



Data OpenStreetMap untuk Memetakan Aksesibilitas Spasial dan Jangkauan Pelayanan Dasar Pendidikan dan Kesehatan di Kota Semarang

*OpenStreetMap Data for Spatial Accessibility
Mapping and Services Range of Medical and
Education Facilities in Semarang City*

Ahmad Zaenun Faiz

Bappeda Provinsi Jawa Tengah

Jl. Pemuda No.127-133, Kota Semarang, Jawa Tengah 50132

Info Artikel

Diterima : 29 Oktober 2021

Direvisi : 30 Mei 2022

Disetujui : 8 Juni 2022

Kata kunci:

openstreetmap

aksesibilitas

analisis jaringan

sistem informasi geografis

pelayanan pendidikan

pelayanan kesehatan

Keywords:

openstreetmap

accessibility

network analysis

geographic information systems

education services

healthcare services

Corresponding Author :

Ahmad Zaenun Faiz

zaenun.faiz@gmail.com

+62 812-5211-2048

Abstrak

Aksesibilitas spasial dan jangkauan pelayanan menjadi aspek penting guna melihat penyelenggaraan pemerintah dalam menyediakan pelayanan dasar bagi masyarakatnya. Penggunaan analisis jaringan untuk mengidentifikasi efektivitas lokasi pelayanan ini berguna untuk memberikan gambaran secara utuh mengenai sistem pelayanan pendidikan dan kesehatan yang ada di Kota Semarang. OpenStreetMap (OSM) merupakan inisiasi *open data* spasial berbasis *crowdsourcing* yang dikelola oleh *OpenStreetMap Foundation*. Database OSM ini didesain untuk memetakan jaringan jalan dan sebaran fasilitas secara detail, sehingga dapat digunakan untuk melakukan analisis jaringan tingkat lanjut. Dengan demikian melalui analisis dan pemanfaatan teknologi Sistem Informasi Geografis yang mumpuni, dapat menjadi alat yang kuat untuk menghasilkan rekomendasi yang tepat guna sebagai pedoman pemerintah setempat dalam meningkatkan pelayanan publik.

Abstract

Spatial accessibility and range of services are some important aspects to measure the government administration in providing basic services. Network analysis is useful to identify the effectiveness of medical and education service facilities in Semarang City, based on location and capacity. OpenStreetMap (OSM) is a spatial open data initiative that based on crowd-sourcing system by OpenStreetMap Foundation. OSM database is designed to map the road network and facility features in detail. The OSM database in this study is used to map the accessibility of service facilities in order to improve the public services by local governments.

PENDAHULUAN

Penggunaan analisis spasial untuk memetakan aksesibilitas dan jangkauan pelayanan dasar menggunakan analisis jaringan merupakan salah satu aplikasi ilmu Sistem Informasi Geografis (SIG) dalam

mengkaji tingkat pelayanan dasar berdasarkan jarak dan waktu tempuh perjalanan terhadap populasi yang terlayani (Vu, *et al.*, 2020). Studi mengenai jangkauan pelayanan dasar secara spasial mampu mendeskripsikan sebaran penduduk dengan akses pelayanan

yang baik maupun buruk ditinjau dari lokasi fasilitas umum dengan lokasi tempat tinggal (Yan, Zhang dan Wang, 2021). Model jaringan permukiman berupa jaringan jalan yang dapat dilalui moda transportasi tertentu dan sistem tata guna lahan menjadi faktor-faktor yang membentuk keterjangkauan atau aksesibilitas suatu fasilitas pelayanan yang menghasilkan jaring-jaring mobilitas penduduk dari tempat tinggal menuju ke lokasi fasilitas umum ataupun sebaliknya (Gil, 2015). Karakteristik khas di setiap lokasi atau wilayah tertentu dari unsur jaringan jalan, ketersediaan fasilitas transportasi publik dan sistem tata guna lahan ini kemudian membentuk klaster-klaster mobilitas penduduk yang diukur berdasarkan penyediaan dan permintaan akan pemenuhan kebutuhan akan pelayanan dasar (Yu, Liu, *et al.*, 2009).

Teori yang mendasari penelitian pusat pelayanan secara spasial pertama kali dikemukakan oleh Walter Christaller dalam teorinya yang dikenal sebagai *Central Place Theory*. Konsep mendasar dari teori ini dikembangkan dengan mendefinisikan mobilitas *origin-destination* yang menghasilkan pergerakan dari suatu lokasi menuju ke lokasi lainnya dengan pertimbangan jarak yang paling dekat dari posisi awal (Fik dan Mulligan, 1990). Munculnya interkoneksi antara lokasi asal (*origin*) dan lokasi tujuan (*destination*) ini membentuk suatu jaringan di mana fasilitas pelayanan berperan sebagai pusat (*hub*) dalam sebuah jaringan (Yu, Liu, *et al.*, 2008). Model interaksi secara spasial ini digerakkan oleh sistem hirarki pelayanan yang optimal, yang mana diasumsikan seorang penduduk akan melakukan perjalanan menuju fasilitas terdekat dengan jarak yang minimal untuk meminimalisir biaya yang dikeluarkan dalam melakukan mobilitas (Yasenovskiy dan Hodgson, 2007). Hasil yang didapatkan dari analisis ini kemudian digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan-permasalahan

lokasi fasilitas pelayanan dengan pendekatan *multi-level network* (Farahani, *et al.*, 2014).

OpenStreetMap atau dikenal juga dengan nama OSM merupakan salah satu proyek geospasial dengan konsep *Volunteered Geographical Information* (VGI) yang dikerjakan oleh berbagai praktisi geospasial seluruh dunia untuk menghasilkan *database* spasial yang sangat lengkap. OSM disebut sebagai proyek VGI paling sukses yang memuat *database* spasial hampir di seluruh penjuru dunia (Arsanjani, *et al.*, 2015). Keunggulan layanan data *OpenStreetMap* ini adalah layanan ini bersifat *open-source* dan mampu menghasilkan *network analysis* yang mumpuni (Luxen dan Vetter, 2011).

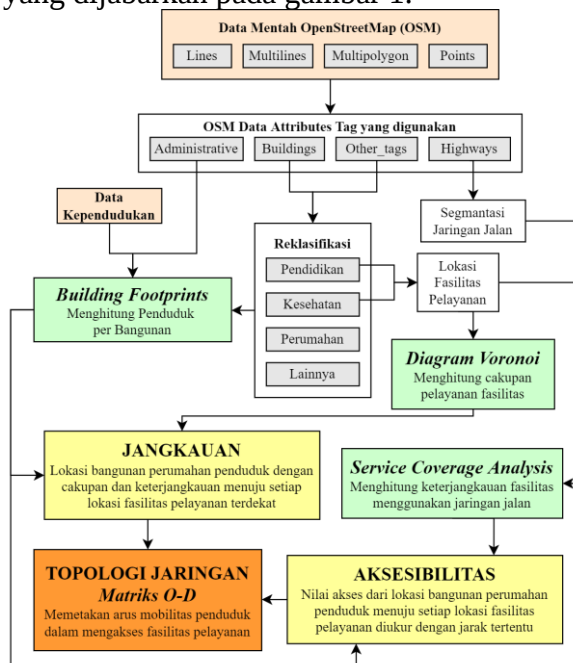
Pendidikan dan Kesehatan merupakan aspek pelayanan dasar yang dibutuhkan oleh setiap warga negara Indonesia dan wajib disediakan oleh pemerintah yang berwenang (Hasanah, Pauh and Singingi, 2017). Kenyataannya, akses menuju fasilitas pelayanan pendidikan dan kesehatan ini kurang terjangkau oleh masyarakat. Permasalahan lokasi sering kali menjadi hambatan bagi masyarakat dalam mengakses pelayanan (Saputra, *et al.*, 2015). Wilayah-wilayah dengan aksesibilitas yang buruk memaksa penduduknya untuk melakukan mobilitas menuju wilayah dengan fasilitas pelayanan yang lebih lengkap (Rekha, Radhakrishnan dan Mathew, 2019). Hal ini pada akhirnya mengakibatkan terjadinya penumpukan lalu lintas di wilayah pemusatan fasilitas pelayanan. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji potensi permasalahan yang timbul dari tidak meratanya distribusi fasilitas pelayanan yang ada di Kota Semarang dengan menggunakan pendekatan analisis secara spasial. Penggunaan *OpenStreetMap* yang merupakan layanan penyedia *open data* memungkinkan untuk melakukan analisis spasial lebih jauh sehingga mampu untuk mengurai permasalahan yang ditimbulkan oleh ketidakmerataan distribusi lokasi fasilitas pendidikan dan kesehatan yang ada di Kota Semarang.

