

UJIAN AKHIR SEMESTER

MATA KULIAH ANALISIS DATA TIDAK TERSTRUKTUR (KELAS A)

Dosen Pengampu: Dr. Arie Wahyu Wijayanto



Maryesta Apriliani Sihombing

2206051531

DEPARTEMEN MATEMATIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS INDONESIA

2025

DAFTAR ISI

1	PENDAHULUAN	3
1.1	Judul Penelitian	3
1.2	Latar Belakang	3
1.3	Rumusan Masalah	4
1.4	Tujuan Penelitian	4
2	TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1	Analisis Jaringan Jalan (Transportation Network Analysis)	5
2.2	Teori Centrality dalam Analisis Jaringan	5
3	HASIL DAN PEMBAHASAN	7
3.1	MULTI-CENTRALITY ANALYSIS	8
3.1.1	Visualisasi <i>Multi-Centrality</i>	9
3.1.2	Visualisasi Jaringan Dengan <i>Centrality</i>	12
3.1.3	Analisis Node Strategis	13
3.1.4	Peta Interaktif Dengan <i>Multi-Centrality</i>	14
3.1.5	<i>Summary dan Insights</i>	15
3.2	HEALTHCARE ACCESSIBILITY ANALYSIS	16
3.2.1	Analisis Aksesibilitas Kesehatan	16
3.2.2	Identifikasi <i>Healthcare Deserts</i>	17
3.2.3	Analisis Integrasi: <i>Strategic Nodes vs Healthcare Access</i>	17
3.2.4	Visualisasi <i>Healthcare Accessibility</i>	18
3.2.5	Peta Interaktif <i>Healthcare Accessibility</i>	19
3.2.6	Rekomendasi Penempatan Fasilitas Kesehatan	20
4	KESIMPULAN	21

1 PENDAHULUAN

1.1 Judul Penelitian

Analisis Jaringan Jalan dan Aksesibilitas Fasilitas Kesehatan Menggunakan Data Geospasial
OpenStreetMap dan OSMNX: Studi Kasus Kota Sukabumi

1.2 Latar Belakang

Perkembangan teknologi dan ketersediaan data dalam jumlah besar telah membawa dampak signifikan dalam berbagai bidang, termasuk perencanaan kota dan layanan publik. Salah satu jenis data yang semakin banyak dimanfaatkan adalah data geospasial, terutama data jaringan jalan dan titik-titik penting seperti fasilitas kesehatan. Data semacam ini umumnya bersifat tidak terstruktur dan membutuhkan pendekatan analisis yang tepat agar dapat diolah dan dimanfaatkan secara optimal. Dalam konteks pengembangan wilayah, analisis spasial terhadap infrastruktur kota menjadi penting untuk mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

OpenStreetMap (OSM) merupakan salah satu platform penyedia data geospasial terbuka yang menyediakan informasi jaringan jalan, bangunan, serta fasilitas umum lainnya. Dengan bantuan pustaka Python seperti OSMNX, NetworkX, dan Geopandas, data dari OSM dapat diambil dan dianalisis untuk memahami struktur jaringan jalan dan keterhubungannya terhadap berbagai titik penting dalam suatu wilayah. Salah satu aspek yang krusial untuk dikaji adalah aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas layanan kesehatan, yang mencerminkan seberapa mudah penduduk dapat menjangkau rumah sakit, puskesmas, atau klinik.

Dalam Ujian Akhir Semester mata kuliah Analisis Data Tidak Terstruktur ini, dilakukan studi kasus terhadap Kota Sukabumi sebagai daerah asal penulis. Kota Sukabumi dipilih karena memiliki karakteristik wilayah yang menarik untuk dianalisis, terutama dalam hal keterhubungan jaringan jalan dan distribusi fasilitas kesehatan. Proyek ini bertujuan untuk mengkaji struktur jaringan jalan di Sukabumi dengan menghitung metrik seperti panjang jalan, densitas, dan *centrality*, serta mengevaluasi tingkat aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas kesehatan berdasarkan data dari OpenStreetMap.

Melalui analisis ini, diperoleh visualisasi jaringan jalan, identifikasi simpul-simpul strategis, serta peta distribusi akses ke fasilitas kesehatan di Kota Sukabumi. Hasil analisis ini

memberikan gambaran mengenai area-area dengan akses rendah terhadap layanan kesehatan, yang dapat menjadi masukan penting dalam perencanaan pembangunan infrastruktur oleh pemerintah daerah. Dengan demikian, proyek ini tidak hanya berperan sebagai bagian dari evaluasi akademik, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam pemanfaatan data tidak terstruktur untuk mendukung pembangunan yang lebih inklusif dan berbasis bukti.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana struktur jaringan jalan di Kota Sukabumi dan analisisnya menggunakan data geospasial tidak terstruktur dari OpenStreetMap?
2. Bagaimana peran simpul-simpul tertentu dalam jaringan jalan Kota Sukabumi jika diukur menggunakan metrik *centrality* seperti *degree*, *betweenness*, *closeness*, dan *eigenvector*?
3. Bagaimana tingkat aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas kesehatan di Kota Sukabumi berdasarkan jarak spasial dari jaringan jalan?
4. Wilayah mana saja yang belum terjangkau fasilitas kesehatan secara memadai (*healthcare deserts*) dan bagaimana keterkaitannya dengan simpul-simpul strategis dalam jaringan transportasi kota?
5. Bagaimana integrasi analisis jaringan dan akses kesehatan dapat dimanfaatkan untuk merekomendasikan lokasi prioritas pembangunan fasilitas kesehatan?

1.4 Tujuan Penelitian

1. Memahami dan menganalisis struktur jaringan jalan Kota Sukabumi dari data geospasial tidak terstruktur dari OpenStreetMap.
2. Mengidentifikasi peran simpul-simpul tertentu dalam jaringan jalan Kota Sukabumi jika diukur menggunakan metrik *centrality* seperti *degree*, *betweenness*, *closeness*, dan *eigenvector* melalui analisis *multi-centrality*.
3. Mengidentifikasi tingkat aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas kesehatan di Kota Sukabumi berdasarkan jarak spasial dari jaringan jalan?
4. Mengidentifikasi wilayah yang belum terjangkau fasilitas kesehatan secara memadai (*healthcare deserts*), serta menganalisis apakah wilayah tersebut berada di simpul strategis.
5. Menyusun rekomendasi lokasi pembangunan fasilitas kesehatan berdasarkan integrasi analisis jaringan dan akses kesehatan.

2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisis Jaringan Jalan (Transportation Network Analysis)

Transportation Network Analysis merupakan pendekatan komputasional untuk mempelajari struktur dan dinamika jaringan transportasi suatu wilayah. Dalam konteks data geospasial, jaringan jalan dimodelkan sebagai graf, di mana simpul (*nodes*) mewakili titik-titik seperti persimpangan, ujung jalan, atau fasilitas penting, sementara ruas jalan (*edges*) merepresentasikan koneksi fisik antar simpul, seperti ruas jalan atau jalur lalu lintas. Tujuan utama dari analisis jaringan jalan adalah untuk memahami pola keterhubungan, efisiensi, dan kerentanannya dalam mendukung mobilitas masyarakat serta perencanaan infrastruktur kota.

Analisis ini penting karena jaringan jalan memengaruhi aksesibilitas terhadap fasilitas publik seperti rumah sakit, sekolah, dan pusat ekonomi. Melalui representasi graf, kita dapat mengevaluasi sejauh mana suatu wilayah dapat dijangkau, bagaimana arus lalu lintas tersebar, dan titik mana saja yang menjadi pusat pergerakan atau potensi kemacetan. Dengan menggunakan data dari sumber terbuka seperti OpenStreetMap dan pustaka Python seperti OSMNX dan NetworkX, jaringan jalan dapat diunduh, divisualisasikan, dan dianalisis secara kuantitatif berdasarkan parameter-parameter topologis dan spasial.

