

## MODELING OPTIMIZATION OF SUGARCANE TRANSPORTATION ROUTES IN EAST JAVA PROVINCE

Nuryantiningih Pusporini<sup>1\*</sup> 

Anisaul Izah<sup>2</sup>

Zahra Mustafafi<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PT. Sagamartha Ultima Indonesia

<sup>2</sup> Universitas Terbuka

### ABSTRACT

East Java makes a significant contribution to the national sugar industry, accounting for 47.34% of Indonesia's total sugar production during the 2018-2022 period. Given East Java's crucial position in the national sugar supply chain, efforts are needed to continually develop all aspects of improvement in this sector. This research aims to identify existing sugarcane transportation routes, determine optimal routes for sugarcane transportation, and measure efficiency and its contribution to the economy in East Java Province. Employing GIS, big data, and machine learning approaches, this study models existing routes and proposes more efficient optimal routes through a clustering approach. The results indicate that implementing optimal routes can reduce the average distance of sugarcane transportation by up to 63%, which translates to significant fuel cost savings. This efficiency also enables a reduction in sugarcane harvesting and transportation costs by approximately 12% and sugarcane production costs by approximately 3%. This study highlights the importance of synchronizing transportation policies and improving road infrastructure to support sugarcane logistics efficiency.

**Keywords:** Sugarcane, Transportation, Big Data, Machine Learning, Efficiency, Economic Growth, East Java

### ABSTRAK

Jawa Timur berkontribusi signifikan terhadap industri gula nasional, menyumbang 47,34% dari total produksi gula di Indonesia selama periode 2018-2022. Mengingat pentingnya posisi Jawa Timur dalam rantai pasok gula nasional, perlu upaya untuk terus mengembangkan semua aspek peningkatan sektor ini. Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi jalur pengangkutan tebu eksisting, menemukan jalur optimal untuk pengangkutan tebu, dan mengukur efisiensi serta kontribusinya terhadap perekonomian di Provinsi Jawa Timur. Menggunakan pendekatan GIS, big data, dan machine learning, penelitian ini memodelkan rute eksisting serta mengusulkan jalur optimal yang lebih efisien melalui pendekatan kluster. Hasilnya menunjukkan bahwa penerapan jalur optimal dapat mengurangi jarak tempuh rata-rata pengangkutan tebu hingga 63%, yang berarti penghematan biaya bahan bakar yang signifikan. Efisiensi ini juga memungkinkan penurunan biaya tebang angkut sekitar 12% dan biaya produksi tebu sekitar 3%. Penelitian ini menyoroti pentingnya sinkronisasi kebijakan transportasi dan perbaikan infrastruktur jalan untuk mendukung efisiensi logistik tebu.

### RIWAYAT ARTIKEL

Tanggal Masuk:

9 April 2025

Tanggal Revisi:

8 September 2025

Tanggal Diterima:

30 Desember 2025

Tersedia Online:

31 Maret 2026

\*Correspondence:

Nuryantiningih Pusporini

E-mail:

npusporini83@gmail.com

**Kata Kunci:** Tebu, Transportasi, Big Data, Machine Learning, Efisiensi, Pertumbuhan Ekonomi, Jawa Timur

**JEL:** Q13; R41; C61

## Pendahuluan

Jawa Timur memiliki potensi besar dalam produksi tebu dengan target menghasilkan 1,65 juta ton gula untuk mendukung swasembada gula nasional. Provinsi ini dikenal dengan lahan suburnya yang sangat ideal untuk budidaya tebu (Yunitasari dkk., 2015). Kontribusi produksi gula Jawa Timur mencapai 47,34% dari total produksi nasional pada periode 2018-2022 (Badan Pusat Statistik, 2023). Selain itu, pada tahun 2021, sebanyak 68,71% produksi gula provinsi terkonsentrasi di delapan kabupaten utama, menjadikan Jawa Timur tulang punggung industri gula nasional (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2023). Produksi tebu ini jauh melampaui produksi tanaman perkebunan lainnya di provinsi ini, seperti kopi, kakao, kelapa, cengkeh, dan tembakau. Sektor perkebunan di Jawa Timur, termasuk tebu, memberikan kontribusi signifikan terhadap PDB nasional, mencapai 39,9% dari PDB sektor pertanian, peternakan, perburuan, dan jasa pertanian. Pada tahun 2023, kontribusi perkebunan terhadap PDRB sektor pertanian mencapai 14,54%. Keunggulan ini menjadikan Jawa Timur pemain kunci dalam persaingan industri gula nasional, terutama karena tingginya permintaan gula konsumsi dalam negeri.

Namun, keunggulan tersebut berbanding terbalik dengan kondisi rantai produksi yang masih menghadapi berbagai inefisiensi, terutama pada tahap distribusi logistik. Data menunjukkan bahwa indeks efisiensi teknis saat ini hanya mencapai 0,672, menandakan adanya ruang besar untuk peningkatan (Susilowati & Tinaprilla, 2012). Dalam hal distribusi, biaya tebang dan angkut tebu mencapai Rp13,13 juta per hektar atau 25,76% dari total biaya produksi pada tahun 2022/2023. Biaya ini meningkat dari Rp12,86 juta per hektar (26,44%) pada tahun sebelumnya, atau meningkat 2,05% secara absolut. Meskipun beban biaya meningkat, Harga Pembelian Petani (HPP) hanya ditetapkan sebesar Rp650.000 per ton, yang tidak sebanding dengan Biaya Pokok Produksi (BPP) sebesar Rp590.001 per ton, sehingga margin keuntungan petani terus tergerus oleh tingginya biaya transportasi (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2023). Kondisi ini menyebabkan margin keuntungan petani terus tergerus oleh beban biaya transportasi.

Selain biaya, aspek distribusi juga menghadapi kendala struktural. Inefisiensi transportasi disebabkan oleh keterbatasan infrastruktur jalan, volume lalu lintas yang tinggi, dan konektivitas yang buruk antara area produksi dan pabrik gula. Kondisi ini mengakibatkan waktu tempuh yang lebih lama, biaya angkut yang membengkak, dan penurunan kualitas tebu akibat proses pengiriman yang tidak optimal (Priyambodo, 2018). Kinerja logistik juga terhambat oleh konektivitas antarmoda transportasi yang tidak memadai, terutama di daerah kepulauan yang terisolasi (Adi, 2022). Bagi koperasi tebu, inefisiensi skala memperparah masalah karena output per anggota rendah, total aset terbatas, dan biaya transaksi tinggi, sehingga biaya panen, pemuatan, dan transportasi menjadi beban yang tidak proporsional bagi petani kecil (Ariningsih, 2016). Petani kontrak menghadapi biaya transportasi yang lebih tinggi dibandingkan petani non-kontrak, sementara petani non-kontrak menanggung biaya komisi yang lebih besar kepada perantara (Yustika, 2008).

Meskipun biaya tebang-angkut tebu menyumbang 26,44% dari biaya produksi, studi ini menekankan bahwa inefisiensi transportasi tebu di Jawa Timur bukan hanya masalah biaya, tetapi juga terkait dengan kualitas jalan dan tingginya angka kecelakaan. Data dari Dinas PU Bina Marga Provinsi Jawa Timur tahun 2024 menunjukkan bahwa sekitar 14% ruas jalan provinsi berada dalam kondisi rusak sedang hingga berat, yang menghambat distribusi logistik tebu. Selain itu, praktik *over dimension over load* (ODOL) pada truk pengangkut tebu memperparah kerusakan jalan dan meningkatkan risiko kecelakaan lalu lintas, yang tercermin dari peningkatan pemberitaan kecelakaan truk tebu di media daring selama periode 2019–

2023. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi transportasi tebu tidak hanya berkontribusi pada penghematan biaya, tetapi juga terkait dengan isu keselamatan dan keberlanjutan infrastruktur jalan.

Upaya optimasi distribusi telah banyak dilakukan dari sisi akademis. Beberapa studi menggunakan model pemrograman linier untuk meminimalkan biaya transportasi dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, permintaan pelanggan, jendela waktu pengiriman, dan batasan operasional (Heryanto et al., 2019; Nazry S. dkk., 2025). Metode *metaheuristic* seperti *Ant Colony Optimization* (ACO) juga diterapkan untuk menentukan rute distribusi yang lebih efisien (Anggraeni dkk., 2024). Selain itu, studi berbasis *cost-benefit analysis* digunakan untuk menilai efisiensi transportasi, dengan memperhitungkan penghematan waktu perjalanan dan pengurangan kecelakaan dibandingkan dengan biaya konstruksi dan pemeliharaan, yang diekspresikan melalui nilai sekarang bersih dan rasio manfaat-biaya (Gunes, 2020). Namun, pendekatan-pendekatan tersebut masih bersifat statis, kurang mengintegrasikan data spasial, dan belum responsif terhadap dinamika di lapangan.

