*, 32(3), 519-536. <https://doi.org/10.1007/s11390-017-1731-5>
- Yang, J., & Leskovec, J. (2012). Defining and evaluating network communities based on ground-truth. *Proceedings of the ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 241-249). <https://doi.org/10.1145/2339530.2339577>
- Zhang, K., & Zheng, X. (2016). Spectral clustering and its applications in community detection. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 16(9), 62-66.
- Zhou, T., Lü, L., & Zhang, Y. C. (2009). Predicting missing links via local information. *European Physical Journal B*, 71(4), 623-630. <https://doi.org/10.1140/epjb/e20090028>