2.2 Teori Centrality dalam Analisis Jaringan

Dalam analisis jaringan, *centrality* adalah konsep penting yang digunakan untuk mengukur tingkat kepentingan relatif suatu simpul dalam struktur graf. Berbagai metrik *centrality* digunakan untuk memahami peran masing-masing simpul dalam jaringan transportasi. Berikut adalah empat jenis *centrality* yang paling umum:

1. *Degree Centrality* mengukur jumlah koneksi langsung yang dimiliki oleh suatu simpul. Dalam konteks jaringan jalan, simpul dengan *degree* tinggi merupakan titik persimpangan atau jalur utama yang menghubungkan banyak ruas. Titik-titik ini penting untuk mobilitas lokal dan bisa menjadi fokus perbaikan infrastruktur.
2. *Betweenness Centrality* menghitung seberapa sering suatu simpul dilalui dalam rute terpendek antara dua simpul lain. Simpul dengan nilai ini tinggi sering kali berfungsi sebagai *bottleneck* atau penghubung antar wilayah. Jika simpul ini terganggu, mobilitas

kota bisa terhambat secara signifikan. Oleh karena itu, simpul dengan *betweenness* tinggi sangat relevan untuk manajemen lalu lintas dan penempatan fasilitas darurat.

3. *Closeness Centrality* mengukur jarak rata-rata suatu simpul ke seluruh simpul lain dalam jaringan. Semakin tinggi nilai *closeness*, semakin cepat simpul tersebut dapat diakses dari seluruh jaringan. Simpul dengan nilai *closeness* tinggi cocok untuk lokasi fasilitas publik karena posisinya yang relatif terjangkau dari berbagai titik.
4. *Eigenvector Centrality* mempertimbangkan tidak hanya jumlah koneksi, tetapi juga kualitas koneksi. Suatu simpul memiliki nilai *eigenvector* tinggi jika terhubung ke simpul lain yang juga penting. Dalam konteks kota, simpul ini biasanya merupakan pusat-pusat aktivitas yang berada di dalam jaringan padat dan berpengaruh.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Potongan kode di bawah merupakan langkah awal dalam analisis jaringan jalan berbasis data geospasial untuk Kota Sukabumi. Pertama, dilakukan instalasi dan import pustaka yang diperlukan, seperti `osmnx`, `networkx`, `folium`, dan `geopandas`, yang berfungsi untuk mengambil, memvisualisasikan, dan menganalisis data jaringan jalan dari OpenStreetMap. Selanjutnya, data jaringan jalan untuk Kota Sukabumi diambil menggunakan fungsi `graph_from_place` dari pustaka `OSMNX`, dengan jenis jaringan yang dipilih adalah *drive*, yaitu jaringan jalan yang dapat dilalui kendaraan. Data yang diperoleh terdiri dari simpul (*nodes*) dan ruas jalan (*edges*), lalu dikonversi ke bentuk `GeoDataFrame` untuk memudahkan analisis spasial. Jumlah *nodes* dan *edges* dicetak untuk memastikan data berhasil diunduh. Terakhir, fungsi `basic_stats` digunakan untuk menghitung statistik dasar dari jaringan jalan seperti total panjang jalan, densitas jaringan, dan jumlah simpul yang hasil awalnya ditampilkan dalam bentuk tabel. Langkah ini memberikan gambaran awal mengenai karakteristik jaringan transportasi di Kota Sukabumi sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

```
[ ] # 📦 Install dependencies
!pip install osmnx --upgrade folium geopandas networkx --quiet

100.5/100.5 kB 1.5 MB/s eta 0:00:00
338.0/338.0 kB 6.2 MB/s eta 0:00:00

[ ] # 📦 Import libraries
import osmnx as ox
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import folium
import geopandas as gpd
import pandas as pd
import numpy as np
import seaborn as sns
from folium import plugins
import warnings
warnings.filterwarnings('ignore')

[ ] # 📍 Ambil jaringan jalan Kota Sukabumi
place = "Sukabumi, West Java, Indonesia"
G = ox.graph_from_place(place, network_type="drive")
nodes, edges = ox.graph_to_gdfs(G)
print(f'✅ Berhasil mengambil {len(nodes)} nodes dan {len(edges)} edges')

[ ] # 📊 Statistik jaringan
stats = ox.basic_stats(G)
pd.Series(stats).head(10)
```

Hasil statistik menunjukkan bahwa jaringan jalan di Kota Sukabumi terdiri dari 4.439 simpul dan 10.329 ruas jalan, dengan rata-rata satu simpul terhubung ke sekitar 4,65 ruas. Panjang total seluruh ruas jalan mencapai sekitar 786 km, dan panjang rata-rata tiap ruas jalan sekitar 76 meter. Sebagian besar simpul merupakan persimpangan tiga arah, dan terdapat 2.967 titik perpotongan jalan. Hal ini menunjukkan bahwa jaringan jalan di Sukabumi cukup padat dan saling terhubung, mendukung mobilitas kendaraan di wilayah kota.

	0
n	4439
m	10329
k_avg	4.653751
edge_length_total	786517.217029
edge_length_avg	76.146502
streets_per_node_avg	2.395359
streets_per_node_counts	{0: 0, 1: 1472, 2: 1, 3: 2706, 4: 259, 5: 1}
streets_per_node_proportions	{0: 0.0, 1: 0.3316062176165803, 2: 0.000225275...
intersection_count	2967
street_length_total	405529.739087

3.1 MULTI-CENTRALITY ANALYSIS

Analisis multi-centrality pada jaringan jalan Kota Sukabumi memberikan gambaran tentang *node-node* (titik simpul) yang paling strategis dalam sistem transportasi kota. Dari hasil perhitungan, rata-rata *degree centrality* cukup rendah (0.0010), menunjukkan bahwa sebagian besar simpul hanya memiliki sedikit koneksi langsung. Namun, *betweenness centrality* memiliki nilai maksimum yang tinggi (0.2268), mengindikasikan adanya beberapa simpul kunci yang sering dilewati dalam rute terpendek, node ini berperan penting dalam menghubungkan bagian-bagian kota. *Closeness centrality* menunjukkan seberapa cepat suatu simpul dapat dijangkau dari simpul lain, dan nilai yang relatif merata mengisyaratkan struktur jaringan yang cukup tersebar. Sementara itu, *eigenvector centrality* menunjukkan bahwa hanya beberapa simpul yang benar-benar dominan atau terhubung dengan simpul penting lainnya. Hasil ini penting dalam konteks aksesibilitas fasilitas kesehatan di mana simpul dengan nilai *centrality* tinggi dapat menjadi titik prioritas dalam perbaikan infrastruktur jalan atau penempatan fasilitas publik agar akses masyarakat menjadi lebih optimal.

```
[ ] centrality_df[['degree_centrality', 'betweenness_centrality',
                  'closeness_centrality', 'eigenvector_centrality']].describe()
```

	degree_centrality	betweenness_centrality	closeness_centrality	eigenvector_centrality
count	4439.000000	4439.000000	4439.000000	4.439000e+03
mean	0.001049	0.013017	0.000182	3.657817e-04
std	0.000450	0.027342	0.000031	1.500643e-02
min	0.000451	0.000000	0.000106	-5.874640e-16
25%	0.000451	0.000000	0.000157	-1.055257e-18
50%	0.001352	0.001233	0.000179	1.981817e-19
75%	0.001352	0.011402	0.000207	2.358226e-18
max	0.001803	0.226847	0.000246	7.069847e-01

Hasil analisis menunjukkan *node-node* paling strategis berdasarkan berbagai jenis centrality. Pada *degree centrality*, simpul dengan nilai tertinggi tersebar di beberapa titik kota yang memiliki banyak koneksi langsung ke jalan lain, mencerminkan persimpangan penting. *Betweenness centrality* mengungkap adanya simpul-simpul dengan nilai sangat tinggi (hingga 0.22), yang berarti node-node tersebut berperan sebagai jalur penghubung utama dalam rute terpendek—sangat krusial untuk efisiensi transportasi dan respons darurat menuju fasilitas kesehatan. Sementara itu, node dengan *closeness centrality* tertinggi berada di sekitar pusat kota, menandakan kedekatannya ke seluruh simpul lain secara keseluruhan, ideal untuk lokasi layanan publik seperti rumah sakit. Adapun simpul dengan *eigenvector centrality* tinggi berada di wilayah yang dikelilingi oleh simpul penting lainnya, menunjukkan pengaruh struktural yang kuat dalam jaringan. Temuan ini dapat digunakan untuk mengidentifikasi titik prioritas perbaikan infrastruktur atau penempatan fasilitas kesehatan agar mudah dijangkau oleh warga Kota Sukabumi.

```
# 🧑‍🔬 Top 10 nodes untuk setiap centrality metric
print("\n🧑‍🔬 TOP 10 NODES PER CENTRALITY METRIC:")

top_metrics = {}
for metric in ['degree_centrality', 'betweenness_centrality', 'closeness_centrality', 'eigenvector_centrality']:
    top_10 = centrality_df.nlargest(10, metric)[['node_id', metric, 'lat', 'lon']]
    top_metrics[metric] = top_10
print(f"\n🔥 Top 10 {metric.replace('_', ' ').title()}:")
print(top_10)
```