Oleh karena itu, untuk memberikan *insight* baru mengenai fenomena ini dan bagaimana pemecahan permasalahannya, pemanfaatan *big data* dan *machine learning* menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi di bidang logistik pertanian, khususnya dalam analisis spasial untuk penentuan jalur optimal pengangkutan tebu. Dengan memanfaatkan *big data*, kita dapat menganalisis berbagai faktor secara real-time untuk menentukan jalur pengangkutan yang paling efisien. *Machine learning* memungkinkan prediksi dan penyesuaian rute secara dinamis berdasarkan data historis dan kondisi terkini (Hakim dkk., 2021). Solusi teknologi ini diharapkan dapat memangkas biaya transportasi, mengurangi keterlambatan, dan menjaga kualitas tebu selama perjalanan (Triscowati & Wijayanto, 2020). Efisiensi ini tidak hanya berdampak pada peningkatan produktivitas, tetapi juga dapat meningkatkan daya saing industri gula (Sutandi, 2018).

Mengingat bahwa sebagian besar perkebunan tebu di Indonesia dikelola oleh petani rakyat (58,26%) (Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, 2023), dan meskipun pemerintah telah menetapkan harga pembelian tebu, petani tetap memiliki kebebasan untuk memilih pabrik gula yang menawarkan harga lebih tinggi. Akibatnya, rute pengangkutan tebu menjadi beragam. Penelitian ini bertujuan untuk (1) mengidentifikasi rute pengangkutan tebu yang ada saat ini, (2) menemukan rute yang optimal untuk pengangkutan tebu, dan (3) mengukur efisiensi yang dihasilkan serta kontribusinya terhadap perekonomian. Diharapkan, peningkatan efisiensi dan produktivitas industri gula di Provinsi Jawa Timur dapat membantu mencapai target produksi gula nasional, sekaligus memastikan kelancaran dan keberlanjutan proses produksi.

## Tinjauan Pustaka

### *Optimasi Rute*

Penelitian tentang optimasi rute transportasi pertanian telah berkembang pesat, namun setiap metode memiliki keterbatasan. Algoritma Dijkstra efektif untuk menemukan rute terpendek, tetapi tidak mempertimbangkan kapasitas kendaraan atau kondisi jalan yang dinamis (Budihartono, 2016). Pendekatan *ant colony optimization* (Anggraeni dkk., 2024; Ibrahim et al., 2010) dan *genetic algorithm* (Berger dkk., 1998; Koç dkk., 2015) menawarkan pencarian solusi yang lebih adaptif, tetapi membutuhkan komputasi yang intensif.

### *GIS dalam Logistik*

Efisiensi transportasi tidak hanya ditentukan oleh perhitungan matematis, tetapi juga oleh faktor spasial yang dapat dipetakan menggunakan GIS. GIS memainkan peran penting dalam pemodelan dan optimasi rute transportasi. GIS memungkinkan visualisasi, analisis, dan pengelolaan data spasial, seperti lokasi lahan tebu, jalan, dan pabrik gula. Dengan GIS,

peneliti dapat memetakan rute yang ada, mengidentifikasi hambatan, dan merancang rute alternatif yang lebih efisien. Kemampuan GIS untuk mengintegrasikan berbagai lapisan data geografis, seperti topografi, kepadatan lalu lintas, dan kondisi jalan, sangat membantu dalam pengambilan keputusan berbasis lokasi. Perkembangan GIS terkini juga semakin terintegrasi dengan teknologi *big data* dan *cloud computing*, memungkinkan analisis data spasial yang lebih cepat dan kompleks (Huang & Pan, 2007; Susenderan, 2025). Namun, efektivitas GIS sangat bergantung pada kualitas dan ketersediaan data. Di Jawa Timur, misalnya, keterbatasan data spasial terperinci dan kondisi lapangan yang cepat berubah masih menjadi tantangan utama dalam menghasilkan perencanaan rute yang benar-benar akurat.

### **Pemanfaatan Big Data dan Machine Learning dalam Transportasi**

Integrasi *big data* dan *machine learning* menawarkan potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan prediktibilitas dalam sistem logistik transportasi (Azad dkk., 2024; Lee & Mangalaraj, 2022). Analisis *big data* dapat mengungkap pola dan tren yang sebelumnya tidak terlihat, seperti area rawan kemacetan atau rute dengan biaya bahan bakar tinggi. *Algoritma machine learning*, seperti algoritma *clustering* atau regresi, dapat digunakan untuk mengidentifikasi kelompok lahan tebu, memprediksi waktu tempuh, atau mengklasifikasikan kondisi jalan, yang pada akhirnya mendukung optimasi rute.

Dalam konteks transportasi tebu, penelitian Ate (2016) menekankan pentingnya model kluster industri tebu dalam menunjang efisiensi logistik. Namun, sebagian besar studi terdahulu masih terbatas pada model konseptual atau optimasi berbasis algoritma tunggal. Studi ini menambahkan dimensi baru dengan mengintegrasikan GIS untuk visualisasi spasial, *big data* untuk menangani volume informasi yang besar, serta *machine learning* (*K-means clustering*) untuk membentuk sub-kluster pengangkutan. Pendekatan ini berupaya menggabungkan kekuatan metode spasial dan prediktif untuk menghasilkan model yang lebih aplikatif pada kondisi lapangan di Jawa Timur.

### **Metode Penelitian**

#### **Pengumpulan Data**

Penelitian ini menggunakan beragam data yang diakses pada Juli 2024 untuk memastikan analisis yang komprehensif dan akurat. Jenis data yang digunakan meliputi batas administrasi, jaringan jalan, lokasi pabrik gula dari *point of interest* (POI) Google Maps, pabrik gula PT. Perkebunan Nusantara XI, peta perkebunan rakyat, data luas panen tebu, dan lokasi kecelakaan truk tebu. Data batas administrasi diperoleh dari GADM.org level 3, yang menyediakan informasi detail tentang batas wilayah administratif di Provinsi Jawa Timur.

Data jaringan jalan diambil dari OpenStreetMap, khususnya data jalan utama (*highway*). Data ini penting untuk menganalisis efisiensi rute pengangkutan tebu. Lokasi pabrik gula diperoleh melalui *scrapping* Google POI, yang memberikan informasi geografis tentang posisi pabrik gula di Jawa Timur. Informasi lebih rinci mengenai pabrik gula PT. Perkebunan Nusantara XI diakses dari situs resmi perusahaan.

Untuk memahami sebaran perkebunan tebu rakyat, digunakan peta dasar RTRW (Rencana Tata Ruang Wilayah) Provinsi Jawa Timur yang disediakan oleh DPRKPK Provinsi Jawa Timur. Peta ini memberikan gambaran tentang lokasi dan luas perkebunan rakyat. Data luas panen tebu diperoleh dari BPS Provinsi Jawa Timur, yang menyediakan statistik terkait produksi tebu. Data ini juga memberikan informasi tentang kabupaten/kota di Provinsi Jawa Timur yang memiliki luas panen tebu, sehingga peta perkebunan rakyat di kabupaten/kota yang tidak memiliki luas panen tebu akan dieliminasi. Selanjutnya, peta lokasi perkebunan diproses lebih lanjut dengan membuat *grid* berukuran 250 x 250 meter (6,25 hektar). Setiap *grid* akan dikonversi menjadi titik hipotetik keberadaan lahan panen tebu.

Selain itu, data lokasi kecelakaan truk tebu yang diperoleh dari *scrapping* Google News juga digunakan. Berita kecelakaan truk tebu yang dikumpulkan adalah berita yang diterbitkan dari tahun 2017 hingga 2024. Data ini penting untuk mengidentifikasi jalur logistik eksisting, yang kemudian dapat menjadi dasar dalam merancang rute transportasi yang lebih aman dan efisien.

**Tabel 1: Data set Penelitian**

Jenis Data	Sumber Data	Perolehan Data
Batas administrasi	GADM.org level 3	Diakses Juli 2024
Jaringan jalan	OpenStreetMap <i>data, highway</i>	Diakses Juli 2024
Lokasi pabrik gula	<i>Scrapping</i> Google POI	Diakses Juli 2024
Pabrik gula PT. Perkebunan Nusantara XI	<a href="https://ptpn11.co.id/page/aktivitas-wilayah-kerja">https://ptpn11.co.id/page/aktivitas-wilayah-kerja</a>	Diakses Juli 2024
Peta perkebunan rakyat	Peta dasar RTRW Provinsi Jawa Timur	DPRKPKK Provinsi Jawa Timur
Data luas panen tebu	BPS Provinsi Jawa Timur	Diakses Juli 2024
Lokasi kecelakaan truk tebu	<i>Scrapping</i> Google News	Diakses Juli 2024

### Metode Analisa

Untuk mencapai tujuan penelitian, metodologi yang diterapkan terdiri dari tiga langkah utama: identifikasi jalur pengangkutan tebu eksisting, penentuan model jalur optimal, dan pengukuran efisiensi serta kontribusinya terhadap perekonomian. Setiap langkah ini menggunakan pendekatan analisis data dan teknologi modern seperti GIS, *big data*, dan *machine learning* untuk memastikan hasil yang akurat dan aplikatif. Pendekatan ini diharapkan tidak hanya memberikan solusi praktis bagi permasalahan logistik dalam industri gula, tetapi juga memberikan dampak positif yang signifikan terhadap kesejahteraan petani tebu dan pertumbuhan ekonomi regional.