Tabel 1. Penelitian-penelitian sebelumnya yang terkait

No	Nama Peneliti	Judul Penelitian	Tujuan Penelitian	Metode dan Teknik	Hasil Penelitian
1	Jorge Gil (2015)	<i>Building a Multimodal Urban Network Model Using OpenStreetMap Data for the Analysis of Sustainable Accessibility</i>	- Mengukur efektivitas keterjangkauan di dalam perkotaan dengan pengukuran secara detail dengan menggunakan data OpenStreetMap - Membuat analisis keterjangkauan dengan unit terkecil berupa petak bangunan (<i>building footprints</i>) - Memberikan arahan pengembangan jaringan perkotaan agar lebih menjangkau pelayanannya	Ekstraksi data OpenStreetMap: <i>Street Network Segmentation</i> <i>Value Querying</i> antara data penggunaan lahan dengan <i>building footprints</i> Ekstraksi data jaringan dari pemerintah setempat: <i>Public Transport Network Segmentation</i>	- Membandingkan efektivitas model jaringan yang dibuat dengan ekstraksi data OpenStreetMap dengan data dari pemerintah setempat. - Model jaringan yang dibuat dengan OpenStreetMap menghasilkan analisis yang lebih rinci dan detail hingga ke level petak bangunan karena memuat metadata yang lebih lengkap - Menghasilkan rekomendasi pengembangan jaringan transportasi perkotaan yang mempertimbangkan aspek infrastruktur jalan, transportasi publik dan tata guna lahan.
2	Jie Yu, Yue Liu, Gang-Len Chang, dan Xiao-Guang Yang (2008)	<i>Cluster-Based Optimization of Urban Transit Hub Locations: Methodology and Case Study in China</i>	- Membandingkan interkoneksi dan aksesibilitas jaringan dalam zona analisis lalu lintas/<i>traffic analysis zones</i> (TAZs) eksisting dengan hasil pemodelan jaringan - Formulasi area kuadratik untuk penentuan optimasi lokasi pelayanan guna meminimalkan <i>travel cost</i> - Menghasilkan model analisis jaringan yang paling optimal untuk perencanaan pengembangan akses di China	Analisis Jaringan: <i>Public Transport Network Segmentation</i> <i>Integer Nonlinear Programming</i> dengan algoritma <i>Bilinear Constraint Remodeling</i> - Model Input-Output dengan menggunakan Matriks OD (<i>origin-destination</i>)	- Infrastruktur pelayanan transit di beberapa wilayah kurang memiliki aksesibilitas yang baik sehingga berpotensi menghasilkan penumpukan lalu lintas yang berakibat pada kemacetan. - Menghasilkan titik-titik lokasi fasilitas pelayanan yang optimal untuk mengurangi <i>travel cost</i> dalam satu zona analisis lalu lintas (TAZ) - Metode <i>Integer Nonlinear Programming</i> (INLP) menghasilkan titik-titik rekomendasi dengan dasar <i>market demand</i> lebih detail ketimbang penggunaan metode <i>Mixed Integer Programming</i> (MIP)
3	Jie Yu, Yue Liu, Gang-Len Chang, Wanjin Ma, dan Xiaoguang Yang (2009)	<i>Cluster-Based Hierarchical Model for Urban Transit Hub: Location Planning Formulation, Solution, and Case Study</i>	- Mengkaji model lokasi fasilitas transit perkotaan dengan melihat struktur ruang perkotaan - Menggali nilai <i>travel cost</i> dan indeks lalu lintas perjalanan penduduk perkotaan dengan model lokasi fasilitas transit eksisting - Memberikan konsep arahan sirkulasi perjalanan yang tepat agar menghasilkan manajemen lalu lintas yang baik	Analisis Jaringan: <i>Multi Hierarchy Hub Network Topology Design</i> <i>Hierarchical Location Model</i>	- Lokasi pelayanan yang terletak di pusat kawasan permukiman memiliki efektivitas lokasi yang baik <i>Travel cost</i> dan <i>indeks lalu lintas</i> pada wilayah dengan lokasi fasilitas pelayanan transportasi di pusat kawasan aglomerasi permukiman memiliki nilai yang rendah ketimbang lokasi fasilitas yang jauh dari kawasan aglomerasi - Penempatan lokasi fasilitas-fasilitas pada titik lokasi yang tepat mampu mengurai aliran perjalanan penduduk yang berimbas lebih mengurai angka kemacetan di jaringan transportasi
4	Xuan Sun, Tao Sun, Yushan Jin dan Ya Ping Wang (2019)	<i>Spatial Organization of Hierarchical Medical Services within the City Proper of Tianjin, China: Towards Efficient Medical Alliances</i>	- Mempelajari keterkaitan antara sebaran dan jarak tempuh pelayanan kesehatan di Tianjin. - Mempelajari efektivitas lokasi pelayanan kesehatan eksisting dalam melayani penduduk kota.	Analisis Kewilayahan: - Diagram Voronoi - Analisis Hierarki Pelayanan <i>Service Coverage Analysis</i>	- Dikarenakan persebaran fasilitas kesehatan lebih banyak terjadi di pusat kota, pelayanan menjadi kurang terjangkau di wilayah-wilayah pinggiran. - Jarak fasilitas pelayanan yang terlalu dekat satu sama lain membuat tingkat pelayanan penuh di satu tempat dan lebih longgar di tempat lain, memaksa penduduk untuk bermobilitas lebih untuk mendapatkan pelayanan.
5	R. Shanmathi Rekha, Nisha Radhakrishnan, dan Samson Mathew (2020)	<i>Spatial accessibility analysis of schools using geospatial techniques</i>	- Mempelajari akses dan keterjangkauan fasilitas pendidikan baik sekolah negeri maupun swasta - Memetakan wilayah-wilayah yang memiliki aksesibilitas yang buruk untuk mengakses fasilitas pendidikan	Analisis Kewilayahan: Metode Gravitasi untuk mengukur Aksesibilitas	- Distribusi sekolah negeri yang tidak merata menghasilkan pendidikan yang kurang terjangkau memilih sekolah swasta atau menempuh mobilisasi lebih ke sekolah negeri 39% wilayah di Tamil Nadu memiliki aksesibilitas yang buruk untuk memanfaatkan fasilitas pendidikan yang ada
6	Ahmad Zaenun Faiz (2021)	<i>Data OpenStreetMap untuk Memetakan Aksesibilitas Spasial dan Jangkauan Pelayanan Dasar Pendidikan dan Kesehatan di Kota Semarang</i>	- Mempelajari akses dan keterjangkauan fasilitas pendidikan dan kesehatan yang dikelola oleh Pemerintah Kota Semarang. - Memetakan wilayah di Kota Semarang berdasarkan tingkat aksesibilitas dan jangkauan fasilitas pendidikan dan kesehatan - Menganalisis permasalahan yang ditimbulkan oleh ketidakmerataan distribusi lokasi fasilitas pendidikan dan kesehatan	Ekstraksi data OpenStreetMap: <i>Value Querying: building footprints</i> <i>Street Network Segmentation</i> Analisis Jaringan: <i>Service Coverage Analysis</i> - Matriks OD (<i>origin-destination</i>) Analisis Kewilayahan: - Diagram Voronoi	- Lebih dari 15% penduduk memerlukan mobilitas lebih dari 9 km untuk menuju fasilitas pendidikan SMK yang berpotensi meningkatkan volume perjalanan yang berimbas pada peningkatan jumlah kemacetan di ruas jalan tertentu. - Terdapat 65 fasilitas pendidikan yang melebihi kapasitas yang dapat mendorong masyarakat sekitar lokasi fasilitas tidak dapat mendapatkan pelayanan yang optimal sehingga harus menuju ke lokasi fasilitas lain yang lebih jauh. - Pemusatan lokasi fasilitas pada zona-zona tertentu menyumbang kepadatan jalan yang tinggi. Efeknya terjadi penumpukan lalu lintas pada ruas-ruas tertentu pada akses jalan menuju lokasi fasilitas pelayanan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan tiga analisis spasial yakni analisis *building footprints*, *service coverage analysis*, dan analisis jangkauan pelayanan fasilitas menggunakan Diagram Voronoi. Hasilnya dilakukan pemodelan topologi jaringan untuk melihat lalu lintas penduduk dalam mengakses fasilitas pelayanan. Alur pemrosesan data dilakukan dengan skema yang dijabarkan pada gambar 1.



Gambar 1 Alur Pemrosesan Data

Building Footprints

Building footprint pada penelitian ini diekstrak dari *big data* spasial yang disediakan oleh OpenStreetMap (OSM). Layanan OSM seperti OSM-3D, OSM2World, OSM Building dan layanan lainnya mampu menghasilkan poligon-poligon bangunan dengan data atribut tertentu yang didefinisikan dalam OSM sebagai '*tags*' (Fan, *et al.*, 2014). Model desain data spasial yang tersedia pada OSM mampu digunakan untuk memetakan bangunan dengan tingkat kedetailan yang memadai dalam menggambarkan aksesibilitas lokasi bangunan tempat tinggal penduduk yang terlayani fasilitas pelayanan dasar (Gil, 2015).

Data OSM yang digunakan untuk memetakan *building footprint* adalah data *multipolygon* dengan kolom *tag* '*buildings*' serta beberapa *tags* '*other_tags*' yang berkaitan untuk identifikasi klasifikasi fasilitas. Di Kota Semarang, setidaknya ada 67 jenis fitur pada kolom *tags* '*buildings*' yang kemudian dilakukan reklasifikasi menjadi 4 kelas yakni pendidikan, kesehatan, perumahan dan lainnya. Setiap kelas kemudian dilakukan klasifikasi kembali untuk mendetailkan jenis fasilitas dengan mengekstrak data dari *tags* '*other_tags*' dan *tags* '*name*' untuk menghasilkan subkelas dan status. Rincian mengenai reklasifikasi dapat dilihat pada tabel 2 dan tabel 3.