🧑‍🔬 TOP 10 NODES PER CENTRALITY METRIC:

🔥 Top 10 Degree Centrality:

	node_id	degree_centrality	lat	lon
46	2413854235	0.001803	-6.922156	106.922110
52	2413854256	0.001803	-6.922701	106.924380
54	2413854266	0.001803	-6.923016	106.921953
84	2501743074	0.001803	-6.903123	106.915672
85	2501743078	0.001803	-6.903167	106.912572
98	2501743353	0.001803	-6.912175	106.929137
122	2504526961	0.001803	-6.958860	106.953062
149	2828213861	0.001803	-6.918355	106.913617
180	2828228711	0.001803	-6.913179	106.930870
185	2828228743	0.001803	-6.915352	106.914387

🔥 Top 10 Closeness Centrality:

	node_id	closeness_centrality	lat	lon
220	2894725892	0.000246	-6.931409	106.932431
111	2504526380	0.000246	-6.931498	106.932417
113	2504526504	0.000245	-6.941798	106.931257
288	2898823069	0.000244	-6.941842	106.931088
2308	6385338537	0.000244	-6.941237	106.931210
1527	5852601381	0.000244	-6.941046	106.931391
2741	6660327060	0.000244	-6.940424	106.931201
1532	5852601786	0.000244	-6.940596	106.931392
3855	9357751794	0.000244	-6.940167	106.931210
2616	6598274760	0.000244	-6.941377	106.931391

🔥 Top 10 Betweenness Centrality:

	node_id	betweenness_centrality	lat	lon
2520	6428220416	0.226847	-6.926309	106.933505
3757	9334320572	0.224290	-6.927239	106.933389
0	664143921	0.219427	-6.950868	106.931317
3274	7371392360	0.217039	-6.950773	106.931267
1002	5850160538	0.205923	-6.953100	106.933796
3369	8407872662	0.201224	-6.926186	106.933522
3336	8310850406	0.196874	-6.926087	106.933536
177	2828214424	0.192785	-6.925874	106.933562
961	5850160316	0.190194	-6.953603	106.933854
980	5850160489	0.190017	-6.954442	106.933581

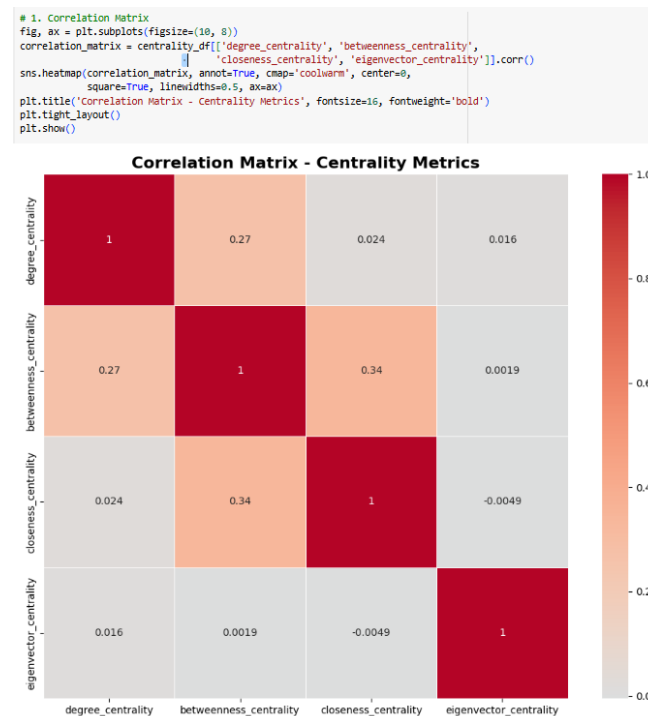
🔥 Top 10 Eigenvector Centrality:

	node_id	eigenvector_centrality	lat	lon
2563	6588161273	0.706985	-6.928854	106.907967
3525	8417351645	0.683265	-6.920739	106.909465
4409	12144019691	0.180834	-6.929192	106.905643
3436	8411621351	0.020974	-6.929135	106.907905
4169	11568667175	0.008885	-6.920616	106.909442
3524	8417351644	0.008231	-6.920731	106.909350
2561	6588161262	0.004660	-6.929193	106.905439
200	2828230066	0.002323	-6.925669	106.905259
3435	8411621347	0.001182	-6.928904	106.907500
4403	12144019683	0.001130	-6.929251	106.905657

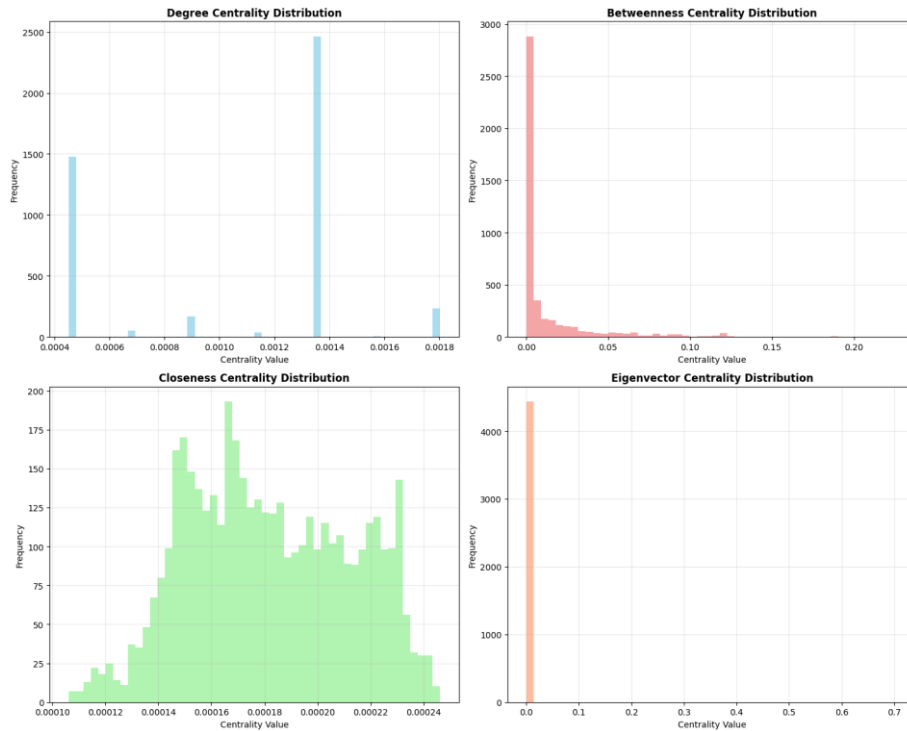
3.1.1 Visualisasi *Multi-Centrality*

Hasil matriks korelasi menunjukkan bahwa hubungan antar metrik *centrality* di jaringan jalan Kota Sukabumi tergolong lemah, yang berarti setiap metrik merepresentasikan aspek strategis yang berbeda. Dalam konteks aksesibilitas layanan kesehatan, hal ini penting karena

