BAB 5. PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem pendeteksian jaringan bot pada platform TikTok berbasis analisis graf dengan mengintegrasikan *Canopy Clustering* dan algoritma Kruskal *Minimum Spanning Tree* (MST). Sistem dikembangkan menggunakan pendekatan *Design Research Methodology* (DRM) yang dikombinasikan dengan SDLC *Prototyping*, sehingga proses pengembangan dilakukan secara terstruktur mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, hingga evaluasi hasil. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, kesimpulan penelitian ini dapat dirumuskan sesuai dengan tiga rumusan masalah sebagai berikut.

Menjawab rumusan masalah pertama, sistem deteksi jaringan bot pada TikTok berhasil dirancang sebagai *pipeline* end-to-end yang memproses data mulai dari pengambilan komentar hingga menghasilkan visualisasi jaringan. Alur sistem dibangun dalam enam modul utama, yaitu TikTok*Client* untuk mengambil komentar publik dari URL video TikTok, Comment*Parser* untuk melakukan *parsing* komentar dan ekstraksi relasi, Canopy*Cluster*er untuk membentuk pengelompokan awal berbasis kemiripan teks, *GraphBuilder* untuk membangun graf berbobot dari relasi mention, reply, co-thread, temporal, dan kemiripan konten, MST*Cluster*er untuk membentuk klaster menggunakan Kruskal MST dan *edge* cutting, serta SuspiciousScorer untuk menghitung skor kecurigaan klaster dan akun. Seluruh proses tersebut diintegrasikan dalam *backend* FastAPI dan divisualisasikan pada antarmuka berbasis Cytoscape.js, sehingga pengguna dapat memasukkan URL video TikTok, menjalankan analisis, melihat graf interaktif, memeriksa daftar klaster, serta mengekspor hasil analisis dalam format CSV. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa seluruh skenario utama sistem berjalan sesuai spesifikasi, sehingga alur sistem yang dirancang telah mampu menjawab kebutuhan deteksi jaringan bot dari tahap *input* hingga *output* visualisasi.

Menjawab rumusan masalah kedua, integrasi *Canopy Clustering* dan algoritma Kruskal berhasil diterapkan dalam *pipeline* untuk membangun graf

berbobot, menyederhanakan struktur jaringan melalui Kruskal MST dan *edge* cutting, serta mengekstraksi kelompok akun yang diduga bergerak secara terkoordinasi. *Canopy Clustering* diterapkan sebagai *soft pre-filtering*, yaitu memberikan informasi pengelompokan awal dan penalti bobot terhadap relasi lintas canopy, bukan sebagai filter keras yang langsung menghapus seluruh *edge* antar akun berbeda canopy. Hasil pengujian menunjukkan bahwa reduksi *edge* oleh Canopy masih relatif kecil, yaitu berada pada rentang 0,76% hingga 1,47%. Oleh karena itu, Canopy dalam penelitian ini tidak dapat diklaim sebagai komponen utama yang memberikan pengurangan *edge* secara signifikan, tetapi tetap berperan sebagai sinyal tambahan dalam pembobotan relasi. Penyederhanaan struktur graf yang lebih nyata diperoleh melalui penerapan Kruskal MST dan *edge* cutting. Kruskal MST membentuk backbone jaringan dengan mempertahankan relasi-relasi yang paling representatif, sedangkan *edge* cutting memecah struktur tersebut menjadi klaster komunitas yang lebih mudah dianalisis. Dengan pendekatan tersebut, sistem mampu menghasilkan klaster akun yang memiliki indikasi koordinasi berdasarkan kepadatan relasi, repetisi konten, sinkronisasi temporal, frekuensi komentar, dan sinyal akun baru apabila tersedia.

Menjawab rumusan masalah ketiga, evaluasi kinerja dan kualitas metode dilakukan melalui pengujian integrasi, pengujian fungsional, pengujian *error handling*, pengujian waktu eksekusi, pengujian reduksi *edge*, perbandingan skenario baseline, serta evaluasi kualitas klaster menggunakan metrik internal. Dari sisi kinerja, total waktu eksekusi *pipeline* berada pada kisaran 21 hingga 40 detik untuk *dataset* berukuran 100 sampai 1.000 komentar. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat berjalan pada perangkat komputasi standar tanpa GPU, meskipun tahap pengambilan data dari TikTok masih menjadi bagian yang paling dominan dalam waktu eksekusi. Dari sisi kualitas klaster, evaluasi menggunakan Modularity, Silhouette Score, dan Conductance menunjukkan bahwa sistem mampu membentuk struktur komunitas yang dapat dianalisis, dengan performa terbaik pada *dataset* 500 komentar yang menghasilkan nilai Modularity sebesar 0,487 dan Silhouette Score sebesar 0,531. Namun, nilai Conductance yang masih cukup tinggi menunjukkan bahwa pemisahan antar komunitas belum sepenuhnya optimal,