Tabel 2 Jenis-Jenis Atribut Pada *Tags* '*buildings*' yang Dilakukan Reklasifikasi

<i>Buildings</i>	Reklasifikasi
aerodrome	Lainnya
apartments	Perumahan
atm	Lainnya
bank	Lainnya
bus_station	Lainnya
café	Lainnya
car_repair	Lainnya
car_shop	Lainnya
church	Lainnya
clinic	Kesehatan
clothes	Lainnya
college	Pendidikan
commercial	Lainnya
community_group_office	Lainnya
construction	Lainnya
convenience	Lainnya
courthouse	Lainnya
doctors	Kesehatan
dormitory	Perumahan
ferry_terminal	Lainnya
fire_station	Kebakaran
furniture	Lainnya
government_office	Lainnya
governor_office	Lainnya
guest_house	Perumahan
home	Perumahan
hospital	Kesehatan
hotel	Lainnya
house	Perumahan
hut	Lainnya
industrial	Lainnya
kindergarten	Pendidikan
library	Lainnya

Buildings	Reklasifikasi
mall	Lainnya
marketplace	Lainnya
mosque	Lainnya
motorcycle_repair	Lainnya
motorcycle_shop	Lainnya
museum	Lainnya
office	Lainnya
pharmacy	Lainnya
police	Polisi
post_office	Lainnya
power_plant	Lainnya
power_substation	Lainnya
prison	Lainnya
public	Lainnya
pumping_station	Lainnya
residential	Perumahan
restaurant	Lainnya
retail	Lainnya
roof	Lainnya
school	Pendidikan
shop	Lainnya
social_facility	Lainnya
sports_centre	Lainnya
stadium	Lainnya
stilt_house	Lainnya
subdistrict_office	Lainnya
supermarket	Lainnya
temple	Lainnya
townhall	Lainnya
train_station	Lainnya
university	Pendidikan
village_office	Lainnya
warehouse	Lainnya
yes	Lainnya; Perumahan

Tabel 3. Reklasifikasi *tags* 'buildings'

Kelas	Subkelas
Pendidikan	Sekolah Dasar
	Sekolah Menengah Pertama
	Sekolah Menengah Atas
	Sekolah Menengah Kejuruan
	Pendidikan Lainnya
Kesehatan	Balai Kesehatan Ibu & Anak
	Puskesmas
	Kesehatan lainnya
Perumahan	Apartemen
	Asrama-Kos
	Rumah
	Terduga Rumah
Lainnya	Transportasi
	Kuangan
	Komersial
	Publik
	Industri
	Unclassified

Total ada 495.757 unit bangunan yang terpetakan pada *big data* spasial OSM di Kota Semarang dengan rincian 4.702 unit pada kelas pendidikan, 644 unit pada kelas kesehatan, 475.753 unit pada kelas perumahan dan 14.658 unit pada kelas bangunan lainnya.

Setiap bangunan ini kemudian dihitung angka okupasi penduduk per bangunan o_x dengan rumus sebagai berikut:

$$(1) \quad o_x = \left(\frac{\sum p_x}{\sum b_x} \right)$$

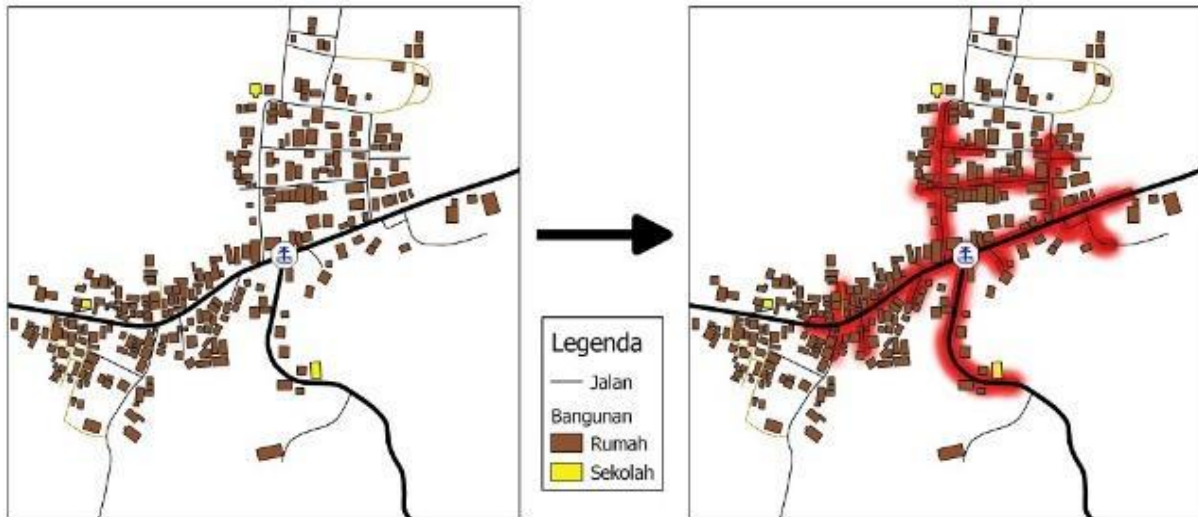
Data kependudukan yang digunakan bersumber dari data jumlah penduduk di setiap kelurahan yang dikeluarkan oleh Dinas Kependudukan dan Catatan Sipil Kota Semarang untuk tahun 2019.

Service Coverage Analysis

Identifikasi keterjangkauan lokasi menggunakan *service coverage analysis* digunakan untuk memetakan lokasi-lokasi yang memiliki aksesibilitas baik maupun buruk (Sun, *et al.*, 2019). *Service coverage analysis* merupakan salah satu *tool* pada Sistem Informasi Geografis dengan fungsi melakukan kalkulasi rute jaringan yang dapat ditempuh pada suatu lokasi fasilitas tertentu berdasarkan jarak maupun waktu yang telah ditentukan (Vu, *et al.*, 2020). Kondisi aksesibilitas menuju fasilitas pelayanan publik sangat dipengaruhi oleh jumlah dan sebaran fasilitas tersebut. Dengan beragamnya sebaran lokasi tempat tinggal penduduk, *supply-demand* akan fasilitas publik seringkali beragam, sehingga membutuhkan pemetaan secara khusus untuk memetakan kebutuhan akan fasilitas pelayanan ini dengan memperhitungkan aksesibilitasnya (Tao, Cheng dan Liu, 2020). Wilayah pelayanan yang dipetakan pada penelitian ini dilakukan menggunakan *software* QGIS, khususnya dengan *geoprocessing tool* 'Iso-Area Algorithms' pada plugin QNEATS3, yang kemudian hasilnya ditampilkan dengan bangunan perumahan penduduk yang telah direklasifikasi pada kelas perumahan sesuai hasil analisis *building footprints*. Jumlah

bangunan perumahan b_x yang bertampalan dengan hasil *service coverage* ini kemudian dikalikan dengan angka okupasi bangunan o_x sehingga menghasilkan angka pelayanan total

s_x . Hasilnya dijadikan perhitungan yang merepresentasikan aksesibilitas fasilitas pelayanan.



Gambar 2. Skema jumlah bangunan rumah penduduk yang terlayani fasilitas publik dengan *service coverage analysis*

$$(2) \quad \Sigma s_x = (\Sigma b_x \times \Sigma o_x)$$

Asumsi penentuan aksesibilitas diukur menggunakan dua jenis satuan, yaitu jarak tempuh dan waktu tempuh dengan kendaraan tertentu. Aktivitas manusia pada mobilitas sedang memiliki kecepatan berjalan 4,8 km/jam dan kecepatan bersepeda 22,5 km/jam (Ainsworth, *et al.*, 2000). Rincian mengenai penentuan aksesibilitas dijabarkan pada tabel 4 dan 5 berikut ini.

Tabel 4 Standar Aksesibilitas Pada Setiap Fasilitas Pelayanan Kesehatan

Fasilitas	Satuan Jarak
BKIA	Kelas I – 800 meter, 10 menit jalan kaki, 2,1 menit bersepeda
	Kelas II – 1,5 km, 18,8 menit jalan kaki, 4 menit bersepeda
Puskesmas	Kelas I – 2,4 km, 30 menit jalan kaki, 6,4 menit bersepeda
	Kelas II – 5 km, 62,5 menit jalan kaki, 13,3 menit bersepeda

