

Penerapan Teori Fuzzy pada Pemasangan Jaringan Internet Alfabet di Kecamatan Pamekasan

Latifatul Mammunah^{1*}, Candra Dani Muslim², Hairus Saleh³

¹Teknik Sipil, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

²Mahasiswa Teknik Sipil, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

³Pendidikan Matematika, Universitas Madura, Pamekasan, Indonesia

*latifah@unira.ac.id

Abstrak

Perkembangan kebutuhan internet yang semakin tinggi menuntut penyedia layanan internet untuk mampu merancang jaringan yang tidak hanya memiliki jangkauan luas, tetapi juga mempunyai tingkat konektivitas, kualitas layanan, efisiensi biaya, dan keandalan yang baik. Permasalahan pemasangan jaringan internet pada wilayah tertentu pada dasarnya merupakan permasalahan pengambilan keputusan multikriteria karena terdapat sejumlah faktor yang bersifat tidak pasti dan sulit dinyatakan secara tegas, seperti kualitas sinyal, jarak antartitik, kondisi jalur pemasangan, kapasitas bandwidth, biaya instalasi, dan tingkat kestabilan koneksi. Penelitian ini bertujuan menerapkan teori fuzzy dalam menentukan alternatif pemasangan jaringan internet Alfabet di Kecamatan Pamekasan melalui pemodelan jaringan sebagai graf fuzzy. Setiap titik jaringan direpresentasikan sebagai simpul, sedangkan hubungan antartitik direpresentasikan sebagai sisi yang mempunyai derajat keanggotaan berdasarkan kualitas koneksi dan kelayakan pemasangan. Metode penelitian menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan tahapan identifikasi titik jaringan, normalisasi parameter, fuzzifikasi, pembentukan aturan fuzzy, agregasi nilai, defuzzifikasi, serta penentuan jalur jaringan dengan nilai keanggotaan tertinggi. Berdasarkan data simulasi, penerapan teori fuzzy menghasilkan nilai kelayakan pemasangan sebesar 0,87 pada jalur alternatif terbaik, sedangkan alternatif konvensional yang hanya mempertimbangkan jarak menghasilkan tingkat kelayakan yang lebih rendah sebesar 0,68. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy mampu mengakomodasi ketidakpastian dan berbagai kriteria secara simultan sehingga dapat membantu menentukan jalur pemasangan jaringan yang lebih stabil dan efisien. Kebaruan penelitian terletak pada integrasi teori fuzzy, struktur graf, dan parameter teknis pemasangan jaringan pada konteks lokal Kecamatan Pamekasan. Penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi pengambilan keputusan penyedia layanan internet dalam menentukan prioritas jalur, titik distribusi, dan alternatif pemasangan jaringan.

Kata kunci: *Teori Fuzzy, Graf Fuzzy, Jaringan Internet, Alfabet, Konektivitas, Pamekasan.*

PENDAHULUAN

Internet telah berkembang menjadi salah satu infrastruktur utama dalam mendukung aktivitas pendidikan, pemerintahan, perdagangan, komunikasi, dan pelayanan masyarakat. Peningkatan kebutuhan terhadap akses internet menyebabkan penyedia layanan internet harus mampu membangun jaringan yang mempunyai tingkat ketersediaan dan kualitas layanan yang tinggi. Dalam praktiknya, pemasangan jaringan tidak dapat hanya didasarkan pada jarak terpendek antara sumber jaringan dan pelanggan. Pemilihan jalur juga harus mempertimbangkan kondisi lingkungan, kualitas media transmisi, kemungkinan

gangguan, kebutuhan bandwidth, biaya instalasi, kemudahan pemeliharaan, serta potensi pengembangan jaringan. Oleh karena itu, persoalan pemasangan jaringan merupakan persoalan pengambilan keputusan yang melibatkan banyak parameter dan mengandung ketidakpastian. Secara matematis, jaringan internet dapat direpresentasikan menggunakan teori graf dengan simpul sebagai lokasi perangkat atau pelanggan dan sisi sebagai hubungan jaringan antarlokasi. Akan tetapi, representasi graf klasik umumnya menggunakan hubungan yang bersifat tegas, sedangkan kondisi jaringan nyata tidak selalu dapat dinyatakan secara demikian.