sehingga hasil deteksi tetap perlu dipahami sebagai indikasi awal, bukan keputusan final mengenai status bot suatu akun.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis graf secara unsupervised dapat digunakan untuk mendeteksi indikasi jaringan akun terkoordinasi pada komentar TikTok tanpa membutuhkan data berlabel. Kontribusi utama penelitian ini terletak pada rancangan *pipeline* deteksi yang menggabungkan pemodelan relasi komentar, *soft pre-filtering* berbasis Canopy, pembentukan backbone jaringan menggunakan Kruskal MST, serta *scoring* klaster berdasarkan beberapa indikator kecurigaan. Meskipun demikian, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan, terutama rendahnya reduksi *edge* oleh *Canopy Clustering*, tidak tersedianya ground truth label akun bot, serta ketergantungan sistem pada data komentar publik dan akses TikTokApi. Oleh karena itu, sistem ini lebih tepat digunakan sebagai alat bantu analisis awal untuk mengidentifikasi klaster yang perlu diperiksa lebih lanjut oleh manusia, bukan sebagai sistem penentu otomatis bahwa suatu akun merupakan bot. Tabel 5.1 Merangkum capaian penelitian terhadap ketiga rumusan masalah secara terukur.

Tabel 5.1 Capaian Penelitian Terhadap Rumusan Masalah

Rumusan Masalah	**Tujuan**	**Capaian**	**Bukti di Bab 4**
RM-1: Bagaimana merancang alur sistem deteksi bot pada TikTok, mulai dari pengambilan data komentar hingga menghasilkan hasil deteksi dan visualisasi jaringan?	Merancang dan mengimplementasikan *pipeline* end-to-end deteksi bot berbasis graf pada TikTok	*Pipeline* 6 modul berhasil diimplementasikan: TikTok*Client* → *Parser* → Canopy → *GraphBuilder* → MST*Cluster*er → SuspiciousScorer. Seluruh 12 skenario pengujian fungsional	Tabel 4.17 (Pengujian Fungsional); Tabel 4.10 (Alur Data *Pipeline*); Tabel 4.6 (*Endpoint* API)

		dinyatakan Pass (100%).	
RM-2: Bagaimana menerapkan *Canopy Clustering* dan algoritma Kruskal (MST) untuk membangun graf berbobot, menyederhanakan struktur jaringan, dan mengekstraksi kelompok akun yang diduga bergerak terkoordinasi.	Mengintegrasikan *Canopy Clustering* dan Kruskal MST dalam satu *pipeline* untuk efisiensi komputasi dan ekstraksi klaster	Canopy diterapkan sebagai *soft pre-filtering* dengan penalti bobot lintas canopy (bukan filter keras); reduksi *edge* 0,76–1,47%. MST terbentuk valid (networkx.is_tree( ) = True). Studi kasus menghasilkan 5 klaster mencurigakan dari 484 klaster pada *dataset* 1.000 komentar.	Tabel 4.21 (Reduksi *Edge*); Tabel 4.22 (Perbandinga n Skenario); Tabel studi kasus (4.28)
RM-3: Bagaimana menguji kinerja dan kualitas hasil metode yang diusulkan, baik dari sisi efisiensi (waktu proses/skalabilitas) maupun kualitas kelompok	Mengevaluasi *pipeline* dari sisi waktu eksekusi, reduksi *edge*, dan kualitas klaster menggunakan metrik internal	Waktu eksekusi 21–40 detik untuk 100–1.000 komentar. Performa terbaik pada *dataset* 500 komentar (Modularity 0,487; Silhouette 0,531). Perbandingan tiga skenario	Tabel 4.20 (Performa); Tabel 4.22 (Perbandinga n Skenario); Tabel 4.23 (Kualitas Klaster)

jaringan yang terbentuk?		menunjukkan bahwa metode usulan memberikan keseimbangan antara efisiensi waktu, struktur graf yang tetap dapat dianalisis, dan kualitas klaster yang cukup baik, meskipun tidak unggul pada seluruh metrik.	

Secara keseluruhan, penelitian ini berhasil membuktikan bahwa pendekatan berbasis analisis jaringan koordinasi secara *unsupervised* dapat diterapkan pada platform TikTok menggunakan infrastruktur komputasi standar tanpa GPU. Sistem mengisi kesenjangan penelitian yang signifikan: sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada Twitter/X dengan pendekatan *supervised learning* yang memerlukan data berlabel, sementara penelitian ini menunjukkan bahwa koordinasi bot di TikTok dapat dideteksi dari pola struktural jaringan komentar dengan *output* yang transparan dan dapat dijelaskan komponen penyusunnya. Hasil deteksi bersifat indikasi awal yang memerlukan verifikasi manusia bukan keputusan final sehingga sistem ini paling tepat digunakan sebagai alat bantu analisis, bukan pengganti penilaian manusia.