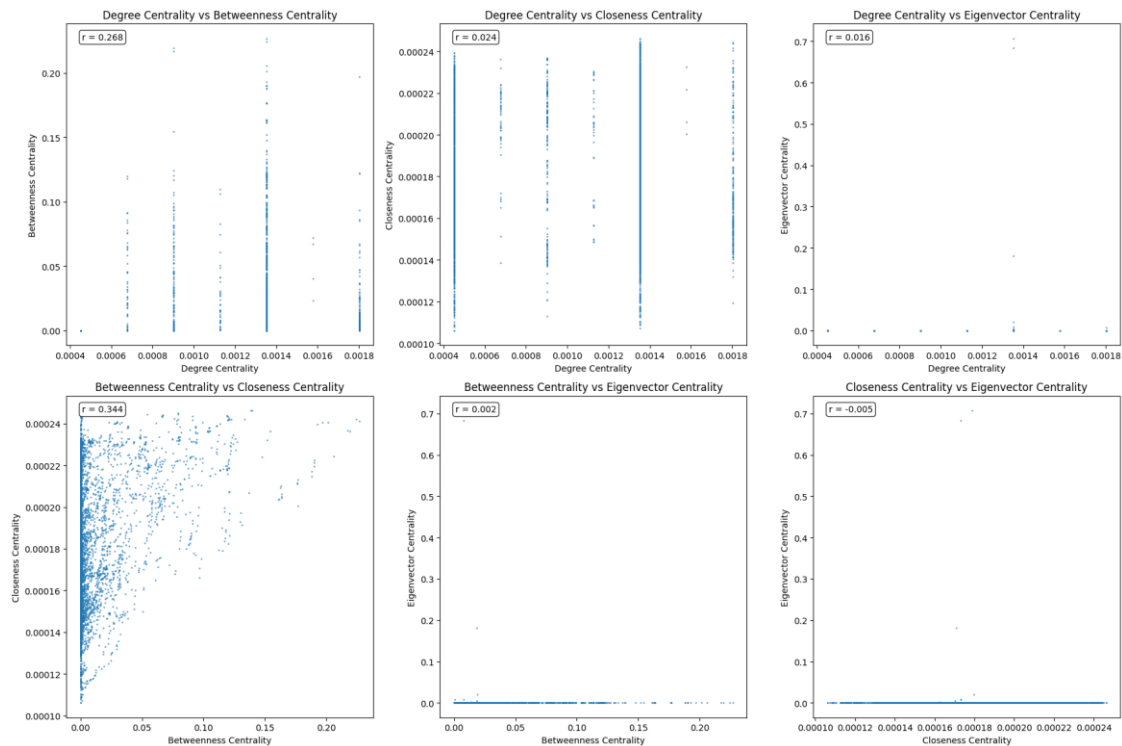
simpul dengan koneksi terbanyak belum tentu menjadi jalur utama atau paling cepat dijangkau. Oleh karena itu, untuk memahami dan meningkatkan akses ke fasilitas kesehatan secara efektif, perlu mempertimbangkan kombinasi berbagai metrik *centrality*, bukan hanya satu indikator tunggal.



Distribusi keempat metrik *centrality* di bawah menunjukkan bahwa sebagian besar simpul dalam jaringan jalan Kota Sukabumi memiliki nilai *centrality* yang rendah. *Betweenness* dan *eigenvector centrality* sangat timpang (*skewed*), menandakan hanya sedikit simpul yang benar-benar berperan sebagai jalur utama atau simpul berpengaruh tinggi. Sebaliknya, *closeness centrality* cenderung menyebar lebih merata, yang berarti keterjangkauan antar simpul di kota ini relatif seimbang. *Degree centrality* memiliki puncak-puncak tertentu, menandakan adanya beberapa tipe simpul dominan (seperti ujung jalan dan simpang tiga). Secara keseluruhan, distribusi ini menunjukkan bahwa hanya sebagian kecil simpul yang sangat strategis dan simpul-simpul inilah yang krusial untuk diperhatikan jika ingin meningkatkan efisiensi akses terhadap layanan kesehatan di Kota Sukabumi.

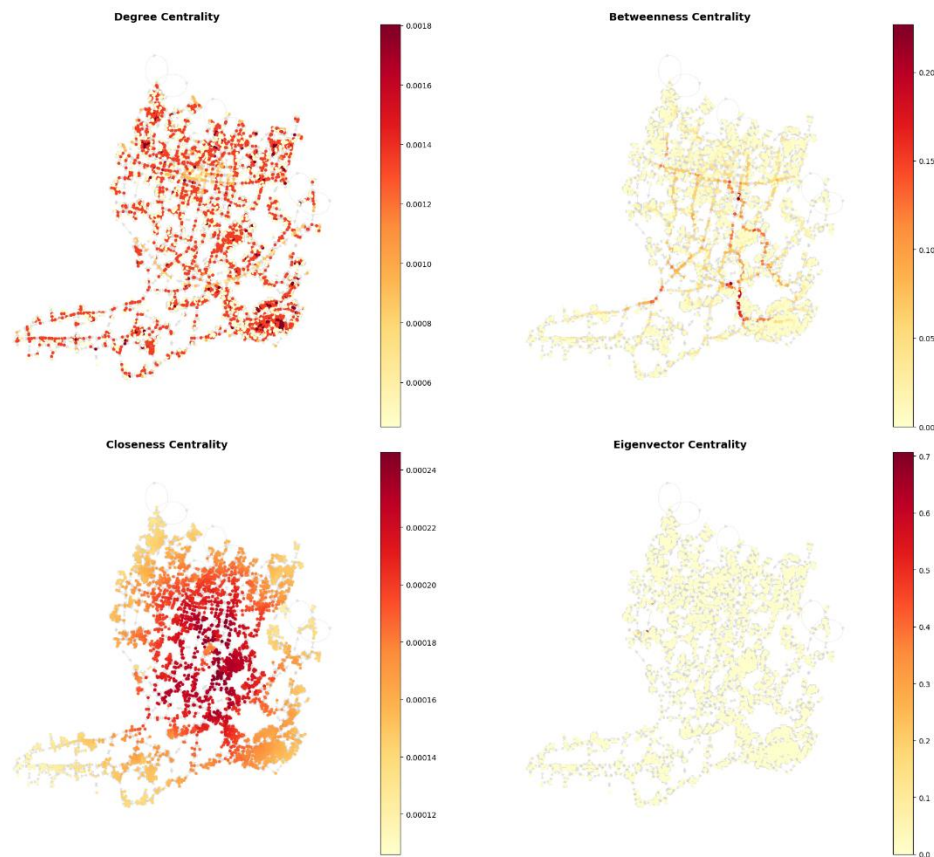


Berdasarkan *scatter plot matrix* di bawah, hubungan antar metrik *centrality* dalam jaringan jalan Kota Sukabumi tampak sangat lemah, dengan korelasi tertinggi hanya sebesar 0,344 antara *betweenness* dan *closeness centrality*. Hal ini menunjukkan bahwa simpul yang sering dilalui rute terpendek cenderung sedikit lebih dekat ke simpul lainnya, tetapi korelasinya tetap rendah. Metrik lain seperti *degree* dan *eigenvector centrality* hampir tidak menunjukkan hubungan signifikan satu sama lain. Dalam konteks aksesibilitas, hal ini menegaskan bahwa masing-masing metrik menyoroti aspek berbeda dari jaringan jalan, sehingga penting untuk mempertimbangkan semuanya secara bersamaan guna mengidentifikasi titik strategis untuk peningkatan infrastruktur atau penyediaan layanan kesehatan.



3.1.2 Visualisasi Jaringan Dengan *Centrality*

Peta visualisasi di bawah menunjukkan distribusi spasial simpul-simpul penting dalam jaringan jalan Kota Sukabumi berdasarkan empat jenis *centrality*. *Degree centrality* tersebar merata di seluruh kota, menandakan banyak titik persimpangan langsung. *Betweenness centrality* sangat terkonsentrasi pada ruas-ruas utama yang kemungkinan besar menjadi jalur penghubung antarkawasan di mana wilayah ini krusial untuk menjamin kelancaran akses ke fasilitas kesehatan. *Closeness centrality* memperlihatkan pusat kota sebagai area dengan keterjangkauan tertinggi, yang cocok dijadikan lokasi layanan publik karena mudah diakses dari berbagai titik. Sementara itu, *eigenvector centrality* hampir seluruhnya rendah, menunjukkan bahwa tidak ada simpul dominan yang secara struktural memengaruhi jaringan secara luas. Hasil ini memberi gambaran wilayah-wilayah strategis yang sebaiknya diprioritaskan dalam perencanaan infrastruktur demi meningkatkan pemerataan akses layanan kesehatan di Kota Sukabumi.