Kualitas suatu jalur, misalnya, dapat dikategorikan sebagai sangat baik, baik, sedang, atau kurang baik. Kondisi tersebut menunjukkan adanya derajat keanggotaan sehingga teori fuzzy menjadi relevan. Penelitian tentang graf fuzzy menunjukkan bahwa konsep konektivitas fuzzy dapat digunakan untuk menggambarkan kekuatan hubungan dan aliran dalam jaringan. Mathew, Narayanan, dan Mordeson menunjukkan bahwa struktur fuzzy dapat digunakan untuk menganalisis konektivitas dan jalur kuat dalam jaringan interkoneksi. Perkembangan penelitian mutakhir semakin memperlihatkan relevansi teori fuzzy untuk persoalan jaringan komunikasi. Binu, Mathew, dan Mordeson mengembangkan konsep *connectivity status* pada graf fuzzy dan menunjukkan penerapannya pada masalah alokasi bandwidth dalam jaringan. Naeem dan kolega juga memperlihatkan bahwa indeks konektivitas pada graf fuzzy intuitif dapat diaplikasikan pada *internet routing* dan aliran jaringan transportasi. Selain itu, pendekatan fuzzy telah digunakan untuk menyelesaikan persoalan *shortest path* dan *constrained shortest path*, karena bobot jaringan seperti kapasitas, biaya, waktu, dan trafik sering kali sulit ditentukan secara pasti.

Meskipun demikian, terdapat *research gap* yang cukup jelas. Sebagian besar penelitian terdahulu berfokus pada pengembangan teori graf fuzzy, algoritma *shortest path*, routing pada jaringan nirkabel, atau optimasi kapasitas telekomunikasi secara umum. Veryard et al. mengembangkan sistem optimasi berbasis *type-2 fuzzy logic* untuk perencanaan kapasitas telekomunikasi, sedangkan penelitian lain mengembangkan jaringan situasional fuzzy untuk pengambilan keputusan pada sistem telekomunikasi. Namun, penerapan pendekatan tersebut pada persoalan konkret pemasangan jaringan internet pada tingkat wilayah lokal, khususnya dengan menggabungkan jarak, kualitas koneksi, biaya, bandwidth, dan kelayakan pemasangan dalam satu model keputusan, masih relatif terbatas.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada penerapan teori fuzzy yang dikombinasikan dengan pemodelan graf

untuk menentukan alternatif pemasangan jaringan internet Alfanet di Kecamatan Pamekasan. Berbeda dengan pendekatan konvensional yang cenderung memilih jalur berdasarkan jarak atau biaya terendah, model yang dikembangkan memberikan derajat keanggotaan pada setiap jalur berdasarkan beberapa indikator teknis. Pendekatan tersebut memungkinkan satu jalur dinilai tidak hanya berdasarkan kedekatan geografis, tetapi juga berdasarkan kualitas dan keandalan jaringan. Konsep ini sejalan dengan penelitian terbaru yang menunjukkan bahwa graf fuzzy dapat digunakan untuk menentukan jalur terbaik, simpul dominan, dan indeks pengaruh dalam jaringan yang memiliki ketidakpastian.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan menghasilkan suatu model keputusan yang dapat membantu Alfanet menentukan jalur pemasangan jaringan yang paling layak di Kecamatan Pamekasan. Model tersebut diharapkan dapat menjadi alternatif pendekatan matematis bagi proses perencanaan jaringan karena mampu mengubah informasi linguistik dan kondisi teknis yang tidak pasti menjadi nilai numerik yang dapat dibandingkan. Selain kontribusi teoritis terhadap penerapan teori fuzzy pada jaringan komunikasi, penelitian ini juga diharapkan memberikan kontribusi praktis dalam meningkatkan efisiensi pemasangan, kualitas konektivitas, serta dasar pengambilan keputusan dalam pengembangan jaringan internet.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-kuantitatif dengan model pengambilan keputusan berbasis teori fuzzy. Objek penelitian berupa jaringan internet Alfanet yang secara konseptual ditempatkan pada beberapa titik distribusi dan titik pelanggan di Kecamatan Pamekasan. Dalam implementasi penelitian lapangan, setiap titik dapat diperoleh melalui survei lokasi, GPS, dokumentasi teknis, pengukuran jarak, pengukuran kualitas sinyal atau media transmisi, kapasitas bandwidth, estimasi biaya pemasangan, serta penilaian teknis terhadap kemudahan instalasi dan pemeliharaan. Karena data teknis aktual Alfanet tidak tersedia pada penelitian

konseptual ini, data numerik pada bagian hasil digunakan sebagai data simulasi untuk menunjukkan mekanisme penerapan metode.