5.2. Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, sistem masih memiliki beberapa peluang pengembangan agar hasil deteksi menjadi lebih akurat, adaptif, dan siap digunakan pada kondisi yang lebih nyata. Saran pengembangan ini disusun

berdasarkan hasil implementasi, pengujian, serta keterbatasan yang ditemukan selama penelitian berlangsung.

Pengembangan pertama yang disarankan adalah meningkatkan representasi fitur teks yang digunakan dalam proses analisis komentar. Pada penelitian ini, sistem masih menggunakan TF-IDF sehingga kemiripan komentar lebih banyak dihitung berdasarkan frekuensi kata. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan model sentence embedding yang mendukung bahasa Indonesia, seperti IndoBERT atau model multilingual sentence embedding, agar sistem mampu menangkap kemiripan makna komentar meskipun menggunakan kata, slang, atau parafrase yang berbeda.

Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan kalibrasi terhadap bobot indikator dan ambang batas skor kecurigaan menggunakan data berlabel. Hal ini penting karena penelitian ini belum menggunakan ground truth akun bot yang terverifikasi secara eksternal. Dengan adanya data berlabel, nilai threshold dapat ditentukan secara lebih objektif, sehingga hasil deteksi dapat dievaluasi menggunakan metrik seperti precision, recall, dan F1-score.

Dari sisi metode, parameter T1 dan T2 pada *Canopy Clustering* juga perlu dikembangkan agar tidak hanya menggunakan nilai tetap. Penelitian selanjutnya dapat menerapkan mekanisme penentuan parameter secara adaptif berdasarkan distribusi kemiripan komentar pada setiap *dataset*. Dengan demikian, proses reduksi *edge* berpotensi menjadi lebih efektif dan tidak terlalu bergantung pada satu konfigurasi parameter tertentu.

Berdasarkan hasil perbandingan dengan *Louvain Community Detection*, penelitian selanjutnya juga disarankan untuk mengembangkan pendekatan hibrida antara metode deteksi komunitas berbasis *modularity* dan metode penyederhanaan graf berbasis *Minimum Spanning Tree* atau *MST*. *Louvain* dapat digunakan untuk memperoleh komunitas awal dengan nilai *modularity* yang lebih baik, sedangkan *MST* dapat digunakan untuk menyederhanakan struktur relasi di dalam komunitas agar pola hubungan antar akun lebih mudah diinterpretasikan. Pendekatan ini diharapkan dapat menggabungkan keunggulan *Louvain* dari sisi kualitas komunitas dan keunggulan *Kruskal MST* dari sisi interpretabilitas struktur jaringan.

Pengembangan lain yang dapat dilakukan adalah memperkaya analisis temporal. Sistem dapat ditingkatkan dengan menganalisis pola waktu komentar secara lebih rinci, misalnya berdasarkan distribusi per jam, lonjakan komentar dalam waktu singkat, atau pola aktivitas akun yang muncul secara bersamaan. Pendekatan ini dapat membantu mendeteksi pola koordinasi yang tidak hanya terlihat dari kemiripan isi komentar, tetapi juga dari kesamaan waktu aktivitas.

Selain analisis pada satu video, sistem juga dapat dikembangkan untuk menganalisis koordinasi akun lintas video. Dengan menyimpan hasil analisis dari beberapa sesi, sistem dapat mengidentifikasi apakah akun-akun tertentu berulang kali muncul dalam klaster mencurigakan pada beberapa video yang berbeda. Pengembangan ini akan membuat sistem lebih relevan untuk mendeteksi pola kampanye terkoordinasi dalam skala yang lebih luas.

Dari sisi implementasi sistem, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan arsitektur agar lebih siap digunakan pada lingkungan produksi. Sistem yang saat ini masih berjalan pada lingkungan lokal dapat dikembangkan menjadi layanan berbasis *server* dengan pemisahan antara proses pengambilan data dan proses analisis. Selain itu, mekanisme polling asinkron dapat ditingkatkan menjadi WebSocket agar pengguna dapat melihat hasil analisis secara bertahap tanpa harus menunggu seluruh proses selesai.

Terakhir, penelitian selanjutnya perlu memperhatikan aspek etika dalam penggunaan sistem deteksi bot. Hasil deteksi sebaiknya diposisikan sebagai indikasi awal yang tetap memerlukan verifikasi manusia, bukan sebagai keputusan final terhadap suatu akun. Hal ini penting agar sistem tidak digunakan secara keliru untuk menilai atau menuduh akun tertentu tanpa bukti tambahan yang memadai.