3.1.3 Analisis Node Strategis

Dari seluruh jaringan jalan Kota Sukabumi, ditemukan 3022 simpul strategis yang masuk dalam 10% teratas untuk setidaknya satu metrik *centrality*. Menariknya, sebanyak 847 simpul termasuk dalam kategori unggul karena berada di atas 10% untuk dua atau lebih metrik centrality. Ini menunjukkan bahwa simpul-simpul tersebut tidak hanya memiliki banyak koneksi atau dilalui jalur utama, tetapi juga relatif mudah dijangkau dan/atau terhubung dengan simpul-simpul penting lainnya. Dalam konteks aksesibilitas layanan kesehatan, simpul-simpul inilah yang sangat penting untuk diperhatikan baik sebagai lokasi potensial fasilitas baru, maupun sebagai fokus perbaikan infrastruktur jalan agar distribusi layanan menjadi lebih merata dan efisien di seluruh wilayah Kota Sukabumi.

```
[ ] # Identifikasi node yang masuk top 10% di multiple centrality metrics
centrality_percentiles = centrality_df[['degree_centrality', 'betweenness_centrality',
                                         'closeness_centrality', 'eigenvector_centrality']].quantile(0.9)

strategic_nodes = centrality_df[
    (centrality_df['degree_centrality'] >= centrality_percentiles['degree_centrality']) |
    (centrality_df['betweenness_centrality'] >= centrality_percentiles['betweenness_centrality']) |
    (centrality_df['closeness_centrality'] >= centrality_percentiles['closeness_centrality']) |
    (centrality_df['eigenvector_centrality'] >= centrality_percentiles['eigenvector_centrality'])
].copy()

# Hitung berapa banyak centrality metrics yang tinggi untuk setiap node
strategic_nodes['high_centrality_count'] = (
    (strategic_nodes['degree_centrality'] >= centrality_percentiles['degree_centrality']).astype(int) +
    (strategic_nodes['betweenness_centrality'] >= centrality_percentiles['betweenness_centrality']).astype(int) +
    (strategic_nodes['closeness_centrality'] >= centrality_percentiles['closeness_centrality']).astype(int) +
    (strategic_nodes['eigenvector_centrality'] >= centrality_percentiles['eigenvector_centrality']).astype(int)
)

# Sort berdasarkan jumlah high centrality metrics
strategic_nodes = strategic_nodes.sort_values('high_centrality_count', ascending=False)

print(f"🔴 Ditemukan {len(strategic_nodes)} node strategis (top 10% di minimal 1 centrality metric)")
print(f"🔴 {len(strategic_nodes[strategic_nodes['high_centrality_count'] >= 2])} node yang unggul di 2+ centrality metrics")
```

🔴 Ditemukan 3022 node strategis (top 10% di minimal 1 centrality metric)
🔴 847 node yang unggul di 2+ centrality metrics

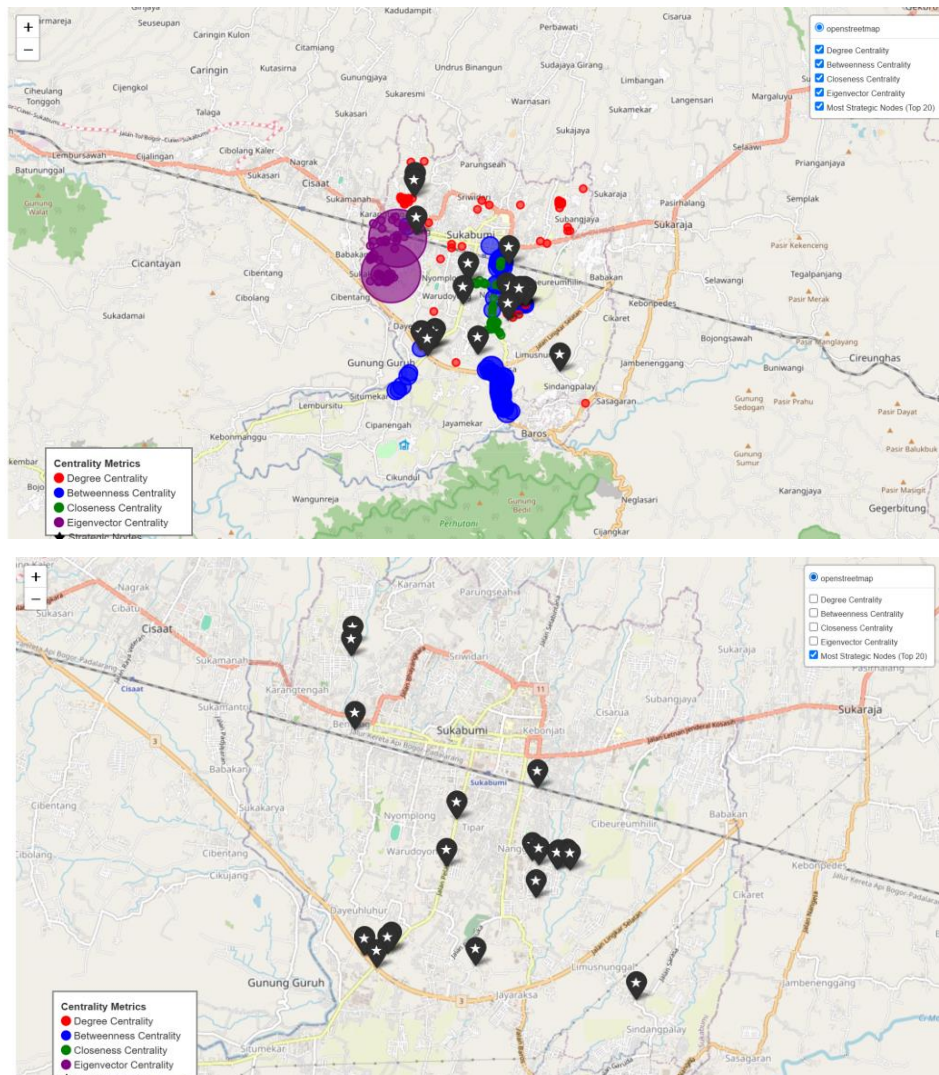
```
# Top 20 most strategic nodes
print("\n🔴 TOP 20 MOST STRATEGIC NODES:")
top_strategic = strategic_nodes.head(20)[['node_id', 'high_centrality_count',
                                         'degree_centrality', 'betweenness_centrality',
                                         'closeness_centrality', 'eigenvector_centrality', 'lat', 'lon']]
top_strategic
```

🔴 TOP 20 MOST STRATEGIC NODES:

	node_id	high_centrality_count	degree_centrality	betweenness_centrality	closeness_centrality	eigenvector_centrality	lat	lon
17	1989439010	4	0.001352	0.076181	0.000242	2.045261e-17	-6.930262	106.925847
2882	6665869203	3	0.001352	0.052198	0.000227	-1.413104e-18	-6.947371	106.928076
450	2918147467	3	0.001352	0.060740	0.000165	1.466116e-09	-6.911165	106.913344
2980	6690275812	3	0.001352	0.066589	0.000194	2.985989e-11	-6.919773	106.913771
3054	6936590683	3	0.001352	0.112399	0.000235	-3.494785e-17	-6.935091	106.934723
389	2903662980	3	0.001352	0.048667	0.000233	6.337628e-18	-6.939470	106.935158
375	2903662494	3	0.001352	0.086041	0.000180	3.596626e-17	-6.951352	106.947020
360	2903661587	3	0.001803	0.121671	0.000226	-2.688358e-18	-6.936190	106.939175
359	2903661586	3	0.001352	0.126237	0.000227	-8.452959e-18	-6.935888	106.938890
358	2903661580	3	0.001352	0.151850	0.000232	-8.209706e-18	-6.935952	106.937847
357	2903661579	3	0.001352	0.125599	0.000233	2.828457e-18	-6.936107	106.937683
356	2903661571	3	0.001352	0.091989	0.000231	-1.838988e-18	-6.935635	106.935469
3221	7223877712	3	0.000901	0.117085	0.000230	1.129935e-14	-6.945141	106.914946
318	2898849252	3	0.000901	0.124505	0.000230	9.561425e-17	-6.946203	106.914891
314	2898843028	3	0.000676	0.058266	0.000232	1.078060e-16	-6.947680	106.916400
321	2903658934	3	0.001352	0.052698	0.000230	3.081028e-18	-6.935807	106.924599
2946	6669926750	3	0.001352	0.007919	0.000230	2.184797e-17	-6.926562	106.935331
2877	6665813894	3	0.001352	0.051418	0.000161	2.095015e-10	-6.909795	106.913511
2769	6660612522	3	0.001352	0.080808	0.000232	1.315587e-18	-6.945994	106.917661
2771	6660612530	3	0.001352	0.079943	0.000232	-3.576790e-18	-6.945616	106.918089