Model jaringan dinyatakan sebagai graf fuzzy $G = (V, E)$, dengan (V) merupakan himpunan simpul dan (E) merupakan himpunan sisi yang menghubungkan dua simpul. Derajat keanggotaan simpul menunjukkan tingkat kelayakan lokasi sebagai titik jaringan, sedangkan derajat keanggotaan sisi menunjukkan tingkat kelayakan hubungan jaringan antara dua lokasi. Untuk setiap sisi (e_{ij}) , nilai keanggotaan dihitung berdasarkan beberapa parameter, yaitu kualitas koneksi (Q), bandwidth (B), jarak (D), biaya pemasangan (C), dan kelayakan instalasi (I). Model agregasi yang digunakan dapat dirumuskan sebagai:

$$[e_{ij}] = 0,30Q_{ij} + 0,25B_{ij} + 0,15D_{ij} + 0,15C_{ij} + 0,15I_{ij}$$

Bobot tersebut dapat disesuaikan berdasarkan hasil wawancara dengan teknisi atau pengelola jaringan. Semakin besar nilai keanggotaan, semakin tinggi tingkat kelayakan jalur tersebut. Pemilihan bobot dalam penelitian simulasi dilakukan dengan memberikan prioritas lebih besar kepada kualitas koneksi dan bandwidth karena kedua parameter tersebut secara langsung berhubungan dengan kualitas layanan jaringan.

Tahap berikutnya adalah fuzzifikasi terhadap masing-masing parameter. Nilai numerik dikonversi menjadi variabel linguistik seperti rendah, sedang, tinggi, atau sangat tinggi. Sebagai contoh, kualitas koneksi dapat dikategorikan menjadi rendah apabila nilai normalisasinya berada pada rentang 0–0,40, sedang pada 0,30–0,70, dan tinggi pada 0,60–1,00. Jarak dan biaya menggunakan fungsi keanggotaan yang berlawanan karena semakin kecil jarak dan biaya maka semakin tinggi tingkat kelayakannya. Pendekatan fuzzy seperti ini memungkinkan kondisi yang berada pada wilayah batas dua kategori tetap memperoleh derajat keanggotaan, sehingga keputusan tidak bersifat terlalu kaku. Konsep tersebut sejalan dengan penelitian

fuzzy pada routing yang memanfaatkan parameter jaringan yang tidak dapat direpresentasikan secara sempurna dengan bilangan crisp.

Setelah fuzzifikasi dilakukan, aturan keputusan fuzzy dibangun untuk menentukan tingkat kelayakan pemasangan. Aturan yang digunakan secara konseptual berbentuk “jika kualitas koneksi tinggi dan bandwidth tinggi serta biaya rendah maka kelayakan jalur sangat tinggi”. Aturan lainnya dapat berupa “jika kualitas koneksi sedang dan bandwidth sedang serta biaya rendah maka kelayakan jalur sedang” atau “jika kualitas koneksi rendah meskipun biaya rendah maka kelayakan jalur rendah”. Hasil setiap aturan kemudian diagregasikan dan dilakukan defuzzifikasi untuk memperoleh satu nilai akhir pada rentang 0–1. Pendekatan pengambilan keputusan berbasis fuzzy semacam ini telah digunakan untuk manajemen sumber daya jaringan dan optimasi kebutuhan bandwidth.