Tabel 5 Standar Aksesibilitas Pada Setiap Fasilitas Pelayanan Pendidikan

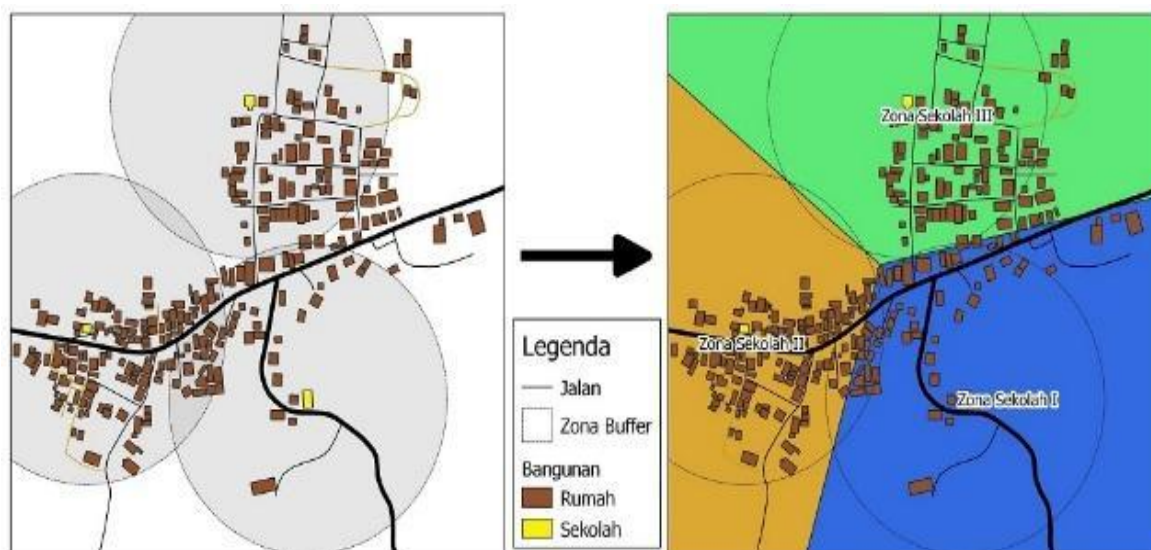
SD	Kelas I – 1,2 km, 15 menit jalan kaki, 3,2 menit bersepeda
	Kelas II – 3 km, 37,5 menit jalan kaki, 8 menit bersepeda
SMP	Kelas I – 1,6 km, 20 menit jalan kaki, 4,3 menit bersepeda
	Kelas II – 6 km, 75 menit jalan kaki, 16 menit bersepeda
SMA	Kelas I – 2,4 km, 30 menit jalan kaki, 6,4 menit bersepeda
	Kelas II – 9 km, 112,5 menit jalan kaki, 24 menit bersepeda
SMK	Kelas I – 2,4 km, 30 menit jalan kaki, 6,4 menit bersepeda
	Kelas II – 9 km, 112,5 menit jalan kaki, 24 menit bersepeda

Diagram Voronoi

Diagram Voronoi digunakan untuk mengidentifikasi beberapa permasalahan geometris seperti penentuan suatu titik lokasi pada gabungan dari k lingkaran jangkauan, menemukan komponen yang terhubung dengan k lingkaran jangkauan, dan menemukan kontur k gabungan lingkaran jangkauan (Imai, Iri dan Murota, 1985).

Dalam memetakan kapasitas akses dan jangkauan fasilitas pelayanan dasar pada aplikasinya, Diagram Voronoi ini berfungsi untuk membagi bidang-bidang wilayah, sehingga menghasilkan jarak terdekat menuju titik-titik fasilitas pelayanan dasar tersebut (Cui, *et al.*, 2021). Dengan demikian, tujuan digunakannya Diagram Voronoi dalam memetakan jangkauan suatu fasilitas

pelayanan dasar yakni untuk mengoptimalkan lokasi pelayanan fasilitas terhadap masyarakat pengguna fasilitas (Wu, *et al.*, 2021). Penggunaan metode Diagram Voronoi ini adalah untuk mengidentifikasi tingkat okupasi kapasitas fasilitas-fasilitas pendidikan maupun kesehatan terdekat yang dapat diakses oleh masyarakat di Kota Semarang.



Gambar 3. Zonasi wilayah dengan fasilitas terdekat menggunakan diagram voronoi

Diagram Voronoi ini dilakukan pada setiap tingkatan fasilitas, sehingga aksesibilitas yang dihasilkan diukur berdasarkan jenis pelayanan yang setara. Variabel X diasumsikan sebagai ruang metrik dengan fungsi jarak d . Variabel K merupakan sekumpulan indeks dengan $(P_k)_{k \in K}$ berupa koleksi tersusun. Area pada Diagram Voronoi R_k berasosiasi dengan lokasi fasilitas P_k , di mana j merupakan indeks yang berbeda dengan k , sehingga menghasilkan algoritma sebagai berikut.

$$(3) \quad R_k = \{x \in X \mid d(x, P_k) \leq d(x, P_j) \forall j \neq k\}$$

Sebagai contoh, fasilitas pendidikan yang paling mendasar, yaitu sebaran lokasi bangunan sekolah setiap SD Negeri yang dikelola oleh pemerintah dihitung untuk menghasilkan wilayah jangkauan (A), lokasi SD Negeri terdekat yang dapat ditempuh dari

setiap bangunan rumah penduduk b_x . Dengan demikian, lokasi-lokasi tempat tinggal masyarakat dapat diidentifikasi, yakni lokasi-lokasi mana saja yang memiliki akses jarak yang baik dan lokasi-lokasi mana saja yang memiliki akses jarak yang buruk untuk menuju fasilitas pelayanan SD Negeri terdekat. Gambar 3 merepresentasikan penggunaan Diagram Voronoi untuk memetakan akses pelayanan terdekat. Kapasitas pelayanan pada fasilitas yang dianalisis menggunakan Diagram Voronoi ini dihitung menggunakan rumus berikut.

$$(4) \quad A_k = \frac{(\sum b_k \times o_k)}{R_k}$$

Hasil perhitungan ini akan menghasilkan wilayah jangkauan kapasitas di setiap fasilitas pelayanan yang ada di Kota Semarang dalam melayani masyarakat Kota Semarang.

Matriks *Origin-Destination*

Analisis matriks *origin-destination* atau yang dikenal sebagai matriks OD digunakan untuk mengimplementasikan mobilitas penduduk dalam mengakses fasilitas pelayanan terdekat. Matriks OD ini dapat dimanfaatkan untuk menentukan perjalanan penduduk dari tempat tinggal (o_p) menuju ke fasilitas pelayanan pendidikan dan kesehatan terdekat (d_q). Nilai distribusi perjalanan ini diukur menggunakan model gravitasi dan dinyatakan dengan notasi g_{pq} , di mana $(p, q) \in P \times Q$. Satuan pengali berupa meter (u) digunakan sebagai *constraint* pengukuran jarak dan dihitung dengan memperhitungkan faktor penghalang yang dinotasikan sebagai $f(\pi_{pq})$. Algoritma seluruhnya dinyatakan sebagai berikut.

$$(5) \quad g_{pq} = u o_p d_q f(\pi_{pq})$$

Model gravitasi ini mengacu pada hukum gravitasi Newton. Hasil pengukuran kemudian dipetakan dalam bentuk rute perjalanan dari dan menuju fasilitas pelayanan di setiap jumlah bangunan rumah penduduk. Hasil plot rute ini kemudian dihitung pada setiap penduduk yang melakukan mobilitas, sehingga menghasilkan angka kepadatan lalu lintas dengan algoritma berikut.

$$(6) \quad t_{pq} = (N_{pq} \times g_{pq})$$

Analisis matriks ini akan menghasilkan jarak dari titik rumah penduduk menuju setiap fasilitas yang ada di Kota Semarang. Nilai jarak yang diambil dalam analisis ini adalah jarak menuju fasilitas terdekat yang dipetakan rutanya dalam peta, sehingga menghasilkan nilai arus mobilitas menuju fasilitas pendidikan dan kesehatan terdekat di setiap tingkatan hierarki fasilitasnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Aksesibilitas Fasilitas Pendidikan

Hasil pemetaan aksesibilitas pelayanan dasar pendidikan di Kota Semarang menunjukkan bahwa beberapa fasilitas

tertentu kurang terjangkau oleh penduduk. Mengacu pada Tabel 6 menunjukkan bahwa fasilitas pendidikan dengan aksesibilitas yang baik adalah Sekolah Dasar (SD). Sebaran lokasi SD di Kota Semarang memiliki estimasi jangkauan sebanyak 1.551.139 jiwa penduduk atau sebesar 91,81% dari total penduduk Kota Semarang pada rentang jarak fisik 1.200 meter, 15 menit jalan kaki atau 3,2 menit bersepeda. Fasilitas dengan aksesibilitas yang buruk adalah Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Sebaran lokasi SMK cenderung memusat di sekitar pusat Kota Semarang sehingga penduduk yang tinggal di pinggiran kota harus menempuh jarak yang cukup jauh untuk dapat mengakses fasilitas tersebut (lihat gambar L-4 pada lampiran I). Hasil estimasi menunjukkan bahwa fasilitas SMK ini hanya menjangkau penduduk sebanyak 449.766 jiwa dengan nilai persentase 26,62% dari total penduduk pada rentang jarak fisik 2,4 km, yang dapat dicapai dengan 30 menit berjalan kaki atau 6,4 menit bersepeda. Selain itu, ada sebanyak 979.428 jiwa penduduk (15,41%) yang perlu menempuh lebih dari 9 km, atau setara dengan waktu tempuh selama 112,5 menit dengan berjalan kaki atau 24 menit bersepeda. Ada sebanyak 62,02% dan 53,63% dari total penduduk yang mengakses fasilitas pendidikan SMP dan SMA terdekat pada jarak kelas I, di mana dapat diartikan bahwa hampir separuh penduduk Kota Semarang dapat menjangkau fasilitas pendidikan dengan berjalan kaki selama 20-30 menit atau bersepeda selama 4,3 - 6,4 menit.

Pembahasan di atas menunjukkan bahwa sebagian besar siswa-siswi SD di Semarang dapat menjangkau sekolah-sekolah terdekat dengan hanya berjalan kaki atau bersepeda dikarenakan jarak tempuh yang dekat dengan tempat tinggalnya. Hanya separuh dari total siswa-siswi SMP dan SMA di Kota Semarang yang dapat mengakses fasilitas pendidikan dengan jangkauan yang relatif dekat, sedangkan siswa-siswi SMK sebagian besar perlu menempuh perjalanan yang lebih panjang dikarenakan jarak antara

fasilitas dengan tempat tinggalnya yang cukup jauh. Kondisi ini berimbas pada peningkatan volume kendaraan di jalan raya karena sebagian besar siswa-siswi SMK tidak memungkinkan untuk menempuh lokasi sekolah dengan berjalan kaki ataupun bersepeda.