3.1.4 Peta Interaktif Dengan *Multi-Centrality*

Peta interaktif di bawah ini menampilkan lokasi simpul-simpul penting dalam jaringan jalan Kota Sukabumi berdasarkan empat metrik centrality, serta menyoroti 20 simpul paling strategis yang unggul di lebih dari satu metrik. Titik-titik berwarna mewakili simpul dengan nilai tertinggi untuk masing-masing metrik, sementara ikon bintang hitam menunjukkan simpul strategis yang memiliki peran penting dalam beberapa aspek jaringan sekaligus. Simpul-simpul tersebut tersebar terutama di area pusat kota dan jalur utama, menandakan bahwa wilayah tersebut sangat krusial dalam mendukung mobilitas dan aksesibilitas, termasuk menuju fasilitas kesehatan.



3.1.5 Summary dan Insights

Analisis jaringan jalan Kota Sukabumi menunjukkan bahwa dari 4.439 simpul, sebanyak 3.022 di antaranya termasuk simpul strategis, dengan 847 simpul unggul dalam dua atau lebih metrik centrality. Hal ini mengindikasikan adanya titik-titik yang sangat penting dalam mendukung konektivitas dan aksesibilitas kota, khususnya menuju layanan kesehatan. Simpul dengan *degree centrality* tinggi merepresentasikan persimpangan sibuk, sedangkan *betweenness centrality* tinggi menunjukkan peran sebagai jalur utama atau "*bottleneck*" yang vital dalam aliran lalu lintas. Sementara itu, *closeness centrality* tinggi menandakan akses cepat ke berbagai titik lain, dan *eigenvector centrality* tinggi mengarah pada simpul yang secara struktural berpengaruh. Korelasi antar metrik yang rendah memperkuat pentingnya pendekatan multi-centrality dalam analisis. Berdasarkan temuan ini, simpul strategis sebaiknya dijadikan fokus dalam pembangunan infrastruktur dan penempatan fasilitas publik agar mobilitas dan pelayanan masyarakat, termasuk akses kesehatan, dapat lebih merata dan efisien.

```

SUMMARY DAN INSIGHTS:
=====
KOTA ANALISIS: Kota Sukabumi, Jawa Barat
TOTAL NODES: 4,439
TOTAL EDGES: 10,329
STRATEGIC NODES: 3,022
MULTI-METRIC LEADERS: 163

CENTRALITY STATISTICS:
Degree Centrality..... Mean: 0.001049, Std: 0.000450, Max: 0.001803
Betweenness Centrality... Mean: 0.013017, Std: 0.027342, Max: 0.226847
Closeness Centrality..... Mean: 0.000182, Std: 0.000031, Max: 0.000246
Eigenvector Centrality... Mean: 0.000366, Std: 0.015006, Max: 0.706985

CENTRALITY CORRELATIONS:
Degree Centrality vs Betweenness Centrality: 0.268
Degree Centrality vs Closeness Centrality: 0.024
Degree Centrality vs Eigenvector Centrality: 0.016
Betweenness Centrality vs Closeness Centrality: 0.344
Betweenness Centrality vs Eigenvector Centrality: 0.002
Closeness Centrality vs Eigenvector Centrality: -0.005

```

3.2 HEALTHCARE ACCESSIBILITY ANALYSIS

Hasil ekstraksi data dari OpenStreetMap menunjukkan bahwa di Kota Sukabumi terdapat 14 rumah sakit, 18 klinik, 16 apotek, dan 13 praktik dokter yang berhasil diidentifikasi. Namun, tidak ditemukan data pusat kesehatan (puskesmas) dengan tag healthcare=centre, kemungkinan karena perbedaan dalam penandaan data di OSM. Informasi ini menjadi dasar penting dalam menganalisis seberapa mudah fasilitas kesehatan dapat diakses oleh masyarakat, terutama jika dikaitkan dengan struktur jaringan jalan yang telah dianalisis sebelumnya. Penyebaran dan jumlah fasilitas ini akan sangat menentukan wilayah mana yang memiliki akses baik dan mana yang memerlukan perhatian lebih dalam perencanaan layanan kesehatan.

```

Rumah Sakit ditemukan: 14
Klinik ditemukan: 18
Apotek ditemukan: 16
Praktik Dokter ditemukan: 13
Tidak ada data pusat kesehatan: No matching features. Check query location, tags, and log.

```

3.2.1 Analisis Aksesibilitas Kesehatan

Hasil analisis menunjukkan bahwa secara rata-rata, simpul dalam jaringan jalan Kota Sukabumi berjarak sekitar 1,64 km dari fasilitas kesehatan terdekat, dengan jarak median 1,33 km. Jarak terjauh tercatat sebesar 5,89 km, yang mengindikasikan masih adanya wilayah yang cukup jauh dari layanan kesehatan, sementara simpul dengan jarak minimum 0,01 km menandakan lokasi yang sangat dekat atau bahkan berada tepat di titik fasilitas. Temuan ini memberikan gambaran awal mengenai tingkat keterjangkauan geografis masyarakat terhadap fasilitas kesehatan, yang dapat dijadikan dasar untuk menentukan wilayah-wilayah prioritas dalam perencanaan pemerataan akses layanan publik di Sukabumi.

```

STATISTIK AKSESIBILITAS KESEHATAN:
Mean jarak ke fasilitas kesehatan: 1.64 km
Median jarak: 1.33 km
Jarak maksimum: 5.89 km
Jarak minimum: 0.01 km

```


3.2.2 Identifikasi *Healthcare Deserts*

Hasil analisis menemukan bahwa terdapat 53 simpul di Kota Sukabumi yang tergolong sebagai *healthcare desert*, yaitu berada lebih dari 5 km dari fasilitas kesehatan terdekat. Meskipun jumlahnya relatif kecil, sekitar 1,2% dari total simpul, wilayah ini tetap perlu diperhatikan karena menunjukkan ketimpangan akses layanan kesehatan. Yang lebih penting, terdapat 31 simpul strategis di area ini, artinya titik-titik tersebut tidak hanya sulit dijangkau dari fasilitas kesehatan, tetapi juga memiliki posisi penting dalam jaringan jalan. Oleh karena itu, simpul-simpul ini menjadi kandidat utama untuk intervensi, seperti pembangunan fasilitas kesehatan baru atau peningkatan akses jalan, guna memperbaiki pemerataan layanan kesehatan di Kota Sukabumi.

```
if len(healthcare_facilities) > 0:
    print("\n 🏠 IDENTIFIKASI HEALTHCARE DESERTS...")

    # Define healthcare desert threshold (misalnya > 5km dari fasilitas kesehatan)
    healthcare_desert_threshold = 5.0 # km

    healthcare_deserts = integrated_analysis[
        integrated_analysis['nearest_healthcare_distance'] > healthcare_desert_threshold
    ].copy()

    print(f" 🚨 Healthcare Desert Areas: {len(healthcare_deserts)} nodes (>{healthcare_desert_threshold}km dari fasilitas kesehatan)")

    if len(healthcare_deserts) > 0:
        print(f" 📊 Persentase area dengan akses kesehatan rendah: {len(healthcare_deserts)/len(integrated_analysis)*100:.1f}%")

        # Healthcare deserts yang juga strategic nodes
        strategic_healthcare_deserts = healthcare_deserts[
            healthcare_deserts['node_id'].isin(strategic_nodes['node_id'])
        ]

        print(f" 📌 Strategic nodes dalam healthcare deserts: {len(strategic_healthcare_deserts)}")
```

🏠 IDENTIFIKASI HEALTHCARE DESERTS...
🚨 Healthcare Desert Areas: 53 nodes (>5.0km dari fasilitas kesehatan)
📊 Persentase area dengan akses kesehatan rendah: 1.2%
📌 Strategic nodes dalam healthcare deserts: 31