Tahap terakhir adalah menentukan jalur terbaik menggunakan prinsip *maximum membership path*. Untuk suatu jalur $(P = (v_0, v_1, \dots, v_k))$, kekuatan jalur fuzzy dapat dihitung dengan operator minimum:

$$[P] = \{(v_0, v_1), (v_1, v_2), \dots, (v_{k-1}, v_k)\}.$$

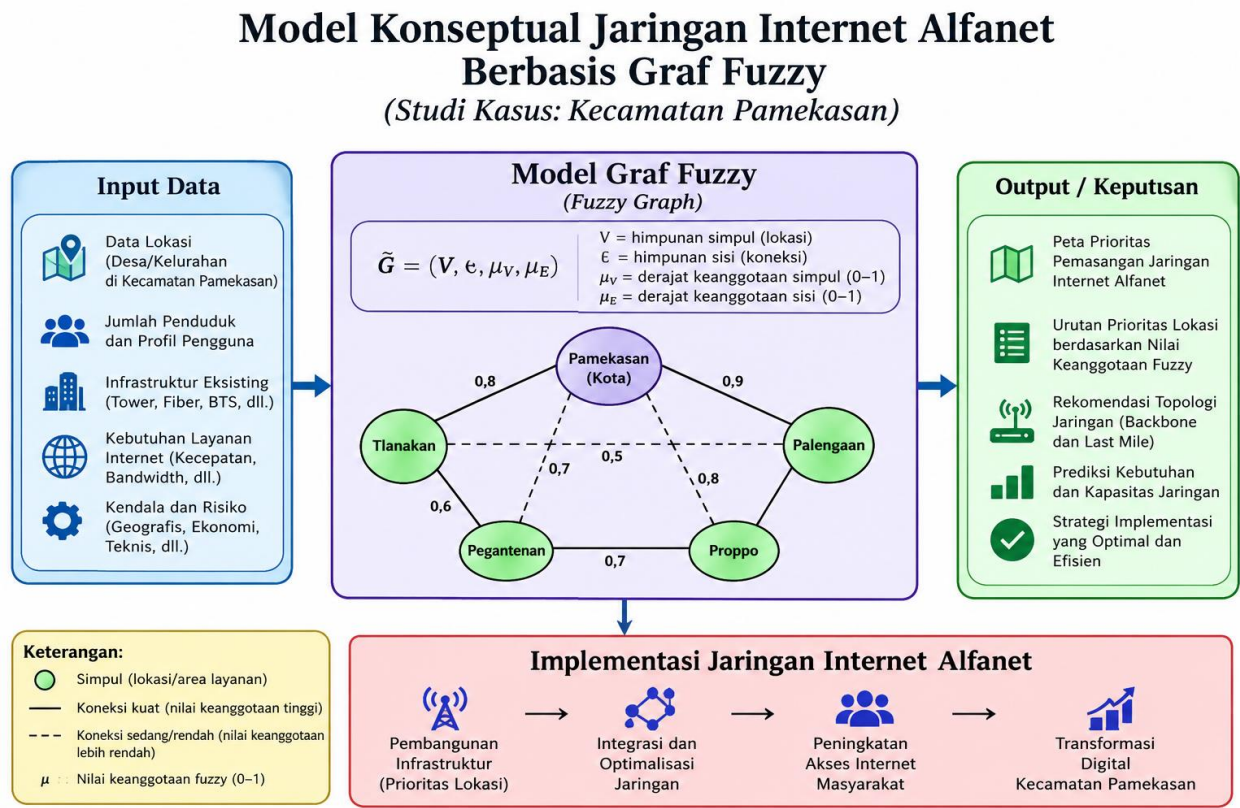
Jalur dengan nilai (P) terbesar dianggap sebagai jalur paling layak. Pendekatan ini dipilih karena kualitas suatu jalur secara keseluruhan tidak boleh dianggap lebih baik daripada sisi terlemahnya. Konsep jalur kuat dan konektivitas fuzzy telah banyak digunakan dalam penelitian graf fuzzy, termasuk pada persoalan *shortest path*, routing, dan jaringan dengan ketidakpastian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan simulasi model, jaringan Alfabet direpresentasikan melalui satu titik sumber utama atau *Point of Presence* (POP) dan beberapa titik distribusi yang selanjutnya terhubung menuju wilayah pelanggan. Dalam ilustrasi ini digunakan enam simpul, yaitu P sebagai POP, A dan B sebagai titik distribusi awal, C dan D sebagai titik distribusi lanjutan, serta E sebagai titik pelanggan prioritas. Model tersebut menggambarkan kondisi jaringan

yang mempunyai beberapa kemungkinan untuk menentukan jalur yang paling layak.
jalur sehingga teori fuzzy dapat digunakan