Langkah pertama adalah mengidentifikasi jalur pengangkutan tebu eksisting. Data jaringan jalan dari OpenStreetMap digunakan untuk memetakan seluruh rute yang saat ini digunakan oleh truk pengangkut tebu di Jawa Timur, termasuk data titik lokasi pabrik gula, titik lokasi kecelakaan dari Google News, dan titik lokasi persebaran perkebunan tebu. Analisis ini dilakukan dengan perangkat lunak GIS untuk memvisualisasikan jalur pengangkutan dan mengidentifikasi rute utama yang sering digunakan. Metode *Network Allpair* dalam QGIS digunakan untuk menjawab tujuan ini, yang kemudian akan diuji tingkat akurasi menggunakan *shortest line between features* antara titik ke jalan.

Setelah jalur pengangkutan tebu yang ada (eksisting) diidentifikasi, langkah berikutnya adalah menentukan jalur pengangkutan tebu yang optimal. Penentuan jalur optimal ini dilakukan dengan metode klusterisasi. Metode klusterisasi telah digunakan dalam berbagai studi, seperti pemetaan tingkat produksi tebu (Yunianto dkk., 2021), klasifikasi status nutrisi tanah dan pengembangan rekomendasi pemupukan untuk perkebunan tebu (Basuki dkk., 2015), serta analisis kualitas bahan baku tebu berdasarkan atribut kandungan gula (Hanka & Santosa, 2021). Industri pabrik gula cenderung berlokasi dekat dengan bahan baku untuk menjaga kualitas tebu, terutama kemanisan, kebersihan, dan kesegarannya (Nurmuslimah, 2020). Oleh karena itu, pembentukan klaster didasarkan pada titik persebaran perkebunan tebu di Provinsi Jawa Timur.

Metode klusterisasi yang digunakan adalah analisis *K-means* pada aplikasi QGIS. Metode klusterisasi *K-means* digunakan untuk mengelompokkan titik persebaran perkebunan tebu berdasarkan kedekatan geografis. Algoritma *K-means* ini bekerja secara iteratif untuk mempartisi N titik data ke dalam K kluster dengan meminimalkan fungsi objektif berikut:

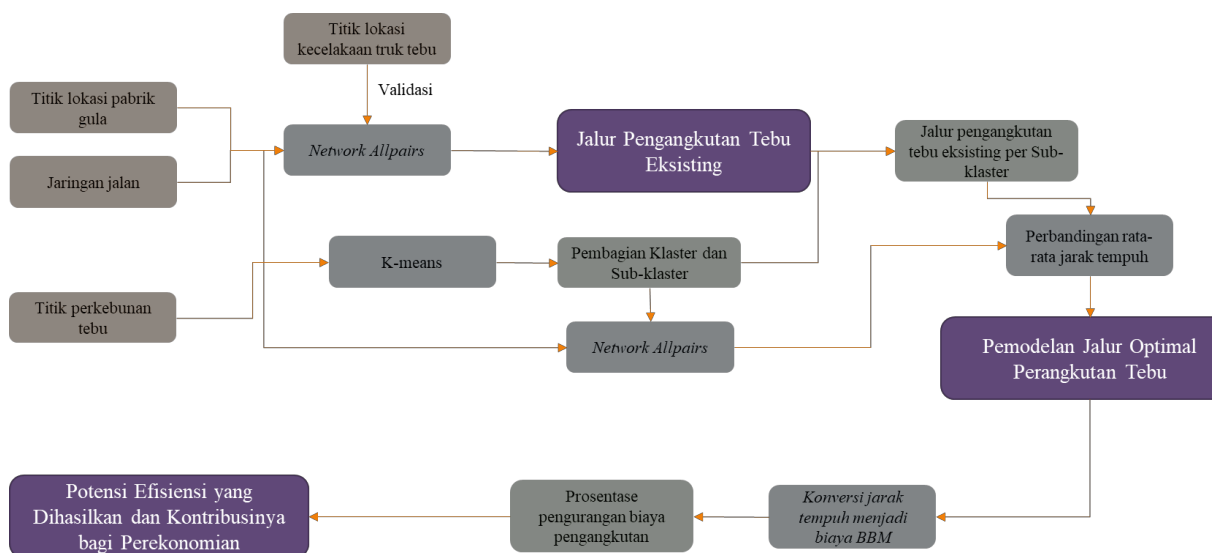
$$J = \sum_{j=1}^K \sum_{i=1}^N \|x_i^{(j)} - c_j\| \tag{1}$$

Jumlah kluster yang optimal dapat ditentukan melalui diagram *elbow* dalam *K-means* (Maori & Evanita, 2023). Dipilih lekukan pertama dari diagram *elbow*, untuk membagi klasternya. Setelah terbentuk kluster dan sub-kluster kemudian ditentukan titik pabrik gula mana saja yang berada pada tiap sub-kluster. Setelah itu dengan menggabungkan data jaringan jalan, sehingga dapat ditentukan jalur optimal yang dapat melayani titik perkebunan dan juga titik parik gula dalam tiap sub-kluster. Proses tersebut dilakukan melalui *Network Allpairs* dalam QGIS. Kemudian dilakukan perbandingan rata-rata jarak tempuh antara jalur pengangkutan eksisting dan jalur pengangkutan optimal tiap sub-kluster. Perhitungan rata-rata jarak tempuh tiap kluster dan sub-kluster menggunakan *vector analysis – statistic by categories* dalam QGIS. Secara matematis, optimasi jalur transportasi dapat diformulasikan dengan fungsi:

$$\text{Minimize } Z = \sum_{i=j}^n \sum_{j=1}^m d_{ij} \cdot x_{ij} \tag{2}$$

dengan kendala antara lain setiap lahan *i* hanya terhubung ke satu pabrik gula *j*, kapasitas pabrik gula tidak terlampaui,  $x_{ij} \in \{0,1\}$  dengan  $x_{ij} = 1$  jika lahan *i* dialokasikan ke pabrik gula *j*, dan  $d_{ij}$  adalah jarak antara lahan *i* dan pabrik gula *j*.

Langkah terakhir adalah mengukur efisiensi yang dihasilkan dari penggunaan jalur optimal dan menganalisis kontribusinya terhadap perekonomian Jawa Timur. Beberapa studi menekankan pentingnya meminimalkan jarak tempuh untuk efisiensi dan pengurangan biaya (Fauzi dkk., 2021; Renardi & Ula, 2017). Efisiensi diukur dalam hal pengurangan jarak tempuh yang dikonversi menjadi biaya BBM antara jalur eksisting dan jalur optimal. Konversi jarak tempuh menjadi biaya BBM dilakukan dengan menggunakan *Fuel Cost Calculator* dari Calculator.net. Selanjutnya, kontribusi efisiensi terhadap perekonomian akan dianalisis dengan menghubungkan hasil penghematan biaya transportasi dengan peningkatan keuntungan petani dan pabrik gula.



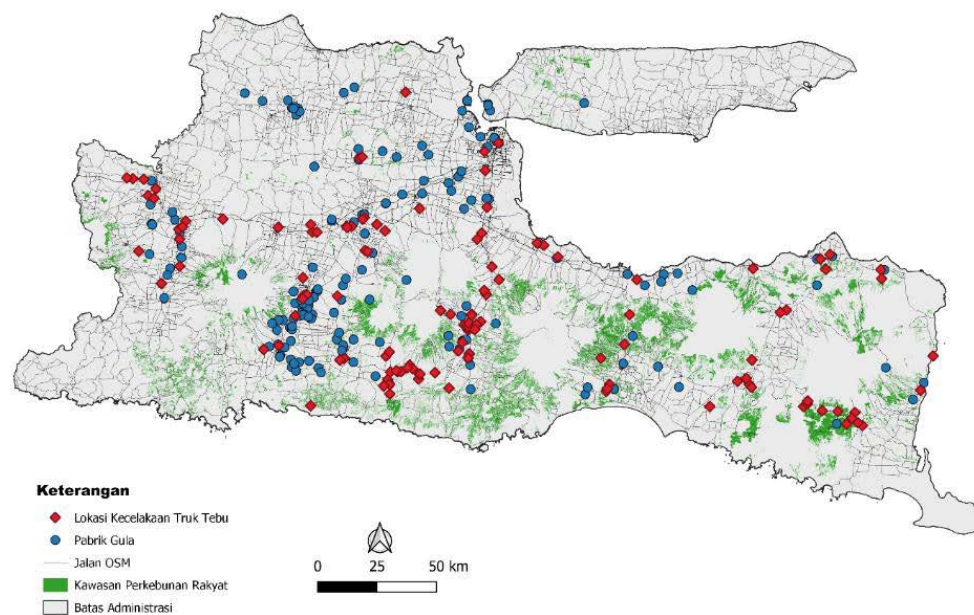
Gambar 1: Kerangka Penelitian

### Hasil dan Pembahasan

Bagian pembahasan ini menguraikan hasil analisis data secara sistematis, mengikuti tujuan penelitian yang telah ditetapkan. Pembahasan akan dibagi ke dalam beberapa bagian, meliputi identifikasi jalur pengangkutan tebu yang sudah ada (eksisting). Selain itu, akan diuraikan pula pemodelan jalur optimal untuk pengangkutan tebu, serta analisis potensi efisiensi yang dihasilkan dan kontribusinya terhadap perekonomian Provinsi Jawa Timur.