3.2.3 Analisis Integrasi: *Strategic Nodes vs Healthcare Access*

Dari total simpul strategis di Kota Sukabumi, sebanyak 2.105 simpul memiliki akses yang baik ke fasilitas kesehatan (≤ 2 km), namun terdapat 599 simpul strategis yang justru memiliki akses buruk karena berada lebih dari 3 km dari fasilitas terdekat. Temuan ini penting karena simpul-simpul tersebut memiliki peran penting dalam konektivitas jaringan jalan, tetapi belum terlayani secara optimal oleh fasilitas kesehatan. Bahkan, 10 simpul prioritas dengan nilai *centrality* tinggi berada lebih dari 3–5 km dari layanan terdekat (mayoritas apotek), yang menunjukkan potensi ketimpangan layanan publik di wilayah yang secara struktural penting. Titik-titik ini sebaiknya dapat menjadi prioritas utama untuk penambahan fasilitas atau peningkatan akses kesehatan di masa depan.

```

✅ Strategic nodes dengan akses kesehatan baik (≤2km): 2105
❌ Strategic nodes dengan akses kesehatan buruk (>3km): 599

🔥 STRATEGIC NODES DENGAN AKSES KESEHATAN BURUK:

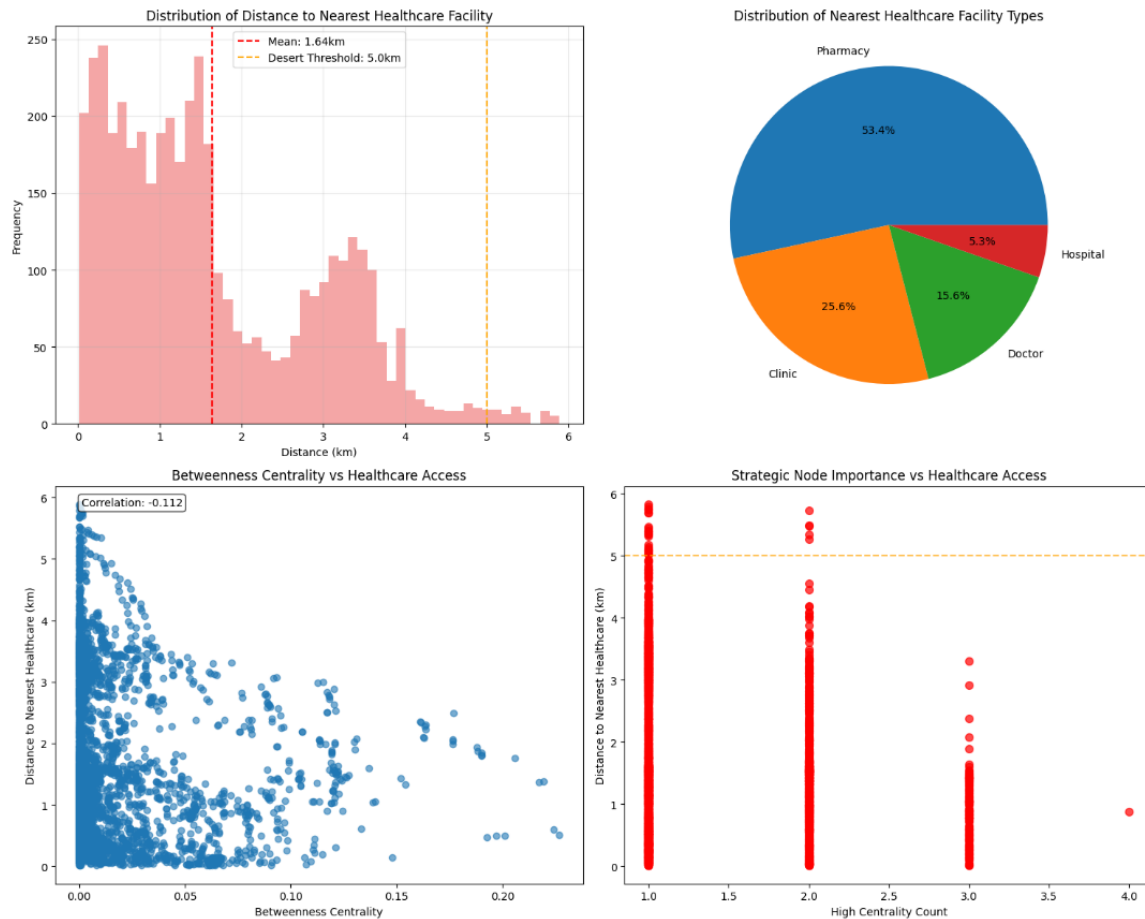
```

	node_id	high Centrality Count	nearest_healthcare_distance \
133	11734855893	3	3.303364
181	5847752010	2	4.560550
184	5847752044	2	5.345285
217	6024381334	2	3.104672
218	6026221634	2	3.750201
219	6026231733	2	3.752310
220	6026257368	2	4.016519
224	5847752641	2	3.127178
225	5847752664	2	3.340573
226	5847752080	2	5.273474

	nearest_healthcare_type	lat	lon
133	Pharmacy	-6.954637	106.949398
181	Pharmacy	-6.961006	106.885332
184	Pharmacy	-6.962898	106.878348
217	Pharmacy	-6.965418	106.906258
218	Pharmacy	-6.968070	106.900134
219	Pharmacy	-6.959061	106.892592
220	Pharmacy	-6.976303	106.909657
224	Pharmacy	-6.967181	106.908793
225	Pharmacy	-6.967492	106.905536
226	Pharmacy	-6.967826	106.881826

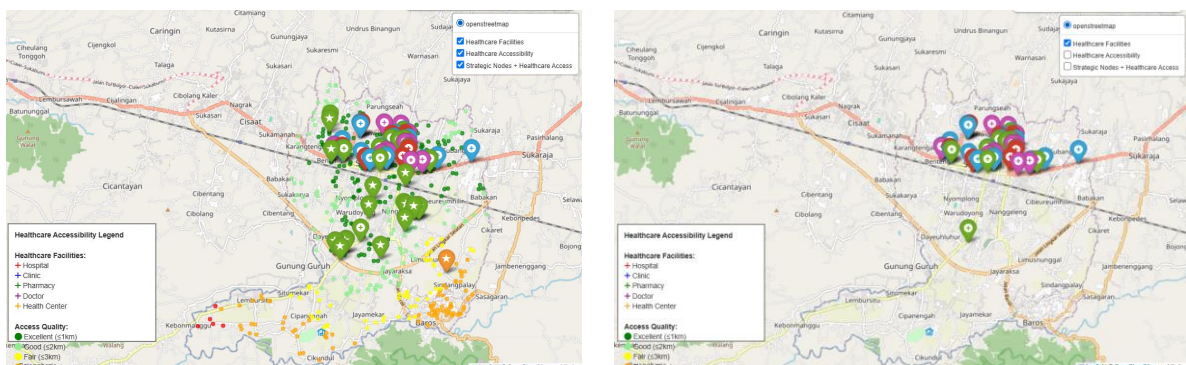
3.2.4 Visualisasi *Healthcare Accessibility*