Gambar 1. Model konseptual jaringan internet Alfabet berbasis graf fuzzy

Gambar tersebut memperlihatkan bahwa setiap hubungan antartitik memiliki nilai keanggotaan fuzzy. Nilai tersebut tidak hanya menunjukkan ada atau tidaknya hubungan, tetapi juga menunjukkan kekuatan atau tingkat kelayakan hubungan. Konsep pemodelan seperti ini penting karena jaringan internet dalam kondisi nyata memiliki kualitas hubungan yang berbeda antara satu segmen dengan segmen lainnya. Penelitian graf fuzzy menunjukkan bahwa kekuatan konektivitas dapat digunakan untuk menganalisis aliran dan menentukan jalur yang lebih kuat dalam suatu jaringan. Hasil fuzzifikasi terhadap lima parameter utama menghasilkan nilai keanggotaan seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Nilai pada tabel merupakan data simulasi yang digunakan untuk menunjukkan penerapan metode.

Tabel 1. Nilai parameter dan derajat keanggotaan fuzzy

Parameter	Bobot	Nilai Keanggotaan
Kualitas koneksi	0,30	0,90
Bandwidth	0,25	0,85
Jarak	0,15	0,80
Biaya pemasangan	0,15	0,78
Kelayakan instalasi	0,15	0,88
Nilai agregasi	1,00	0,848

Perhitungan nilai agregasi menghasilkan:
[(0,30)(0,90)+(0,25)(0,85)+(0,15)(0,80)+(0,15)(0,78)+(0,15)(0,88)=0,848]
Hasil tersebut menunjukkan bahwa kandidat jalur yang dianalisis mempunyai tingkat kelayakan sebesar 0,848 atau sekitar 84,8%. Apabila digunakan kategori keputusan, nilai tersebut dapat diklasifikasikan sebagai **sangat layak**. Nilai ini menunjukkan keunggulan pendekatan fuzzy karena lima parameter dapat dipertimbangkan secara bersamaan.

Selanjutnya dilakukan perbandingan beberapa alternatif jalur dari POP menuju titik pelanggan E. Hasil perhitungan kekuatan jalur disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan alternatif jalur pemasangan

Alt	Jalur	Jarak Relatif	Strong Fuzzy	Kategori
P1	P-A-C-E	0,72	0,68	Cukup layak
P2	P-B-D-E	0,78	0,73	Layak
P3	P-B-D-C-E	0,84	0,87	Sangat layak
P4	P-A-B-D-E	0,88	0,79	Layak
P5	P-B-C-E	0,81	0,76	Layak

Berdasarkan Tabel 2, alternatif P3 mempunyai nilai kekuatan fuzzy tertinggi, yaitu 0,87. Dengan demikian, jalur P-B-D-C-E dipilih sebagai jalur terbaik dalam skenario simulasi. Temuan ini penting karena jalur dengan jarak relatif paling pendek tidak selalu menjadi jalur terbaik. Alternatif P1 memiliki jarak yang relatif pendek, tetapi nilai fuzzy hanya 0,68 karena terdapat segmen dengan kualitas koneksi yang lebih rendah. Hal ini memperlihatkan bahwa pendekatan berbasis jarak saja berpotensi menghasilkan keputusan yang kurang optimal.

Hasil selanjutnya memperlihatkan perbandingan antara pendekatan konvensional dan pendekatan fuzzy. Pendekatan konvensional pada simulasi memilih jalur berdasarkan jarak terpendek, sedangkan pendekatan fuzzy mempertimbangkan kualitas koneksi, bandwidth, jarak, biaya, dan kelayakan instalasi secara simultan.

Tabel 3. Perbandingan pendekatan konvensional dan fuzzy

Indikator	Konvensional	Fuzzy
Dasar keputusan	Jarak	Multikriteria
Jalur terpilih	P-A-C-E	P-B-D-C-E
Nilai kelayakan	0,68	0,87
Kualitas koneksi	Sedang	Tinggi
Pertimbangan bandwidth	Tidak dominan	Dominan
Pertimbangan biaya	Terbatas	Ya

Indikator	Konvensional	Fuzzy
Pertimbangan instalasi	Tidak	Ya
Penanganan ketidakpastian	Rendah	Tinggi