Tabel 6 Jumlah Penduduk Berdasarkan Aksesibilitas Terhadap Fasilitas Pendidikan

Fasilitas	Jarak		N
	I	II	
SD (n)	1.551.139	137.023	1.329
SD (%)	91,81%	8,11%	0,08%
SMP (n)	1.047.901	640.348	1.241
SMP (%)	62,02%	37,90%	0,07%
SMA (n)	906.109	782.524	875
SMA (%)	53,63%	46,32%	0,05%
SMK (n)	449.766	979.428	206.297
SMK (%)	26,62%	57,97%	15,41%

Jangkauan Fasilitas Pendidikan

Mengacu pada Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 534/KPTS/M/2001, standar pelayanan fasilitas permukiman diatur untuk melayani jumlah penduduk tertentu. Hal ini dimaksudkan agar pelayanan fasilitas pelayanan juga memperhatikan tingkat kapasitas fasilitas tersebut, tidak hanya melihat sebarannya saja. Standar fasilitas pendidikan pada Kepmen tersebut dijabarkan pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7 Standar Pelayanan Fasilitas Pendidikan Berdasarkan Kepmen Kimpraswil 534/KPTS/M/2001

Fasilitas Pendidikan	Standar Pelayanan
TK	1.000 jiwa
SD	6.000 jiwa
SMP	25.000 jiwa
SMA/SMK	30.000 jiwa
Perguruan Tinggi	70.000 jiwa

Sebagai contoh, hasil pemetaan jangkauan fasilitas Sekolah Dasar (SD) pada tabel 8 menunjukkan ada sebanyak 36 sekolah yang jauh di bawah kapasitas dan 28 sekolah yang jauh melampaui kapasitas. Kondisi ini menunjukkan bahwa meski lokasi SD tersebar

secara merata secara aksesibilitas, namun faktor kepadatan penduduk juga perlu dipertimbangkan dalam penentuan lokasi SD. SD yang terletak pada wilayah permukiman padat penduduk cenderung akan melebihi kapasitas sedangkan SD yang terletak di wilayah dengan kepadatan penduduk rendah akan cenderung di bawah kapasitas.

Tabel 8. Jumlah Penduduk yang Terjangkau Pada Zona Aksesibilitas Kelas I dan II

Jenis Sekolah	Jangkauan (jiwa)	Jumlah Sekolah
SD	<2.000	36
	2.000-6.000	170
	6.000-10.000	84
	>10.000	28
SMP	<10.000	1
	10.000-25.000	14
	25.000-40.000	20
	>40.000	15
SMA	<15.000	-
	15.000-30.000	-
	30.000-45.000	2
	>45.000	16
SMK	<15.000	4
	15.000-30.000	-
	30.000-45.000	2
	>45.000	6

Hasil estimasi jangkauan ini teridentifikasi bahwa beberapa sekolah pada tabel 9 termasuk ke dalam sekolah dengan kapasitas yang melebihi standar. Banyaknya sekolah yang melebihi kapasitas jangkauan ini perlu menjadi catatan Pemerintah Kota Semarang (level TK hingga SMP) dan Pemerintah Provinsi Jawa Tengah (level SMA/SMK) untuk mengakomodir kelebihan kapasitas tersebut, seperti menambah jumlah tenaga pendidik dan menambah ruang pembelajaran. Di sisi lain, kelebihan kapasitas ini akan mendorong penduduk yang tidak mendapatkan pelayanan optimal akan bermobilitas ke lokasi pelayanan lainnya untuk mendapatkan pelayanan.

Tabel 9 Daftar Sekolah-Sekolah yang Kapasitasnya Melebihi Standar Pelayanan

Sekolah	Jenis	Jangkauan
SD Negeri Tanjung Mas	SD	20.433
SD Negeri Gabahan	SD	17.413
SD Negeri Meteseh	SD	17.319
SD Negeri Bulu Lor	SD	16.643
SD Negeri Tawangmas 01	SD	15.013
SD Negeri Kemijen 06	SD	14.295
SD Negeri Kuningan 03	SD	14.251
SD Negeri Sendangmulyo 01	SD	14.006
SD Negeri Bugangan 3	SD	13.463
SD Negeri Panggung Kidul	SD	13.392
SD Negeri Genuksari 2	SD	13.040
SD Negeri Tambakaji 03	SD	12.792
SD Negeri Kembangarum 03	SD	12.649
SD Negeri Bringin 02	SD	12.518
SD Negeri Sendangmulyo 04	SD	11.866
SD Negeri Gisikdrono 02	SD	11.695
SD Negeri Sendangguwo 01	SD	11.554
SD Negeri Panggung Lor	SD	11.312
SD Negeri Bendan Ngisor	SD	11.136
SD Negeri Sembunharjo 1	SD	11.112
SD Negeri Lemponsari	SD	10.734
SD Negeri Pedurungan Kidul 3	SD	10.683
SD Negeri Karangroto 2	SD	10.595
SD Negeri Sembunharjo 2	SD	10.439
SD Negeri Muktiharjo Lor	SD	10.340
SD Negeri Sambirejo 02	SD	10.231
SD Negeri Sendangmulyo 02	SD	10.094
SMP Negeri 16 Semarang	SMP	83.755
SMP Negeri 19 Semarang	SMP	74.119
SMP Negeri 13 Semarang	SMP	59.566
MTS Negeri 02	SMP	58.885
SMP Negeri 8 Semarang	SMP	56.286
SMP Negeri 34 Semarang	SMP	54.346
SMP Negeri 38	SMP	49.805
SMP Negeri 43 Semarang	SMP	47.255
SMP Negeri 4 Semarang	SMP	46.893
SMP Negeri 25 Semarang	SMP	46.149
SMP Negeri 40 Semarang	SMP	44.073
MTs Negeri 2 Kota Semarang	SMP	43.177
SMP Negeri 33 Semarang	SMP	41.426
SMP Negeri 29 Semarang	SMP	41.007
SMA Negeri 11 Semarang	SMA	174.149
SMA Negeri 1 Semarang	SMA	144.735
SMA Negeri 10 Semarang	SMA	141.059
MA Negeri 2 Semarang	SMA	128.717
SMA Negeri 7 Semarang	SMA	128.001
SMA Negeri 06 Semarang	SMA	121.436
SMA Negeri 15 Semarang	SMA	108.383
SMA Negeri 5 Semarang	SMA	104.754
SMA Negeri 9 Semarang	SMA	101.074
SMA Negeri 8 Semarang	SMA	95.059
SMA Negeri 4 Semarang	SMA	73.771
SMA Negeri 14 Semarang	SMA	66.656
SMA Negeri 2 Semarang	SMA	58.802
MAN 1 Semarang	SMA	56.914
SMA Negeri 12 Semarang	SMA	55.057
SMA Negeri 13 Semarang	SMA	54.033
SMK Negeri 9 Semarang	SMK	380.893
SMK Negeri 1 Semarang	SMK	297.365

Sekolah	Jenis	Jangkauan
SMK Negeri 11 Semarang	SMK	195.239
SMK Negeri 10 Semarang	SMK	158.591
SMK Negeri Jawa Tengah	SMK	154.942
SMK Negeri 4 Semarang	SMK	132.801

Aksesibilitas Fasilitas Kesehatan

Hasil pemetaan aksesibilitas pelayanan fasilitas kesehatan di Kota Semarang menunjukkan bahwa hanya fasilitas Pusat Kesehatan Masyarakat (Puskesmas/PKM) yang memiliki akses merata, sedangkan untuk Balai Kesehatan Ibu dan Anak (BKIA) masih menyisakan kawasan-kawasan tempat tinggal yang belum terjangkau oleh fasilitas ini. Hasil estimasi pada tabel 10 menunjukkan bahwa sebanyak 347.682 jiwa atau 20,58% penduduk di Kota Semarang tidak mendapatkan akses BKIA dengan baik. Kondisi ini berbanding terbalik dengan pelayanan Puskesmas yang hanya 862 jiwa penduduk atau sekitar 0,05% dari total penduduk yang terestimasi tidak memiliki akses yang baik menuju ke Puskesmas. Terdapatnya 20% penduduk yang tidak terlayani BKIA disebabkan oleh faktor data lokasi fasilitas tersebut tidak teridentifikasi secara lengkap pada *database OpenStreetMap*.