### Jalur Pengangkutan Tebu Eksisting

Penentuan jalur pengangkutan tebu di Provinsi Jawa Timur saat ini dilakukan dengan memanfaatkan data lokasi pabrik gula dan data lokasi kecelakaan truk pengangkut tebu. Sebaran pabrik gula di Provinsi Jawa Timur meliputi hampir seluruh kabupaten/kota, kecuali Kabupaten Pacitan, Trenggalek, Sampang, Pamekasan, dan Sumenep. Titik pengumpulan pabrik gula terbanyak berada di Kabupaten Kediri. Sementara itu, lokasi kecelakaan truk pengangkut tebu tersebar di 27 kabupaten/kota, dengan kejadian terbanyak di Kabupaten Blitar.



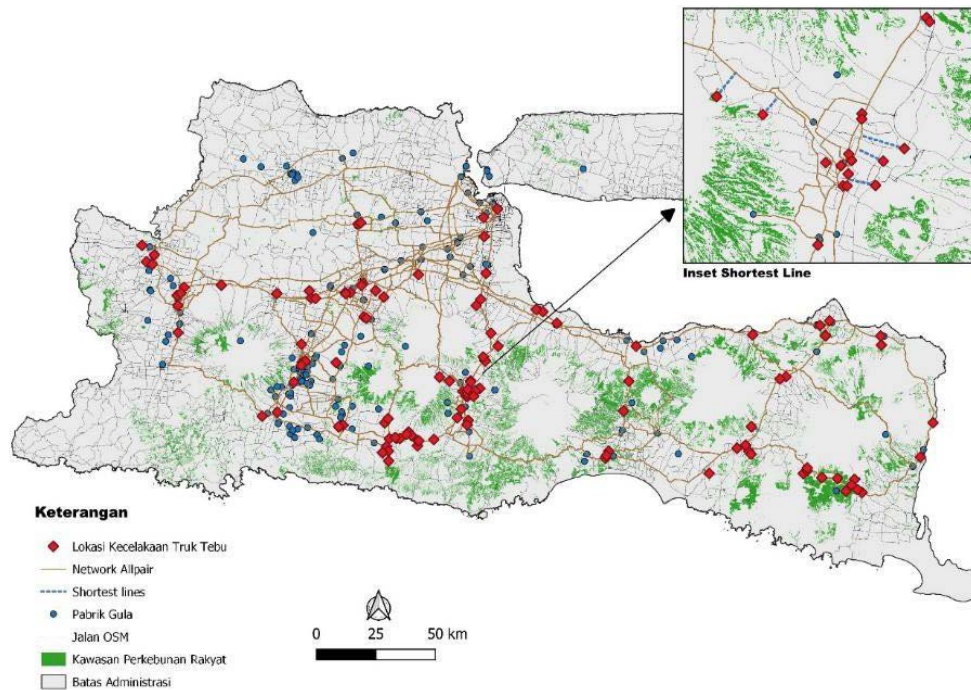
**Gambar 2: Persebaran Titik Pabrik Gula dan Titik Lokasi Kecelakaan Truk Tebu di Provinsi Jawa Timur**

Jalur pengangkutan tebu di Provinsi Jawa Timur tergolong kompleks dan bervariasi, mencakup hampir seluruh kabupaten/kota. Hal ini mengindikasikan bahwa pengangkutan tebu di Provinsi Jawa Timur dapat melibatkan jarak yang cukup jauh. Kabupaten Pacitan dan kabupaten-kabupaten di Pulau Madura tidak memiliki lahan panen tebu sehingga tidak dilalui jalur pengangkutan tebu. Selain itu, banyaknya jaringan jalan yang berpotongan berpotensi menimbulkan masalah kemacetan dan kecelakaan, yang pada akhirnya dapat meningkatkan biaya transportasi.

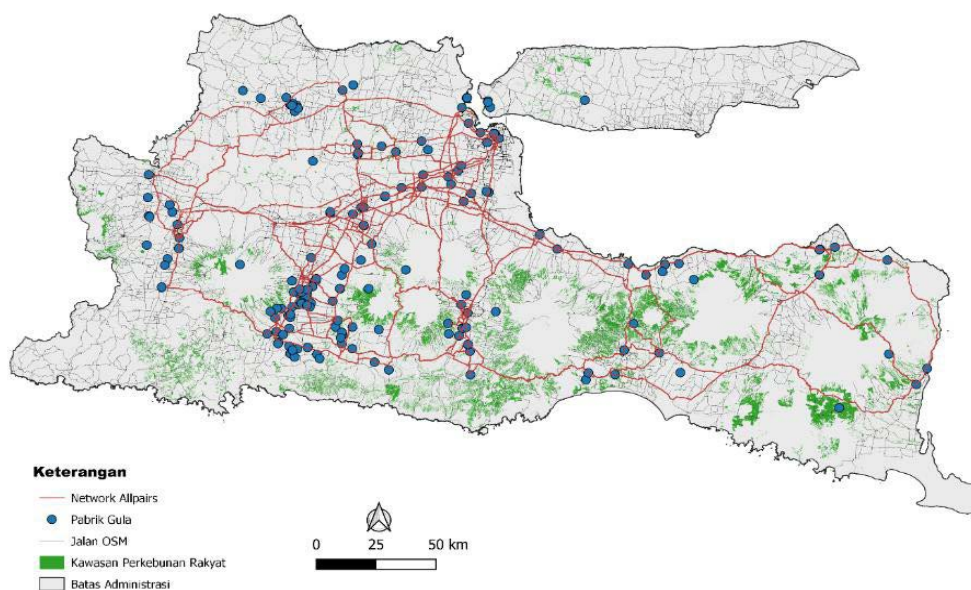
Titik kejadian kecelakaan truk pengangkut tebu menjadi penguat dalam menentukan perkiraan jalur pengangkutan tebu eksisting. Untuk memastikan bahwa model rute yang digunakan saat ini masih relevan, algoritma "*Shortest line between features*" diterapkan. Algoritma ini menghasilkan garis terpendek antara titik kejadian kecelakaan truk pengangkut tebu dan titik *network allpairs*. Hasilnya mencakup informasi lengkap dari titik awal dan titik tujuan terdekat, beserta jaraknya. Validasi menunjukkan jarak rata-rata 182,13 meter, sehingga model rute ini dianggap masih relevan.

Jalur pengangkutan tebu yang ada dapat memberikan gambaran mengenai jaringan jalan yang penting atau strategis dalam logistik tebu. Pemeliharaan jaringan jalan ini penting untuk mengurangi masalah transportasi. Manajemen tebang angkut yang tidak efisien dapat memengaruhi kualitas tebu dan menyebabkan kerugian rendemen (Buka dkk., 2023; Utami dkk., 2017). Oleh karena itu, pemeliharaan dan peningkatan infrastruktur jalan yang digunakan untuk mengangkut tebu merupakan langkah krusial dalam menjaga kelancaran rantai pasok tebu dan meningkatkan efisiensi industri gula di Provinsi Jawa Timur. Pentingnya pemeliharaan jaringan jalan ini semakin ditegaskan oleh data dari Dinas PU Bina Marga

Provinsi Jawa Timur tahun 2024 yang menunjukkan bahwa sekitar 14% ruas jalan provinsi berada dalam kondisi rusak berat hingga ringan, dan sekitar 27% dalam kondisi sedang.



**Gambar 3: Validasi Model Jalur Pengangkutan Tebu Eksisting dengan *Shortest Line Between Features***



**Gambar 4: Network Allpairs Peta Jalur Pengangkutan Tebu Eksisting di Provinsi Jawa Timur**

Perlu diakui bahwa model jalur eksisting yang dihasilkan memiliki keterbatasan. Data lokasi kecelakaan yang bersumber dari berita daring kemungkinan tidak mencakup seluruh kejadian, sehingga dapat memengaruhi representasi rute yang paling sering dilalui. Demikian pula, penggunaan *grid* hipotetis untuk lokasi perkebunan merupakan pendekatan pemodelan yang mungkin belum sepenuhnya menangkap kompleksitas topografi dan akses jalan di lapangan.

### ***Jalur Optimal bagi Pengangkutan Tebu***

Optimalisasi jalur transportasi, terutama dengan fokus pada pencarian jalur terpendek, sangat penting untuk efisiensi dalam sistem distribusi dan pengiriman. Dalam industri pengolahan tebu, optimalisasi pengangkutan tidak hanya penting untuk menghemat waktu dan biaya, tetapi juga untuk menjaga kualitas tebu yang telah dipanen. Optimalisasi ini dilakukan melalui teknik klasterisasi.