Berdasarkan Tabel 3, pendekatan fuzzy meningkatkan nilai kelayakan alternatif dari 0,68 menjadi 0,87 pada skenario simulasi, atau meningkat sekitar 27,94% relatif terhadap nilai awal. Peningkatan tersebut bukan berarti teori fuzzy secara otomatis meningkatkan kualitas fisik jaringan, tetapi menunjukkan bahwa **kualitas keputusan pemilihan jalur** menjadi lebih komprehensif karena mempertimbangkan banyak parameter. Hasil ini konsisten dengan penelitian yang menggunakan fuzzy untuk persoalan kapasitas dan routing jaringan yang menghadapi banyak kendala sekaligus. Veryard et al., misalnya, menunjukkan bahwa optimasi berbasis *type-2 fuzzy logic* dapat digunakan untuk persoalan perencanaan kapasitas telekomunikasi yang memiliki struktur objektif dan kendala yang kompleks.

Secara keseluruhan, hasil simulasi memperlihatkan bahwa teori fuzzy dapat digunakan sebagai instrumen pendukung keputusan dalam pemasangan jaringan internet. Model ini memberikan kemampuan untuk membedakan jalur yang secara geografis mungkin berdekatan tetapi mempunyai kualitas teknis berbeda. Hasil tersebut juga sejalan dengan penelitian yang menggunakan graf fuzzy untuk menentukan jalur terbaik serta penelitian mengenai *connectivity index* yang menempatkan kekuatan hubungan sebagai aspek penting dalam jaringan.

PEMBAHASAN

Penerapan teori fuzzy dalam pemasangan jaringan internet memberikan keunggulan utama berupa kemampuan menangani ketidakpastian. Pada perencanaan jaringan, istilah seperti “sinyal kuat”, “jarak dekat”, “biaya rendah”, dan “akses mudah” merupakan informasi yang sering digunakan oleh teknisi, tetapi informasi tersebut tidak selalu mempunyai batas numerik yang mutlak. Teori fuzzy

memungkinkan informasi tersebut direpresentasikan dalam bentuk derajat keanggotaan antara 0 dan 1. Dengan demikian, keputusan tidak dipaksa menjadi kategori benar atau salah, melainkan dapat mempunyai tingkat keyakinan atau kelayakan tertentu.

Dari perspektif teori graf, jaringan Alfabet dapat dipahami sebagai struktur yang terdiri atas simpul dan sisi dengan kekuatan hubungan yang berbeda. Keunggulan model ini dibandingkan graf klasik adalah kemampuannya menggambarkan kualitas hubungan antartitik. Penelitian mengenai *connectivity status of fuzzy graphs* memperlihatkan bahwa setiap simpul dapat memiliki kontribusi berbeda terhadap konektivitas keseluruhan jaringan, sedangkan penelitian mengenai *fuzzy edge connectivity* menunjukkan bahwa karakteristik ketidakpastian pada kanal dapat dipertimbangkan dalam desain topologi jaringan.

Temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa optimasi pemasangan jaringan tidak seharusnya hanya berorientasi pada biaya terendah. Jalur yang murah tetapi mempunyai kualitas koneksi rendah dapat menimbulkan biaya tambahan pada tahap pemeliharaan, gangguan layanan, atau peningkatan kapasitas. Sebaliknya, jalur yang mempunyai biaya awal sedikit lebih tinggi dapat memberikan nilai manfaat yang lebih baik jika memiliki kualitas koneksi dan potensi pengembangan yang tinggi. Oleh karena itu, pendekatan fuzzy lebih sesuai untuk persoalan pemasangan jaringan yang mempunyai banyak tujuan. Penelitian terdahulu mengenai optimasi kapasitas telekomunikasi menunjukkan bahwa persoalan jaringan memang merupakan persoalan multiobjektif dengan banyak kendala sehingga memerlukan metode optimasi yang mampu mengeksplorasi ruang solusi secara lebih fleksibel.