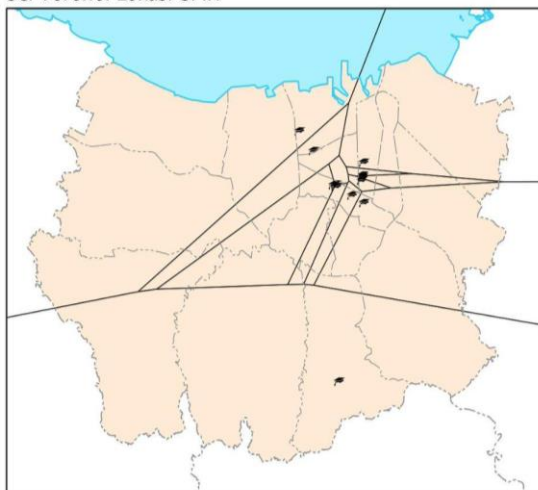
Tabel 10 Jumlah Penduduk Berdasarkan Aksesibilitas Terhadap Fasilitas Kesehatan

Fasilitas	Jarak		
	I	II	N
BKIA (n)	802.775	539.034	347.682
BKIA (%)	47,52%	31,91%	20,58%
PKM (n)	1.580.879	107.750	862
PKM (%)	93,57%	6,38%	0,05%

Teridentifikasi bahwa rendahnya tingkat aksesibilitas fasilitas BKIA ini diakibatkan oleh jumlah posyandu di Kota Semarang yang relatif kurang. Hanya terdapat 175 BKIA yang teridentifikasi titik lokasinya di Kota Semarang. Hal ini menunjukkan bahwa OSM di Kota Semarang belum memetakan fasilitas ini secara lengkap. Kondisi ini juga dapat menjadi pertimbangan bagi Pemerintah Kota Semarang untuk

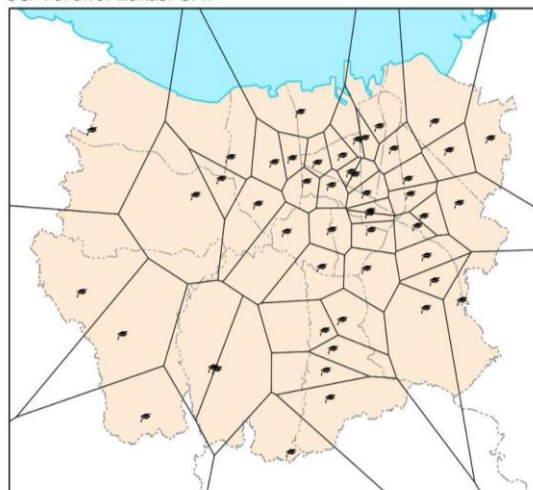
menginventarisasi kembali jumlah BKIA agar dapat dianalisis lebih lanjut mengenai

Sel Voronoi Lokasi SMK



aksesibilitas dan jangkauan fasilitas pelayanan ini.

Sel Voronoi Lokasi SMP



Gambar 4. Bentuk sel voronoi pada pola sebaran lokasi fasilitas yang berbeda

Jangkauan Fasilitas Kesehatan

Standar pelayanan fasilitas kesehatan di Kota Semarang diukur menggunakan pedoman pada Keputusan Menteri Permukiman dan Prasarana Wilayah Nomor 534/KPTS/M/2001 tentang Pedoman Standar Pelayanan Minimal: Pedoman Penentuan Standar Pelayanan Minimal Bidang Penataan Ruang, Perumahan dan Permukiman dan Pekerjaan Umum. Standar fasilitas kesehatan pada Kepmen tersebut dijabarkan pada tabel 11 sebagai berikut.

Tabel 11 Standar Pelayanan Fasilitas Kesehatan Berdasarkan Kepmen Kimpraswil 534/KPTS/M/2001

Fasilitas Pendidikan	Standar Pelayanan
Balai Pengobatan	3.000 jiwa
Balai Kesehatan Ibu dan Anak/RS Bersalin	10.000-30.000 jiwa
Puskesmas	120.000 jiwa
Rumah Sakit	240.000 jiwa

Beberapa fasilitas BKIA dan Puskesmas yang dipetakan menunjukkan bahwa fasilitas-fasilitas kesehatan di Kota Semarang kapasitasnya masih efektif. Dari semua fasilitas, baik BKIA maupun Puskesmas, hanya ada 1 fasilitas saja yang melebihi kapasitasnya yaitu Posyandu Wijaya Kusuma

III yang ada di Kelurahan Jatingaleh, Kecamatan Candisari. Kelebihan kapasitas ini dikarenakan pada area tersebut tidak banyak terpetakan lokasi BKIA pada *database* OSM. Di sisi lain, nilai ini menunjukkan bahwa pelayanan kesehatan sudah tersebar secara merata.

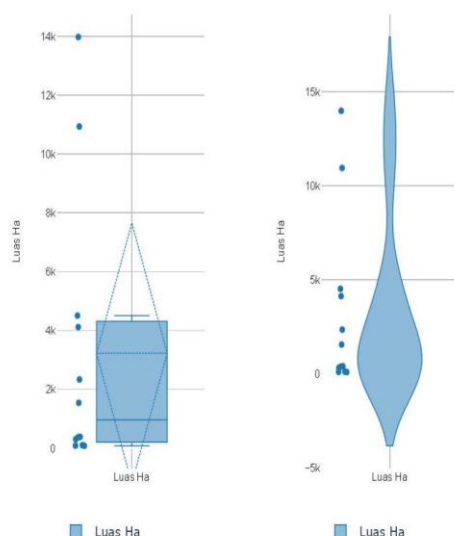
Tabel 12 Daftar Fasilitas Kesehatan yang Kapasitasnya Melebihi Standar Pelayanan

Faskes	Jenis	Jangkauan
Posyandu Wijaya Kusuma III	BKIA	44.703

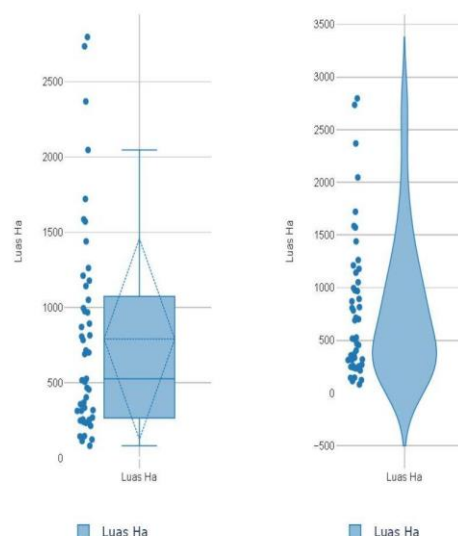
Topologi Jaringan Akses Fasilitas

Analisis ini dilakukan untuk mengukur mobilitas penduduk menuju fasilitas pelayanan pendidikan dan kesehatan terdekat. Hasil pemodelan dengan metode *service coverage area* dan Diagram Voronoi menunjukkan bahwa semakin mengumpulnya suatu fasilitas di kawasan tertentu, akan cenderung menciptakan ketimpangan terhadap jangkauan pelayanan. Terlihat pada gambar 4, lokasi SMP tersebar secara merata dibandingkan lokasi SMK yang mengumpul di sekitar pusat kota. Kondisi ini menyebabkan luasan area pelayanan SMP menjadi lebih merata dibandingkan area pelayanan SMK yang timpang antar fasilitasnya.

Statistik Luasan Sel Voronoi Lokasi SMK



Statistik Luasan Sel Voronoi Lokasi SMP



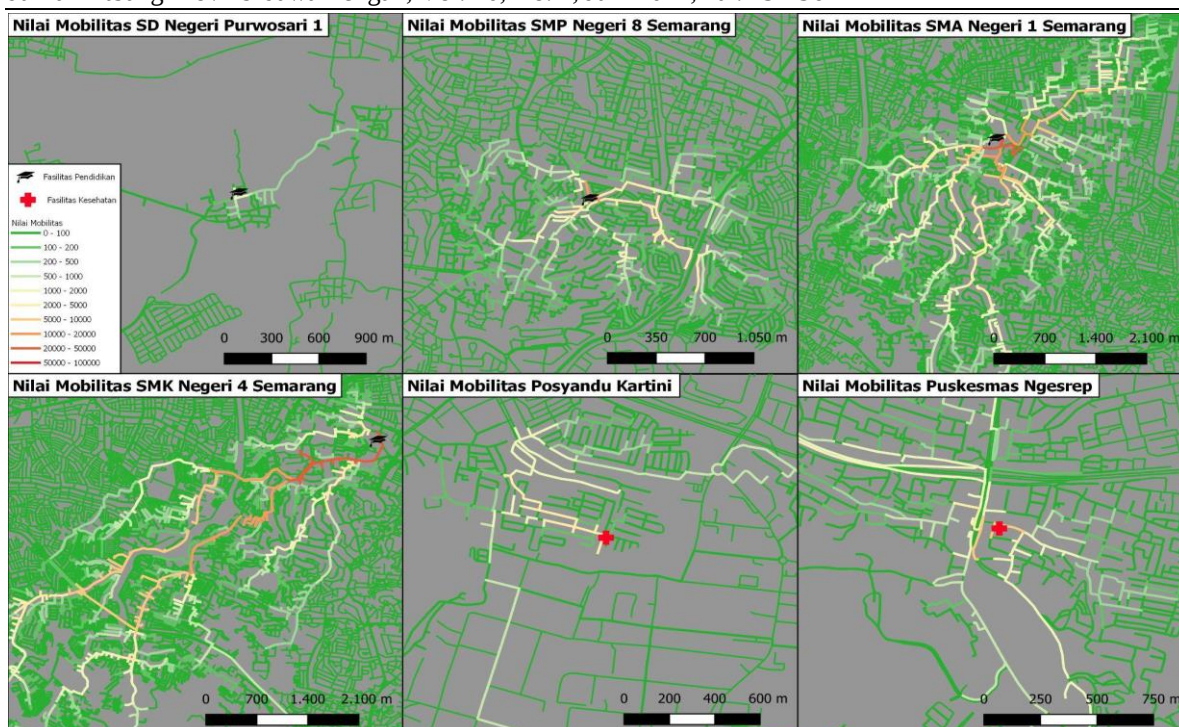
Gambar 5. Visualisasi plot luasan sel voronoi lokasi SMP dan SMK