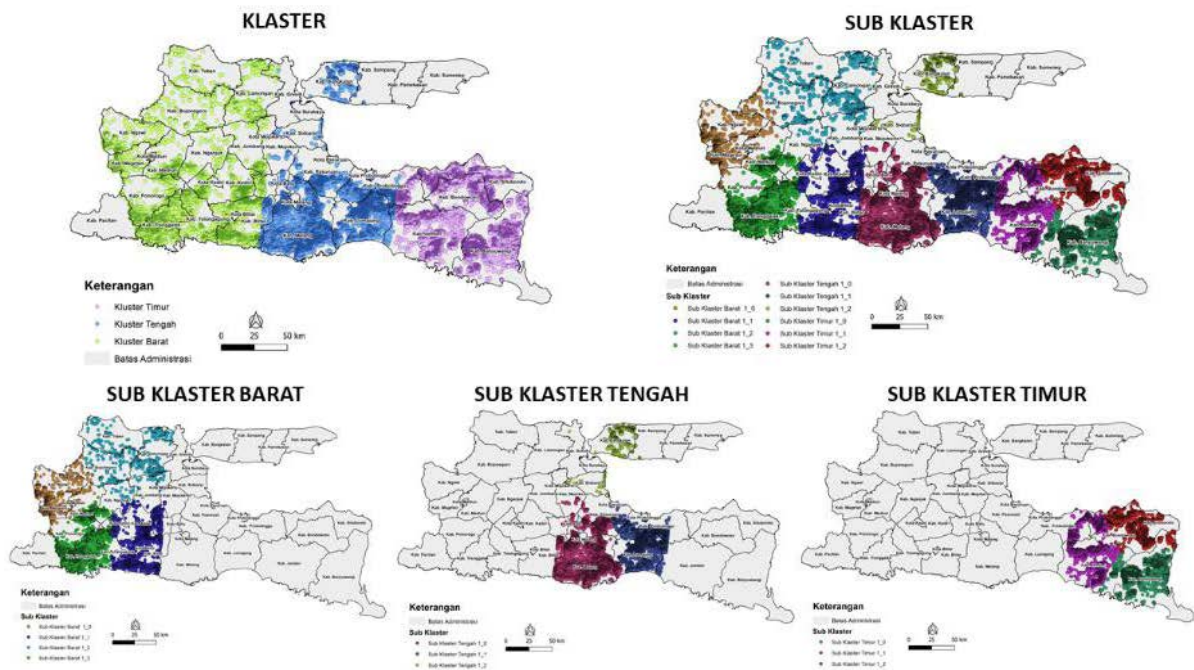
Terdapat tiga klaster yang terbentuk, yaitu klaster barat, tengah, dan timur. Dari ketiga klaster tersebut, terbentuk sepuluh sub-klaster, dengan wilayah yang ditunjukkan pada Tabel 2. Terdapat tiga klaster yang terbentuk yaitu barat, tengah, dan timur. Dari ketiga klaster tersebut maka jumlah keseluruhan sub klaster adalah 10 sub klaster, dengan wilayah yang ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 2: Klaster dan Wilayah Pelayanan**

<b>Klaster</b>	<b>Sub Klaster</b>	<b>Wilayah</b>	<b>Jumlah Pabrik Gula</b>	<b>PT. Perkebunan Nusantara XI</b>
Timur	1_0	Kab. Banyuwangi, Sebagian Kab. Jember	5	Kab. Ngawi (PG Soedhono), Kab. Magetan (PG Purwodadie dan PG Redjosarie), Kab. Madiun (PG Pagotan), dan Kota Madiun (PG Kanigoro)
	1_1	Kab. Jember, Kab. Probolinggo, Sebagian Kab. Bondowoso, Sebagian Kab. Situbondo	1	
	1_2	Sebagian Kab. Banyuwangi, Kab. Bondowoso, Kab. Situbondo	7	
Tengah	1_0	Kab. Malang, Kota Malang, Sebagian Kab. Blitar, Kota Batu, Sebagian Kab. Mojokerto, Sebagian Kab. Pasuruan, Sebagian Kab. Lumajang	14	Kab. Pasuruan (PG Kedawoeng), Kab. Probolinggo (PG Wonolangan, PG Gending, PG Padjarakan), Kab. Lumajang (PG Djatiroto), dan Kab. Jember (PG Semboro)
	1_1	Sebagian Kab. Pasuruan, Kota Pasuruan, Sebagian Kab. Probolinggo, Sebagian Kota Probolinggo, Kab. Lumajang, Sebagian Kab. Jember	7	
	1_2	Kab. Sidoarjo, Kota Surabaya, Sebagian Kab. Gresik, Kab. Bangkalan	15	
Barat	1_0	Kab. Ngawi, Kab. Magetan, Kota Madiun, Sebagian Kab. Madiun, Sebagian Kab. Ponorogo, Sebagian Kab. Bojonegoro	13	Kabupaten Bondowoso (PG Pradjekan)
	1_1	Kota Blitar, Kab. Blitar, Kota Kediri, Sebagian Kab. Kediri, Sebagian Kab. Tulungagung, Sebagian Kab. Malang, Sebagian Kab. Jombang, Sebagian Kab. Mojokerto, Sebagian Kab. Nganjuk	60	
	1_2	Kab. Tuban, Kab. Bojonegoro, Kab. Lamongan, Sebagian Kab. Mojokerto, Sebagian Kab. Gresik, Sebagian Kab. Jombang, Sebagian Kab. Nganjuk	35	
	1_3	Sebagian Kab. Madiun, Sebagian Kab. Nganjuk, Sebagian Kab. Kediri, Sebagian Kab. Tulungagung, Kab. Trenggalek, Kab. Ponorogo	6	

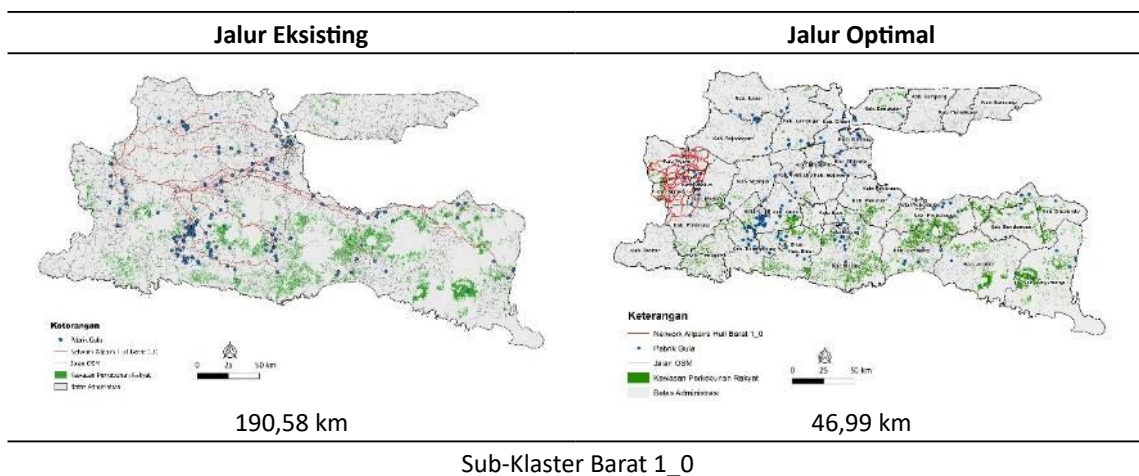
Secara geografis, klaster barat merupakan wilayah terluas yang meliputi 15 kabupaten/kota dengan 114 pabrik gula. Klaster tengah mencakup 12 kabupaten/kota, dengan total 36 pabrik gula. Klaster timur adalah yang terkecil, meliputi 5 kabupaten dengan 13 pabrik gula. Pembagian ini sejalan dengan pembagian wilayah kerja PT. Perkebunan Nusantara XI, yang memiliki 5 unit pabrik gula di wilayah barat (Kabupaten Ngawi, Magetan, Madiun, dan Kota

Madiun), 6 unit di wilayah tengah (Kabupaten Pasuruan, Probolinggo, Lumajang, dan Jember), serta 1 unit di wilayah timur (Kabupaten Bondowoso).

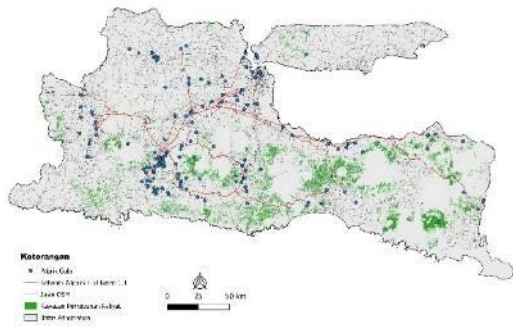


**Gambar 5: Klaster dan Sub Klaster Perkebunan Tebu di Provinsi Jawa Timur**

Kemudian setelah pembagian klaster dan sub-klaster perkebunan, dilakukan perbandingan jarak tempuh dari jalur eksisting pengangkutan tebu dan jalur optimal tiap sub-klaster. Hasilnya menunjukkan bahwa di semua sub-klaster, jalur optimal memiliki rata-rata jarak tempuh yang lebih pendek (Ate, 2016). Hal ini karena pada jalur optimal mengutamakan pergerakan lokal di mana pabrik gula yang terdapat dalam sub-klaster tersebut diarahkan untuk mengambil hasil panen tebu dari lahan yang ada di dalam sub-klaster tersebut. Sedangkan jalur eksisting saat ini yang belum memberlakukan kebijakan sistem klaster masih memungkinkan untuk adanya pengangkutan tebu yang berada pada sub-klaster tertentu untuk melakukan perjalanan ke sub-klaster yang lain.