Dari sisi implementasi, model yang dihasilkan dapat dikembangkan menjadi sistem pendukung keputusan bagi Alfabet. Sistem dapat menerima data lokasi calon

pelanggan, jarak dari POP, bandwidth yang dibutuhkan, kualitas jalur, biaya material, dan tingkat kesulitan pemasangan. Data tersebut kemudian diproses melalui fuzzifikasi, inferensi, agregasi, dan defuzzifikasi untuk menghasilkan rekomendasi jalur. Pendekatan semacam ini sejalan dengan penelitian Indonesia yang menerapkan *Fuzzy Decision Support System* dengan metode Sugeno untuk mengoptimalkan pengelolaan kebutuhan bandwidth jaringan berbasis web.

Kebaruan penelitian ini semakin terlihat apabila dibandingkan dengan penelitian terdahulu. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan keberhasilan fuzzy dalam *shortest path*, routing, bandwidth allocation, connectivity analysis, dan telecommunication capacity planning. Penelitian ini memfokuskan integrasi konsep tersebut pada permasalahan pemasangan jaringan internet pada konteks wilayah lokal Kecamatan Pamekasan. Dengan demikian, kontribusinya bukan hanya pada pemanfaatan teori fuzzy secara matematis, tetapi juga pada pengembangan model yang dapat menghubungkan teori matematika dengan persoalan teknis pemasangan jaringan.

Pengembangan penelitian berikutnya dapat dilakukan dengan menggunakan data lapangan aktual dan metode yang lebih kompleks, misalnya *Fuzzy AHP*, *Fuzzy TOPSIS*, *Fuzzy Sugeno*, *type-2 fuzzy logic*, atau kombinasi graf fuzzy dengan algoritma Floyd–Warshall. Penelitian terbaru mengenai multigraf fuzzy menunjukkan bahwa algoritma Floyd–Warshall dapat dimodifikasi untuk menentukan lintasan optimal ketika bobot sisi dinyatakan dalam bilangan fuzzy. Pendekatan tersebut berpotensi dikembangkan untuk memperoleh jalur optimal antara POP dan pelanggan secara lebih sistematis sekaligus mempertimbangkan beberapa jalur alternatif.

KESIMPULAN

Penerapan teori fuzzy pada pemasangan jaringan internet Alfabet di Kecamatan Pamekasan menunjukkan bahwa persoalan pemilihan jalur jaringan dapat dimodelkan sebagai permasalahan pengambilan keputusan multikriteria yang direpresentasikan melalui graf fuzzy. Melalui proses fuzzifikasi, pembentukan aturan, agregasi, defuzzifikasi, dan evaluasi kekuatan jalur, berbagai faktor seperti kualitas koneksi, bandwidth, jarak, biaya pemasangan, serta kelayakan instalasi dapat dipertimbangkan secara bersamaan. Berdasarkan data simulasi, alternatif jalur terbaik memperoleh nilai keanggotaan sebesar 0,87, sedangkan jalur yang dipilih berdasarkan pertimbangan jarak saja memperoleh nilai 0,68. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy dapat menghasilkan keputusan yang lebih komprehensif dibandingkan pendekatan konvensional yang hanya mengutamakan satu parameter.

Secara teoritis, penelitian ini memperkuat pemanfaatan teori fuzzy dan graf fuzzy sebagai pendekatan matematis untuk menyelesaikan persoalan jaringan yang mengandung ketidakpastian. Secara praktis, model ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan sistem pendukung keputusan pemasangan jaringan Alfabet, terutama untuk menentukan prioritas jalur, titik distribusi, serta alternatif pengembangan jaringan. Namun, hasil numerik dalam artikel ini masih bersifat simulasi karena data teknis aktual Alfabet belum tersedia. Oleh sebab itu, penelitian lanjutan sangat disarankan menggunakan data survei lapangan Kecamatan Pamekasan, termasuk koordinat titik, panjang kabel, kualitas sinyal, bandwidth, biaya instalasi, jumlah pelanggan, dan data gangguan jaringan, sehingga model fuzzy yang dihasilkan dapat divalidasi secara empiris dan memiliki