Tabel 13 Nilai Statistik Sel Voronoi
SMP & SMK

Lokasi	Parameter	Nilai
SMP (luas ha)	Max	2.797,04
	Min	81,04
	Mean	790,85
	St Dev	673,68
SMK (luas ha)	Max	13.978,70
	Min	81,33
	Mean	3.229,34
	St Dev	4.626,03

Pada kasus lokasi SMK yang terpusat di suatu kawasan, area pelayanan yang tergambarkan dengan sel-sel Diagram Voronoi menghasilkan ketimpangan yang cukup lebar. Terlihat nilai statistik pada tabel 13 dan gambar 5 menunjukkan bahwa nilai luas sel area pelayanan SMK memiliki perbedaan luas yang sangat signifikan. Sebagai perbandingan, SMK Negeri 2 Semarang hanya melayani area seluas 81,33 hektar sedangkan SMK Negeri 11 Semarang

harus melayani area seluas 13.978,70. Ini artinya penduduk perlu melakukan mobilitas yang cukup jauh jika ingin menuju fasilitas SMK terdekat, terutama penduduk yang lokasi rumahnya jauh dari area pemusatan fasilitas SMK. Kondisi ini berbeda dengan lokasi SMP yang tersebar lebih merata. Hanya SMP Negeri 16 Semarang dan SMP Negeri 28 Semarang yang melayani luasan area lebih dari 2.000 hektar. Luas area sel pelayanan SMP lainnya berkisar antara 100-2.000 hektar. Kondisi ini menghasilkan sebuah kemungkinan bahwa siswa-siswi SMK memerlukan kendaraan yang lebih masif untuk menuju lokasi sekolah dikarenakan jangkauan pelayanannya yang terlalu luas. Sebaran lokasi SMK yang terlalu memusat ini juga akan meningkatkan angka mobilitas penduduk menuju fasilitas tersebut, yang dapat berpengaruh pada peningkatan volume perjalanan dari dan menuju lokasi SMK.



Gambar 6. Peta nilai mobilitas penduduk dalam mengakses setiap fasilitas pendidikan dan kesehatan di Kota Semarang

Gambar 6 menunjukkan bahwa fasilitas pelayanan dengan jangkauan yang luas, seperti SMA dan SMK, menyumbang nilai mobilitas yang tinggi. Hal ini dapat dilihat berdasarkan kondisi lalu lintas pada jaringan jalan dari dan menuju SMK Negeri 4 Semarang pada kelas mobilitas yang berwarna kuning hingga merah jauh lebih panjang dibandingkan dengan fasilitas-fasilitas lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa jangkauan area pelayanan yang semakin luas akan meningkatkan nilai mobilitas penduduk yang efeknya mampu menambah kemacetan pada ruas-ruas jalan tertentu. Berbeda dengan kasus nilai mobilitas SMP Negeri 8 Semarang misalnya, yang mana jaringan jalan dengan nilai mobilitas tinggi tidak panjang seperti pada kasus SMK Negeri 4 Semarang. Distribusi fasilitas yang tidak tersebar secara merata semacam ini perlu diantisipasi agar tingkat mobilitas penduduk dalam mengakses fasilitas tersebut tidak tinggi, mengingat tingginya nilai mobilitas berimbas pada meningkatnya kemacetan lalu lintas di Kota Semarang.

SIMPULAN

Tinjauan spasial terhadap fasilitas pendidikan dan kesehatan di Kota Semarang dapat digunakan untuk mengevaluasi jarak dan kapasitas fasilitas pelayanan ini. Dari penelitian ini dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Lokasi fasilitas SMK memiliki lokasi sebaran yang tidak optimal dalam melayani seluruh permukiman penduduk di Kota Semarang. Lebih dari 15% penduduk memerlukan mobilitas lebih dari 9 km untuk menuju SMK. Kondisi ini berpotensi meningkatkan volume perjalanan yang berpengaruh pada peningkatan jumlah kemacetan di ruas jalan tertentu.
2. Terdapat 65 fasilitas pendidikan yang melebihi kapasitas setelah dianalisis menggunakan analisis jangkauan. Kondisi ini dapat mendorong masyarakat sekitar lokasi fasilitas tidak mendapatkan pelayanan yang optimal dan harus menuju ke lokasi fasilitas lain yang lebih jauh.

3. Fasilitas kesehatan relatif memiliki tingkat jangkauan pelayanan yang lebih merata karena lokasi puskesmas yang tersebar di Kota Semarang. Terdapat 20% lebih penduduk yang tidak terlayani BKIA pada studi ini yang diakibatkan oleh ketersediaan data lokasi BKIA yang kurang lengkap.
4. Pemusatan lokasi fasilitas pada zona-zona tertentu menyumbang kepadatan jalan yang tinggi. Efeknya adalah terjadinya penumpukan lalu lintas di ruas-ruas tertentu pada akses jalan menuju lokasi fasilitas pelayanan.

KELEMAHAN

Penelitian ini memiliki beberapa batasan, dengan rincian sebagai berikut.

1. Hasil analisis ini mengasumsikan bahwa setiap petak lahan bangunan permukiman membutuhkan fasilitas pendidikan berupa SD, SMP, SMA, dan SMK. Data penduduk yang digunakan adalah jumlah total penduduk sehingga studi ini berasumsi bahwa penduduk di semua golongan umur membutuhkan akses menuju fasilitas-fasilitas pendidikan tersebut. Pada kenyataannya, fasilitas SD hanya dibutuhkan oleh penduduk usia 6-12 tahun. Fasilitas SMP dibutuhkan oleh penduduk usia 12-15 tahun dan fasilitas SMA/SMK dibutuhkan oleh penduduk usia 15-18 tahun. Analisis ini akan lebih tepat jika menggunakan data jumlah penduduk yang digolongkan berdasarkan usia-usia sekolah di setiap unit kelurahan untuk dianalisis.
2. Proses klasifikasi *building footprints* pada data *buildings* OSM mengalami beberapa kendala, terutama masih banyaknya petak-petak bangunan di Kota Semarang yang belum teridentifikasi penggunaan lahannya secara spesifik. Petak-petak bangunan dengan *tag* 'yes' diasumsikan sebagai rumah penduduk jika ukuran luasnya kurang dari 400 meter persegi, sedangkan sisanya diklasifikasikan sebagai kelas lainnya.

Dengan demikian, identifikasi titik-titik lokasi permukiman penduduk pada studi ini ada kemungkinan mengalami *miss classification*, yang seharusnya bukan rumah penduduk tetapi dihitung sebagai rumah penduduk dan sebaliknya.

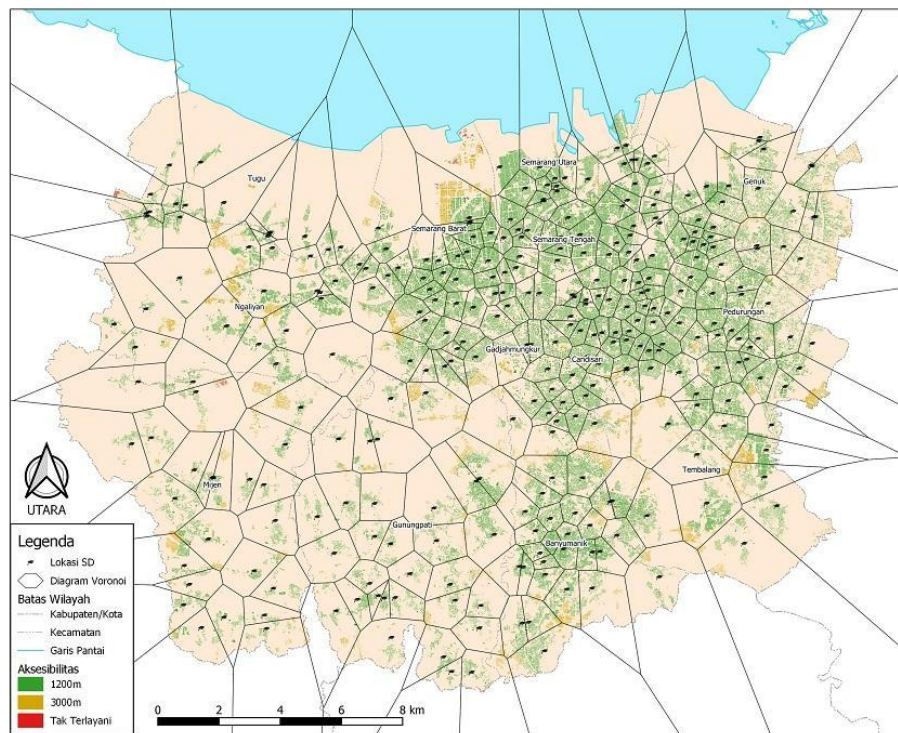
3. Algoritma *Service Coverage Area* dan matriks OD pada penelitian ini tidak menggunakan *rule-based network analysis*. Semua kelas jalan pada data OSM diasumsikan memiliki bobot yang sama, baik itu kelas jalan primer, jalan sekunder, jalan perumahan, dst. Sehingga jaringan jalan arteri dengan jalan-jalan kecil memiliki bobot yang sama dalam analisis ini. Perhitungan ini berpengaruh pada nilai volume perjalanan di kelas jalan yang lebih rendah tergolong tinggi sehingga banyak jaringan jalan kecil yang dinyatakan memiliki tingkat kemacetan yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