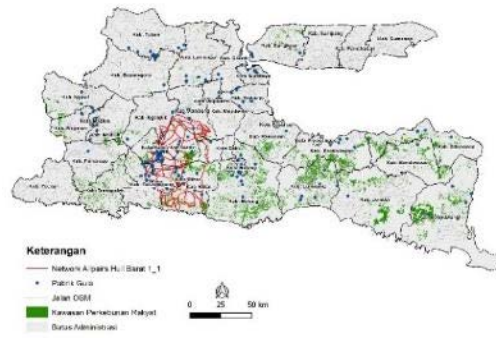


**Jalur Eksisting**



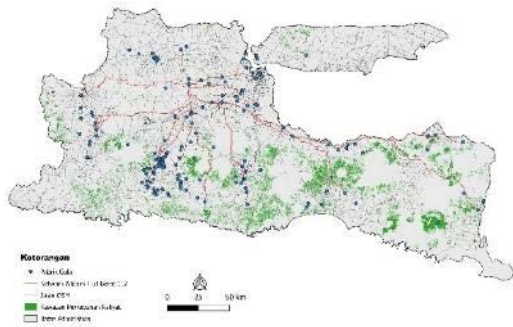
146,14 km

**Jalur Optimal**

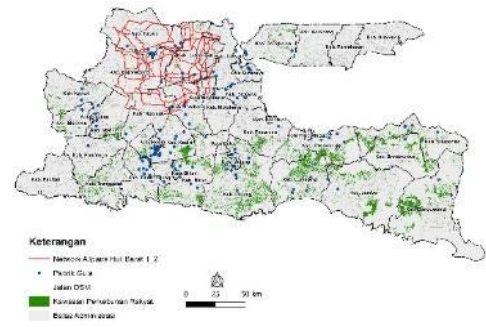


67,36 km

**Sub Kluster Barat 1\_1**

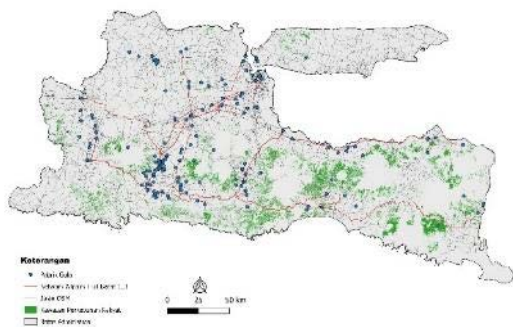


142,61 km

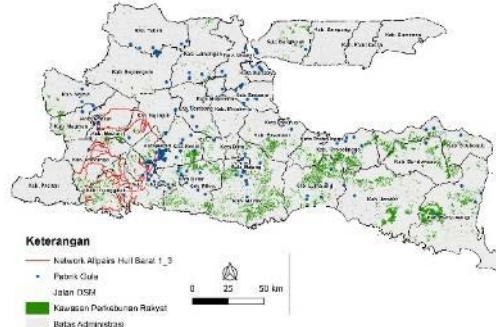


70,55 km

**Sub Kluster Barat 1\_2**

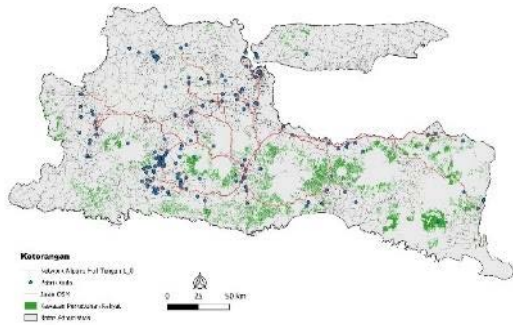


156,37 km

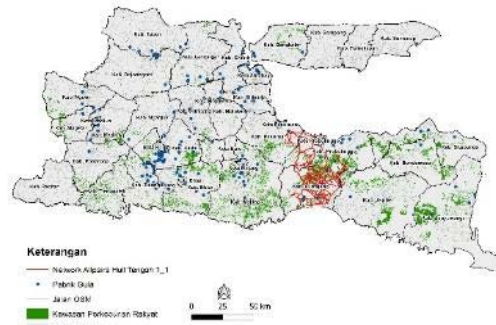


76,29 km

**Sub Kluster Barat 1\_3**



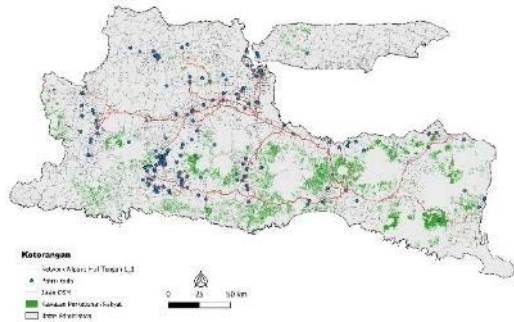
116,01 km



66,31 km

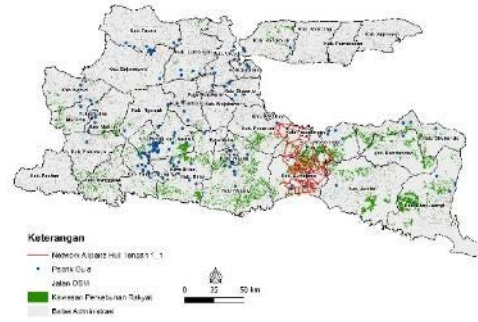
**Sub Kluster Tengah 1\_0**

**Jalur Eksisting**



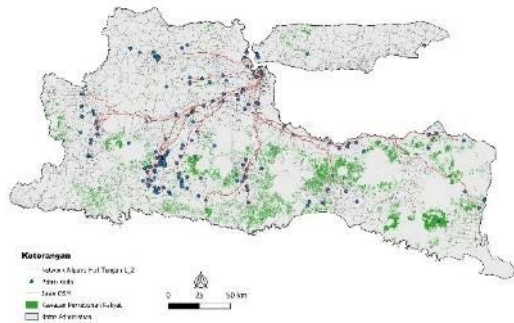
181,84 km

**Jalur Optimal**

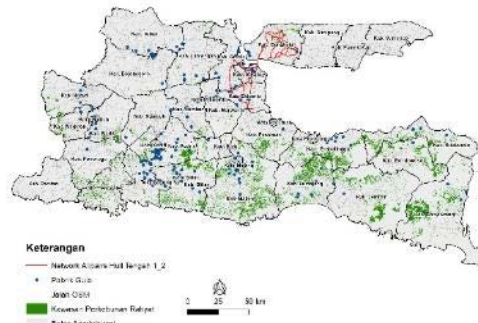


49,75 km

**Sub Klaster Tengah 1\_1**

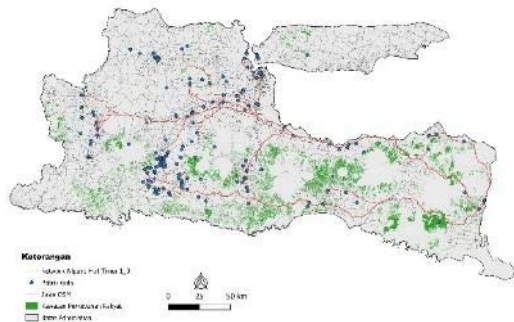


120,63 km

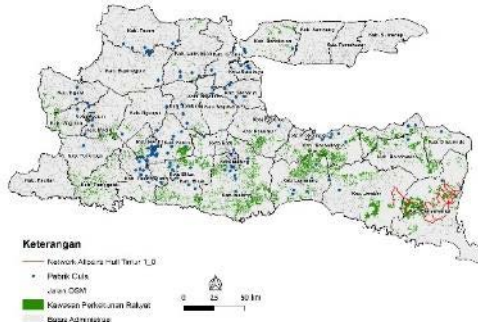


69,24 km

**Sub Klaster Tengah 1\_2**

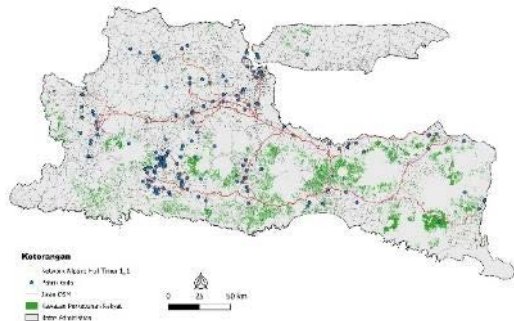


311,91 km

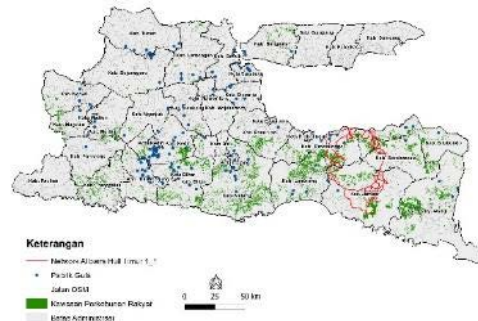


57,79 km

**Sub Klaster Timur 1\_0**

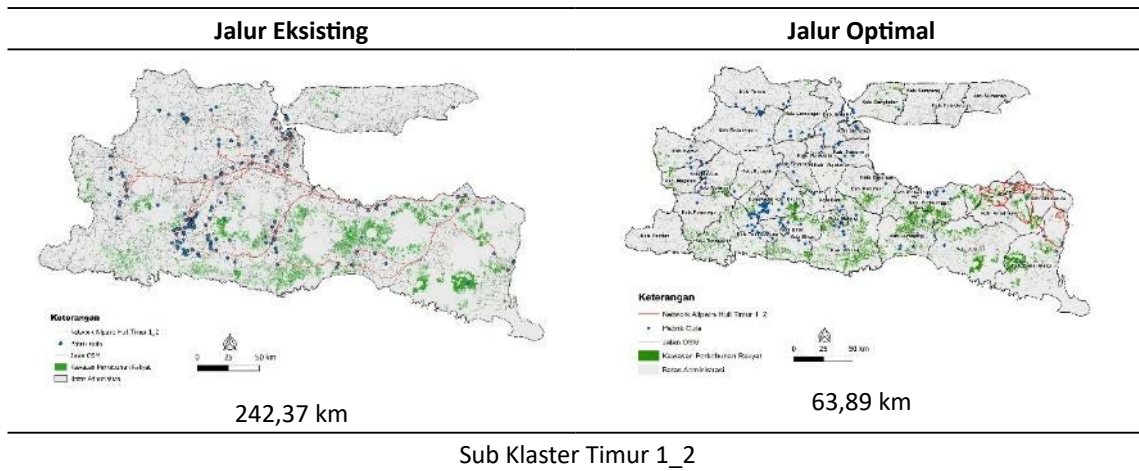


170,45 km



82,99 km

**Sub Klaster Timur 1\_1**



**Gambar 6: Perbandingan Rata-rata Jarak Tempuh Jalur Eksisting dan Jalur Optimal**

Pabrik gula berperan penting dalam pembangunan regional, namun menghadapi tantangan profitabilitas dan ekspansi. Peningkatan kapasitas produksi dapat dilakukan, terutama di sub-klaster dengan jumlah pabrik gula yang sedikit, seperti sub-klaster timur 1\_1 yang hanya memiliki satu pabrik gula. Selain itu, kemitraan dengan petani dan penjadwalan produksi sangat diperlukan untuk menjaga pasokan tebu dan kualitas rendemen, terutama jika kebijakan pembatasan luas panen di dalam sub-klaster diberlakukan.

**Efisiensi yang Dihasilkan dan Kontribusinya bagi Perekonomian**

Efisiensi biaya pengangkutan tebu dihitung dengan membandingkan rata-rata jarak tempuh dari sub-klaster eksisting dengan sub-klaster kebun ke pabrik gula terdekat. Perhitungan ini bertujuan untuk mengidentifikasi potensi pengurangan biaya transportasi tebu melalui optimalisasi jalur pengangkutan dari kebun tebu ke pabrik gula.

Perhitungan biaya bahan bakar minyak (BBM) menggunakan asumsi harga biosolar subsidi per Juli 2024 sebesar Rp 6.800 per liter dan efisiensi bahan bakar rata-rata truk adalah 6 km per liter. Hasilnya menunjukkan penurunan rata-rata biaya BBM hingga 63% dari jalur eksisting ke jalur optimal. Jika biaya BBM diasumsikan menyumbang 20% dari biaya tebang angkut, dan biaya tebang angkut menyumbang 26,44% dari biaya produksi tebu, maka potensi penurunan biaya tebang angkut adalah sekitar 12%, dan penurunan biaya produksi tebu sekitar 3%.

**Tabel 3: Perbandingan Biaya BBM Jalur Eksisting dan Jalur Optimal**

Sub-Klaster	Jumlah Pabrik Gula (PG)	Jalur Eksisting			Jalur Optimal		
		Trip Distance (Km)	Fuel (Liters)	Biaya BBM (Rp)	Trip Distance (Km)	Fuel (Liters)	Biaya BBM (Rp)
Barat 1_0	13	190,58	31,8	217.714,80	46,99	7,8	53.694,28
Barat 1_1	60	146,14	24,4	166.958,20	67,36	11,2	77.032,52
Barat 1_2	35	142,61	23,8	162.878,09	70,55	11,8	80.623,02
Barat 1_3	6	156,37	26,1	178.708,93	76,29	12,7	87.151,20
Tengah 1_0	14	116,01	19,3	132.522,05	66,31	11,1	75.726,89
Tengah 1_1	7	181,84	30,3	207.759,33	49,75	8,3	56.795,17
Tengah 1_2	15	120,63	20,1	137.744,60	69,24	11,5	79.154,18
Timur 1_0	5	311,91	52	356.275,42	57,79	9,6	66.097,82
Timur 1_1	1	170,45	28,4	194.702,97	82,99	13,8	94.821,81
Timur 1_2	7	242,37	40,4	276.958,04	63,89	10,6	72.952,41