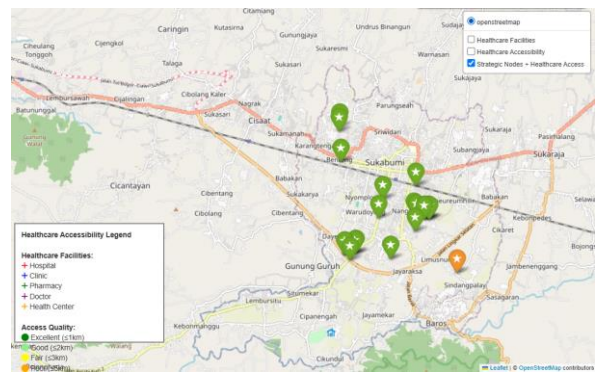
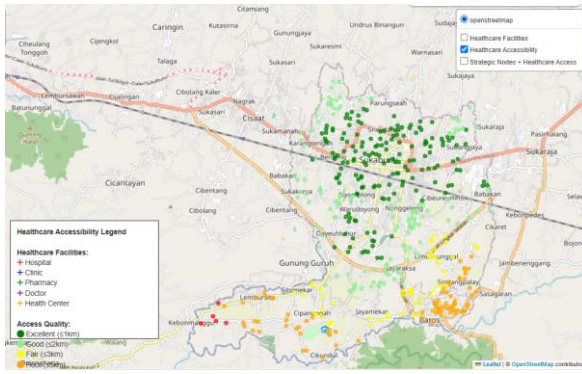
Distribusi jarak ke fasilitas kesehatan menunjukkan bahwa mayoritas simpul berada dalam jangkauan yang cukup baik (di bawah rata-rata 1,64 km), tetapi terdapat simpul-simpul yang melewati ambang batas *healthcare desert* (>5 km), mengindikasikan ketimpangan spasial dalam akses layanan. *Pie chart* menunjukkan bahwa sebagian besar simpul terdekat dengan apotek (53,4%), sementara akses langsung ke rumah sakit hanya 5,3%, yang mungkin belum memadai untuk kebutuhan darurat. *Scatter plot* antara *betweenness centrality* dan akses kesehatan menunjukkan korelasi negatif lemah ($r = -0,112$), mengisyaratkan bahwa simpul-simpul penting secara struktural tidak selalu memiliki akses kesehatan yang baik. Sementara itu, grafik antara jumlah metrik *centrality* tinggi dan jarak ke fasilitas kesehatan menunjukkan bahwa masih ada simpul strategis dengan akses buruk, menekankan perlunya pemerataan layanan kesehatan pada titik-titik kunci jaringan jalan.



3.2.5 Peta Interaktif *Healthcare Accessibility*

Peta interaktif ini memberikan visualisasi spasial yang komprehensif mengenai lokasi fasilitas kesehatan, tingkat aksesibilitas, serta simpul strategis dalam jaringan jalan Kota Sukabumi. Fasilitas kesehatan ditandai berdasarkan jenisnya (rumah sakit, klinik, apotek, dokter), sementara kualitas akses masyarakat digambarkan melalui warna titik: dari hijau (akses sangat baik) hingga merah (akses sangat buruk). Simpul-simpul strategis juga ditandai dengan ikon bintang dan warna sesuai tingkat aksesnya, membantu mengidentifikasi titik-titik penting yang perlu prioritas dalam pengembangan layanan kesehatan.





3.2.6 Rekomendasi Penempatan Fasilitas Kesehatan

Analisis merekomendasikan penempatan fasilitas kesehatan baru di lokasi-lokasi strategis yang saat ini memiliki akses buruk. Lima simpul dengan nilai centrality tinggi tetapi jauh dari layanan kesehatan diidentifikasi sebagai prioritas utama karena memainkan peran penting dalam jaringan jalan sekaligus belum terjangkau layanan medis. Selain itu, analisis *healthcare deserts* mengungkap 53 area dengan akses rendah, dengan rata-rata jarak ke fasilitas kesehatan mencapai lebih dari 5 km. Melalui *clustering*, dihasilkan beberapa titik pusat (*centroid*) yang mewakili kelompok simpul terabaikan, dan dapat menjadi lokasi optimal pembangunan fasilitas kesehatan baru.

📍 REKOMENDASI PENEMPATAN FASILITAS KESEHATAN
=====

🏆 TOP PRIORITY LOCATIONS untuk fasilitas kesehatan baru:

Priority 134: Node 11734855893.0 - Centrality Score: 3.0/4
Distance to healthcare: 3.30km
Coordinates: (-6.9546, 106.9494)

Priority 182: Node 5847752010.0 - Centrality Score: 2.0/4
Distance to healthcare: 4.56km
Coordinates: (-6.9610, 106.8853)

Priority 185: Node 5847752044.0 - Centrality Score: 2.0/4
Distance to healthcare: 5.35km
Coordinates: (-6.9629, 106.8783)

Priority 218: Node 6024381334.0 - Centrality Score: 2.0/4
Distance to healthcare: 3.10km
Coordinates: (-6.9654, 106.9063)






Priority 219: Node 6026221634.0 - Centrality Score: 2.0/4
Distance to healthcare: 3.75km
Coordinates: (-6.9681, 106.9001)


🔥 COVERAGE GAPS ANALYSIS:
Total healthcare desert areas: 53 nodes
Average distance in desert areas: 5.37km


📍 OPTIMAL PLACEMENT RECOMMENDATIONS (2 locations):
Location 1: (-6.9649, 106.8781)
Would serve 32 underserved nodes
Location 2: (-6.9683, 106.8828)
Would serve 21 underserved nodes

4 KESIMPULAN

Analisis menyeluruh yang dilakukan terhadap jaringan jalan dan aksesibilitas layanan kesehatan di Kota Sukabumi, Jawa Barat, menunjukkan bahwa wilayah ini memiliki 4.439 simpul dan 10.329 ruas jalan, yang membentuk struktur jaringan transportasi cukup kompleks. Dari pemetaan terhadap fasilitas kesehatan berbasis data OpenStreetMap, ditemukan sebanyak 61 fasilitas yang terdiri dari 18 klinik, 16 apotek, 14 rumah sakit, dan 13 praktik dokter.

```
=====
 COMPREHENSIVE ANALYSIS SUMMARY
=====
 ANALISIS WILAYAH: Kota Sukabumi, Jawa Barat
 TOTAL NETWORK NODES: 4,439
 TOTAL NETWORK EDGES: 10,329
 TOTAL HEALTHCARE FACILITIES: 61
  • Clinic: 18
  • Pharmacy: 16
  • Hospital: 14
  • Doctor: 13

 HEALTHCARE ACCESSIBILITY METRICS:
  • Mean distance to healthcare: 1.64 km
  • Median distance: 1.33 km
  • Healthcare desert areas (>5.0km): 53

 STRATEGIC NODES & HEALTHCARE INTEGRATION:
  • Strategic nodes with good healthcare access (≤2km): 2105
  • Strategic nodes with poor healthcare access (>3km): 599
  • Priority strategic nodes for healthcare development: 599
```

Dari segi aksesibilitas, simpul-simpul dalam jaringan umumnya memiliki jarak rata-rata ke fasilitas kesehatan sekitar 1,64 km, dengan jarak median 1,33 km, yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah memiliki akses yang relatif dekat. Namun demikian, masih terdapat 53 simpul yang berada lebih dari 5 km dari fasilitas terdekat, dan ini dikategorikan sebagai *healthcare deserts*, yakni wilayah dengan risiko ketimpangan layanan kesehatan.

Melalui pendekatan *multi-centrality*, sebanyak 3.022 simpul strategis berhasil diidentifikasi, yaitu titik-titik yang memiliki peran penting dalam konektivitas jaringan transportasi. Dari jumlah tersebut, ditemukan 599 simpul strategis yang memiliki akses buruk terhadap layanan kesehatan (jarak >3 km). Fakta ini menyoroti bahwa masih ada titik-titik kunci dalam sistem mobilitas kota yang belum terlayani secara optimal dari sisi kesehatan.

Temuan ini diperkuat dengan hasil integrasi antara *centrality analysis* dan *healthcare accessibility*, yang menunjukkan bahwa simpul dengan peran tinggi dalam jaringan tidak selalu memiliki akses yang memadai ke fasilitas kesehatan. Dengan demikian, pendekatan terpadu diperlukan agar perencanaan pengembangan fasilitas publik tidak hanya mempertimbangkan persebaran geografis, tetapi juga struktur jaringan jalan yang mendasarinya.

Berdasarkan temuan ini, disusun lima rekomendasi yang dapat ditindaklanjuti secara langsung (*actionable recommendations*): (1) memprioritaskan pembangunan infrastruktur pada simpul-simpul strategis, (2) memantau dan mengelola titik kemacetan (*bottleneck*) yang berpotensi menghambat akses layanan, (3) membangun fasilitas kesehatan baru di area dengan akses rendah, (4) mengintegrasikan perencanaan fasilitas kesehatan dengan simpul transportasi strategis, dan (5) secara khusus memfokuskan pengembangan layanan kesehatan pada 599 simpul strategis yang masih memiliki akses buruk. Langkah-langkah ini diharapkan dapat mendorong pemerataan akses layanan kesehatan dan meningkatkan efisiensi mobilitas masyarakat di Kota Sukabumi.