kekuatan yang lebih tinggi untuk publikasi jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, U., & Nawaz, I. (2022). Directed rough fuzzy graph with application to trade networking. *Computational and Applied Mathematics*, 41, 366. <https://doi.org/10.1007/s40314-022-02073-0>
- Akram, M., Siddique, S., & Alcantud, J. C. R. (2023). Connectivity indices of m-polar fuzzy network model, with an application to a product manufacturing problem. *Artificial Intelligence Review*, 56, 7795–7838. <https://doi.org/10.1007/s10462-022-10360-9>
- Alakhras, M., Oussalah, M., & Hussein, M. (2020). A survey of fuzzy logic in wireless localization. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2020, 89. <https://doi.org/10.1186/S13638-020-01703-7>
- Binu, M., Mathew, S., & Mordeson, J. N. (2021). Connectivity status of fuzzy graphs. *Information Sciences*, 573, 382–395. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2021.05.068>
- Costa, U. W., Costa, J. W., Silva, M., & Frances, C. R. (2020). A fuzzy strategy for planning centralized access networks in the installation of hybrid fiber radio systems. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2995559>
- Gong, Z., Shu, L., Hua, G., & Gao, W. (2022). Connectivity analysis of bipolar fuzzy networks. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022, 6398599. <https://doi.org/10.1155/2022/6398599>
- Gong, Z., et al. (2022). Fuzzy edge connectivity in bipolar fuzzy networks

- and the applications in topology design. *International Journal of Intelligent Systems*, 37, 5425–5442. <https://doi.org/10.1002/int.22797>
- Ibadov, N., & Kulejewski, J. (2019). Construction projects planning using network model with the fuzzy decision node. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16, 4347–4354. <https://doi.org/10.1007/s13762-019-02259-w>
- Jiang, H., & Rao, Y. (2022). Connectivity index in vague graphs with application in construction. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2022, 9082693. <https://doi.org/10.1155/2022/9082693>
- Lahiya, I. W., & Arifin, F. (2023). Implementation of FDSS (Fuzzy Decision Support System) Sugeno model in optimizing bandwidth requirement management of web-based networks. *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 8(2). <https://doi.org/10.21831/elinvo.v8i2.57557>
- Liao, X., Wang, J., & Ma, L. (2021). An algorithmic approach for finding the fuzzy constrained shortest paths in a fuzzy graph. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 17–27. <https://doi.org/10.1007/s40747-020-00143-6>
- Mathew, S., Narayanan, A., & Mordeson, J. N. (2018). Transitive blocks and their applications in fuzzy interconnection networks. *Fuzzy Sets and Systems*, 352, 142–160. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2017.10.004>
- Naeem, M., et al. (2021). Connectivity indices of intuitionistic fuzzy graphs and their applications in Internet routing and transport network flow. *Mathematical Problems in Engineering*, 2021, 4156879. <https://doi.org/10.1155/2021/4156879>
- Raja, J. R., Lee, J. G., Dhotre, D., Mane, P., Rajankar, O. S., Kalampakas, A., Jambhekar, N. D., & Bhalke, D. G. (2024). Fuzzy graphs and their applications in finding the best route, dominant node and influence index in a network under the hesitant bipolar-valued fuzzy environment. *Complex & Intelligent Systems*, 10, 5195–5211. <https://doi.org/10.1007/s40747-024-01438-8>
- Rakhmawati, N., Haryeni, D. O., & Baskoroputro, H. (2026). Penerapan algoritma Floyd-Warshall pada multigraf fuzzy. *Jurnal Ilmiah Soulmath: Jurnal Edukasi Pendidikan Matematika*, 14(1), 29–38. <https://doi.org/10.25139/smj.v14i1.11515>
- Veryard, L., Hagrais, H., Conway, A., & Owusu, G. (2023). A heated stack based type-2 fuzzy multi-objective optimisation system for telecommunications capacity planning. *Knowledge-Based Systems*, 260, 110134. <https://doi.org/10.1016/j.knosys.2022.110134>
- Yasrebi, S., Reza, A., Nikravan, M., & Vazifedan, S. (2021). A fuzzy integrated congestion-aware routing algorithm for network on chip. *Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering*, 22(5), 741–755. <https://doi.org/10.1631/FITEE.2000069>
- Zhao, L., Bi, Z., Lin, M., Hawbani, A., Shi, J., & Guan, Y. (2021). An intelligent fuzzy-based routing scheme for software-defined vehicular networks. *Computer Networks*, 187, 107837. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2021.107837>
- Zhang, et al. (2020). A genetic algorithm for the fuzzy shortest path problem in a fuzzy network. *Complex & Intelligent Systems*.

<https://doi.org/10.1007/s40747-020-00195-8>