<b>Rata-rata</b>	<b>163</b>	<b>180,715</b>	<b>29,66</b>	<b>203.222,24</b>	<b>65,116</b>	<b>10,84</b>	<b>74.404,93</b>

Dengan demikian, prestasi Provinsi Jawa Timur saat ini sebagai pemimpin dalam produksi gula tebu dapat semakin diperkuat melalui efisiensi biaya pengangkutan tebu, salah satunya melalui penentuan wilayah pelayanan berdasarkan sub-klaster (Brundenius & Sörvik, 2008; Dines dkk., 2013). Hal ini dapat menekan pergerakan pada lingkup transportasi lokal, menghemat biaya bahan bakar, serta menjaga kualitas tebu pasca panen.

## **Kesimpulan**

Penelitian ini berhasil memodelkan jalur pengangkutan tebu saat ini dengan menggabungkan data lokasi pabrik gula, titik kecelakaan truk, dan jaringan jalan. Selanjutnya, dengan memanfaatkan data persebaran perkebunan, penelitian ini mengeksplorasi pemodelan jalur pengangkutan tebu optimal yang dapat menjangkau wilayah lebih luas dengan rata-rata jarak tempuh yang lebih pendek. Hasil ini diperoleh dengan membagi wilayah Provinsi Jawa Timur menjadi tiga klaster dan sepuluh sub-klaster.

Perbandingan rata-rata jarak tempuh kemudian dikonversi menjadi biaya bahan bakar minyak (BBM), yang menunjukkan potensi efisiensi biaya sebesar 63%. Hal ini berpotensi menurunkan biaya terbang angkut sekitar 12% dan biaya produksi tebu sekitar 3%.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pertimbangan dalam penyusunan kebijakan terkait penentuan jalur strategis pengangkutan tebu, pembentukan klaster atau wilayah pelayanan pabrik tebu terhadap area panen perkebunan tebu, serta upaya peningkatan kesejahteraan petani melalui pengurangan biaya pengangkutan. Hal ini berpotensi memperkuat posisi Provinsi Jawa Timur sebagai produsen gula tertinggi di Indonesia.

Penelitian ini memiliki keterbatasan signifikan dalam aspek data. Model jalur transportasi yang digunakan berbasis grid hipotetik dan berita daring, sehingga validasi lapangan diperlukan untuk memastikan akurasi hasil. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan data resmi dari pemerintah, survei petani, serta variabel *real-time* seperti kondisi cuaca dan arus lalu lintas. Selain itu, pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memantau pergerakan kendaraan dan kondisi jalan dapat memperkaya model, sehingga lebih sesuai dengan realitas operasional industri gula di Jawa Timur.

## **Pernyataan**

### ***Kontribusi Penulis***

Nuryantiningsih Pusporini berkontribusi dalam konseptualisasi, supervisi, serta penelaahan dan revisi naskah. Anisaul Izah berkontribusi dalam penyusunan draf naskah. Zahra Mustafafi berkontribusi dalam pengumpulan dan pengolahan data, khususnya data spasial dan pemetaan.

### ***Sumber Pendanaan***

Penelitian dan penyusunan artikel ini tidak menerima pendanaan dari pihak mana pun.

### ***Pernyataan Persetujuan***

Pernyataan persetujuan tidak relevan untuk penelitian ini.

### ***Konflik Kepentingan***

Para penulis menyatakan tidak terdapat konflik kepentingan.

### ***Ketersediaan Data dan Materi***

Data dan materi pendukung penelitian ini tersedia atas permintaan kepada penulis, khususnya data spasial dan data pemetaan.

### **Penggunaan Kecerdasan Buatan (AI)**

ChatGPT digunakan secara terbatas untuk membantu penyuntingan bahasa. Seluruh isi, analisis, dan interpretasi dalam artikel ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

### **Ucapan Terima Kasih**

Penulis menyampaikan penghargaan kepada PT Sagamartha Ultima Indonesia atas dukungannya selama rangkaian keikutsertaan dalam EJAVEC 2024 hingga terselesaikannya naskah artikel ini.

### **Daftar Pustaka**

- Adi, G. A. (2022). Konektivitas Sistem Transportasi Darat, Laut dan Udara dalam rangka menekan Logistic Cost di Jawa Timur. *Jurnal Transportasi Multimoda*, 20(1), 26–34. <https://doi.org/10.25104/mtm.v20i1.1984>
- Anggraeni, D. A. F., Dianutami, V. R., & Tyasnurita, R. (2024). Investigation of Simulated Annealing and Ant Colony optimization to Solve Delivery Routing Problem in Surabaya, Indonesia. *Procedia Computer Science*, 234, 592–601. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.044>
- Ariningsih, E. (2016). Economies of Scale of Sugarcane Cooperatives in East Java Province and Their Influencing Factors. *Jurnal Agro Ekonomi*, 31(1), 53. <https://doi.org/10.21082/jae.v31n1.2013.53-69>
- Ate, B. D. (2016). *Pengembangan Model Keberlanjutan Klaster Industri Berbasis Tebu Dalam Rangka Swasembada Gula Nasional (Studi Kasus: Klaster Industri Berbasis Tebu Di Jawa Timur)* [Masters thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember]..
- Azad, A. K., Atkison, T., & Shah, A. F. M. S. (2024). A Review on Machine Learning in Intelligent Transportation Systems Applications. *The Open Transportation Journal*, 18(1). <https://doi.org/10.2174/0126671212330496240821114216>
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Statistik Tebu Indonesia 2022* (Vol. 13). BPS RI/BPS - Statistics Indonesia.
- Basuki, Purwanto, B. H., Sunarminto, B. H., & Utami, S. N. H. (2015). Analisis Cluster Sebaran Hara Makro dan Rekomendasi Pemupukan untuk Tanaman Tebu (*Saccharum officinarum* Linn.). *Ilmu Pertanian*, 18(3), 118–126. <https://doi.org/10.22146/ipas.10614>
- Berger, J., Salois, M., & Begin, R. (1998). A hybrid genetic algorithm for the vehicle routing problem with time windows. In R. E. Mercer & E. Neufeld (Eds.), *Advances in Artificial Intelligence* (Vol. 1418, pp. 114–127). Springer. [https://doi.org/10.1007/3-540-64575-6\\_44](https://doi.org/10.1007/3-540-64575-6_44)
- Brundenius, C., & Sörvik, J. (2008). *Clustering and upgrading-A case study of the sugar industries in Brazil and Cuba*. <https://www.researchgate.net/publication/284163135>
- Budihartono, E. (2016). Penerapan Algoritma Dijkstra untuk Sistem Pendukung Keputusan Bagi Penentuan Jalur Terpendek Pengiriman Paket Barang pada Travel. *Jurnal Politeknik Harapan Bersama*, 1(1), 69-78.
- Buka, R., Imran, S., & Indriani, R. (2023). Rantai Pasok Tebu (Studi Kasus PT. PG Gorontalo) Kecamatan Tolangohula Kabupaten Gorontalo. *AGRINESIA*, 7(3), 246–255. <https://doi.org/10.37046/agr.v0i0.20795>
- Dines, G., McRae, S., & Henderson, C. (2013). Sugarcane Harvest And Transport Management: A Proven Whole-Of-Systems Approach That Delivers Least Cost And Maximum Productivity. *International Sugar Journal*, 115(1376), 550-554.

- Fauzi, M. D. R., Wahyudin, W., & Nugraha, B. (2021). Optimalisasi Penentuan Jalur Distribusi Terpendek Menggunakan Spanning Tree dan Nearest Neighbor. *JTERA (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 6(1), 121-130. <https://doi.org/10.31544/jtera.v6.i1.2021.121-130>
- Gunes, N. (2020). *Cost - Benefit Analysis*. <https://doi.org/10.32545/encyclopedia202002.0003.v1>
- Hakim, D. N., Ramadan, F., & Cahyono, Y. I. (2021). Studi Pemanfaatan Big Data dalam Perumusan Kebijakan Publik pada Sektor Kesehatan. *SPECTA Journal of Technology*, 5(3), 308–322. <https://doi.org/10.35718/specta.v5i3.379>
- Hanka, M. K. F., & Santosa, B. (2021). Analisis Kualitas Bahan Baku Tebu Melalui Teknik Pengklasteran dan Klasifikasi Kadar Gula Sebelum Giling (Studi Kasus Pabrik Gula PT. XYZ). *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 100-107. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.64924>
- Heryanto, R. M., Steephani, Y., & Santoso. (2019). Determination of Distribution Route using Linear Programming Model (Case Study at Washing Jeans Company). *Proceedings of the 2019 1st International Conference on Engineering and Management in Industrial System (ICOEMIS 2019)*, 173, 253–259. <https://doi.org/10.2991/icoemis-19.2019.35>
- Huang, B., & Pan, X. (2007). GIS coupled with traffic simulation and optimization for incident response. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(2), 116–132. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.06.001>
- Ibrahim, M. F., Mustofa, M. I., Meilanitasari, P., & Wijaya, S. U. (2022). An Improved Ant Colony Optimization Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows. *Jurnal Teknik Industri*, 23(2), 105–120. <https://doi.org/10.22219/JTIUMM.Vol23.No2.105-120>
- Koç, Ç., Bektaş, T., Jabali, O., & Laporte, G. (2015). A hybrid evolutionary algorithm for heterogeneous fleet vehicle routing problems with time windows. *Computers & Operations Research*, 64, 11–27. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2015.05.004>
- Lee, I., & Mangalaraj, G. (2022). Big Data Analytics in Supply Chain Management: A Systematic Literature Review and Research Directions. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(1), 17. <https://doi.org/10.3390/bdcc6010017>
- Maori, N. A., & Evanita, E. (2023). Metode Elbow dalam Optimasi Jumlah Cluster pada K-Means Clustering. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 14(2), 277–288. <https://doi.org/10.24176/simet.v14i2.9630>
- Nazry H. W. N. S., Riza, F., Rizky, F., Gultom, Z. A., Haris, M., & Barus, M. D. B. (2025). Model Optimasi Rute Transportasi Berbasis Pemrograman Linear. *Jurnal Sistem Informasi Triguna Dharma (JURSI TGD)*, 4(1), 75-81. <https://doi.org/10.53513/jursi.v4i1.10586>
- Nurmuslimah, S. (2020). Aplikasi Metode Fuzzy Mamdani Untuk Pemilihan Tebu Berkualitas Pada Produksi Gula. *Jurnal Ilmiah NERO*, 5(1), 5-14. <https://doi.org/10.21107/nero.v5i1.156>
- Priyambodo, P. (2018). Pengembangan dan Peningkatan Konektivitas Angkutan Barang di Jawa Timur. *Warta Penelitian Perhubungan*, 28(3), 211-223. <https://doi.org/10.25104/warlit.v28i3.599>
- Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian. (2023). *Buku Outlook Komoditas Perkebunan Tebu*. Sekretariat Jenderal-Kementerian Pertanian.
- Renardi, R., & Ula, M. (2017). Sistem Pencarian Rute Terpendek Pendistribusian Produk Menggunakan Algoritma Hill Climbing Search Di Cv Duta Express. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 1(1), 109-137. <https://doi.org/10.29103/sisfo.v1i1.254>

- Susenderan, S. (2025). Integration Of Cloud Computing And Artificial Intelligence For Scalable Urban Traffic Optimization In Intelligent Transportation Systems Urban Traffic Optimization In Intelligent Transportation Systems. *International Journal of Computer Engineering and Technology (IJCET)*, 16(1), 4063–4078. [https://doi.org/10.34218/IJARET\\_16\\_01\\_278](https://doi.org/10.34218/IJARET_16_01_278)
- Susilowati, S. H., & Tinaprilla, N. (2012). Analisis Efisiensi Usaha Tani Tebu Di Jawa Timur. *Jurnal Littri* 18(4), 162–172.
- Sutandi, S. (2018). Pengaruh Big Data Dan Teknologi Blockchain Terhadap Model Bisnis Sektor Logistik Dengan Pendekatan Business Model Canvas. *Jurnal Logistik Indonesia*, 2(1), 9–20. <https://doi.org/10.31334/jli.v2i1.214>
- Triscowati, D. W., & Wijayanto, A. W. (2020). Peluang Dan Tantangan Dalam Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh Dan Machine Learning Untuk Prediksi Data Tanaman Pangan Yang Lebih Akurat. *Seminar Nasional Official Statistics, 2019(1)*, 177–187. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2019i1.230>
- Utami, D., Irianto, H., & Rahayu, W. (2017). Analisis Nilai Tambah Dan Desain Metrik Pengukuran Kinerja Rantai Pasok Tebu (Kasus Di Pabrik Gula Mojo Kabupaten Sragen). *AGRISTA*, 5(1), 173–181.
- Yunianto, M. F., Faisal, A., & Vendyansyah, N. (2021). Sistem Informasi Geografis Pemetaan Hasil Produksi Tebu Dengan Metode K-Means Di Kabupaten Malang. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 5(2), 573–580. <https://doi.org/10.36040/jati.v5i2.3764>
- Yunitasari, D., Hakim, D. B., Juanda, B., & Nurmalina, R. (2015). Menuju Swasembada Gula Nasional: Model Kebijakan Untuk Meningkatkan Produksi Gula Dan Pendapatan Petani Tebu Di Jawa Timur (Achieving National Sugar Self-Sufficiency: A Policy Model to Increase Sugar Production and Boost Sugar Cane Farmer's Income in East Java). *Jurnal Ekonomi & Kebijakan Publik*, 6(1), 1-15.
- Yustika, A. E. (2008). The Transaction Cost Of Sugarcane Farmers: An Explorative Study. *Jurnal Ekonomi dan Bisnis Indonesia*, 23(3), 283 – 301. <https://doi.org/10.22146/JIEB.6340>