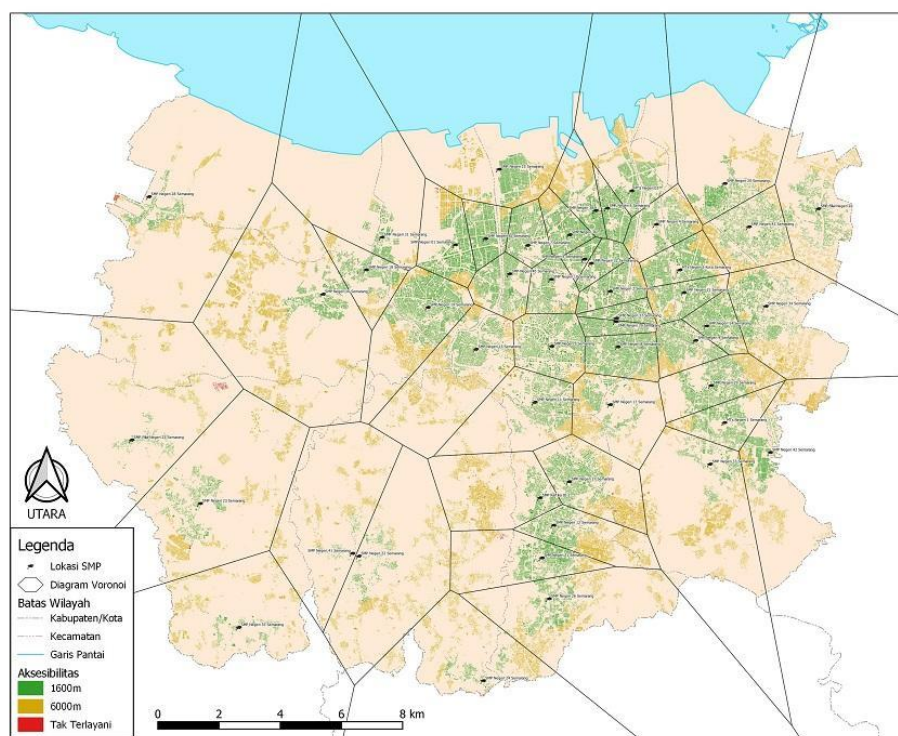
- Ainsworth, BE., WL. Haskell, MC. Whitt-Glover, ML. Irwin, AM. Swartz, SJ. Strath, WL. O'Brien. 2000. "Compendium of Physical Activities: an Update of Activity Codes and MET Intensities." *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (9 Suppl): S498-S504. doi:10.1097/00005768-200009001-00009.
- Arsanjani, JJ., A. Zipf, P. Mooney, dan M. Helbich. 2015. *OpenStreetMap in GIScience: Experiences, Research, and Applications*. London: Springer. doi:10.1007/978-3-319-14280-7.
- Cui, H., L. Wu, S. Hu, dan R. Lu. 2021. "Measuring the Service Capacity of Public Facilities Based on a Dynamic Voronoi Diagram." *Remote Sens* 13 (1027). doi:https://doi.org/10.3390/rs13051027.
- Fan, H., A. Zipf, Q. Fu, dan P. Neis. 2014. "Quality assessment for building footprints data on OpenStreetMap." *International Journal of*

- Geographical Information Science* 28:4: 700-719.
doi:10.1080/13658816.2013.867495.
- Farahani, RZ., M. Hekmatfar, B. Fahimnia, dan N. Kazemzadeh. 2014. "Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications." *Computers & Industrial Engineering* (68): 104-117.
doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2013.12.005.
- Fik, TJ., dan GF. Mulligan. 1990. "Spatial flows and competing central places: towards a general theory of hierarchical interaction." *Environment and Planning A* 527-549.
- Gil, J. 2015. "Building a Multimodal Urban Network Model Using OpenStreetMap Data for the Analysis of Sustainable Accessibility." In *OpenStreetMap in GIScience*, 229-251. Springer, Cham.
doi:10.1007/978-3-319-14280-7_12.
- Hasanah, MY., CSAJT. Pauh, dan K. Singingi. 2017. "Evaluasi Program Wajib Belajar 12 Tahun Pemerintah Daerah Kota Yogyakarta." *Jurnal Akuntabilitas Manajemen Pendidikan* Volume 5 (2): 228-239.
- Imai, H., M. Iri, dan K. Murota. 1985. "Voronoi Diagram in the Laguerre Geometry and Its Applications." *Society for Industrial and Applied Mathematics* 14 (1): 93-105.
- Luxen, D., dan C. Vetter. 2011. "Real-Time Routing with OpenStreetMap data." *GIS '11: Proceedings of the 19th ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*. New York: Association for Computing Machinery. 513-516.
doi:https://doi.org/10.1145/2093973.2094062.
- Saputra, M., M. Lenie, F. Rahman, dan D. Rosadi. 2015. "Program Jaminan Kesehatan Nasional dari Aspek Sumber Daya Manusia Pelaksana Pelayanan Kesehatan." *Jurnal Kesehatan Masyarakat* 1 (11): 32-42.
- Tao, Z., Y. Cheng, dan J. Liu. 2020. "Hierarchical two-step floating catchment area (2SFCA) method: measuring the spatial accessibility to hierarchical healthcare facilities in Shenzhen, China." *International Journal for Equity in Health* 19:164: 1-16. doi:https://doi.org/10.1186/s12939-020-01280-7.
- Vu, DM., J. Stoler, AL. Rothman, dan TC. Chang. 2020. "A Service Coverage Analysis of Primary Congenital Glaucoma Care Across the United States." *American Journal of Ophthalmology* 112-119.
doi:https://doi.org/10.1016/j.ajo.2020.12.009.
- Wu, J., J. Yuan, Y. Ruan, F. Qian, dan H. Meng. 2021. "Optimal Planning for Energy Stations and Networks in Distributed Energy Systems Based on Voronoi Diagram and Load Characteristics." *Appl. Sci* 11 (7526).
doi:https://doi.org/10.3390/app11167526.
- Yasenovskiy, V., dan J. Hodgson. 2007. "Hierarchical Location-Allocation with Spatial Choice Interaction Modeling." *Annals of the Association of American Geographers* 97 (3): 496-511.
- Yu, J., Y. Liu, GL. Chang, dan XG. Yang. 2008. "Cluster-Based Optimization of Urban Transit Hub Locations: Methodology and Case Study in China." *Journal of the Transportation Research Board* (2042): 109-116.
doi:10.3141/2042-12.
- Yu, J., Y. Liu, GL. Chang, W. Ma, dan X. Yang. 2009. "Cluster-Based Hierarchical Model for Urban Transit Hub Location Planning: Formulation, Solution, and Case Study." *Journal of the Transportation Research Board* No. 2112: 8-16. doi:10.3141/2112-02.

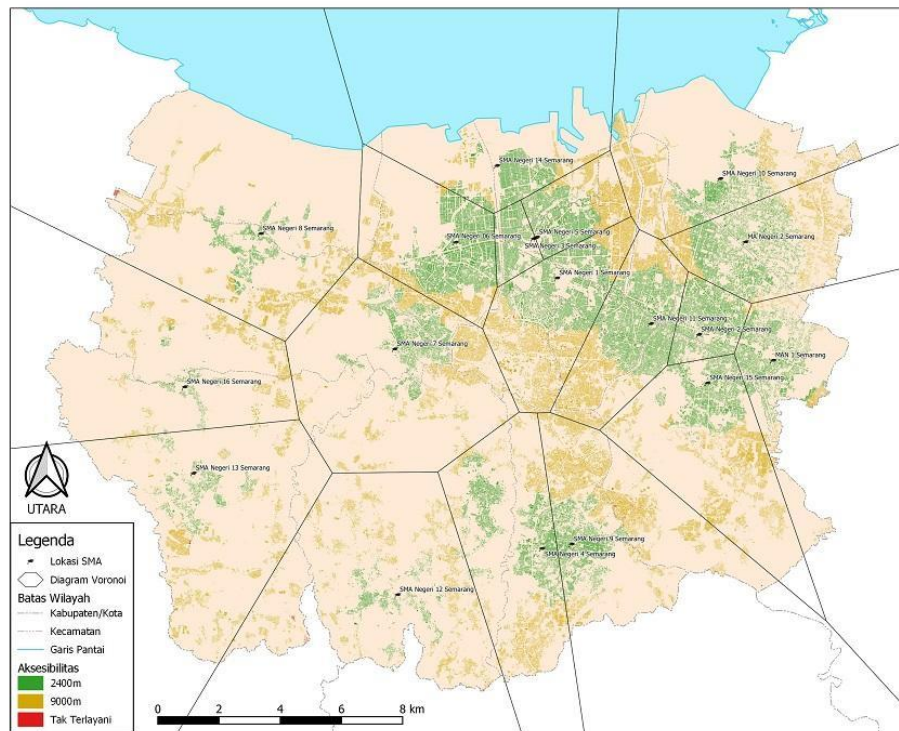
Lampiran I – Peta-peta Aksesibilitas dan Jangkauan Fasilitas Pendidikan



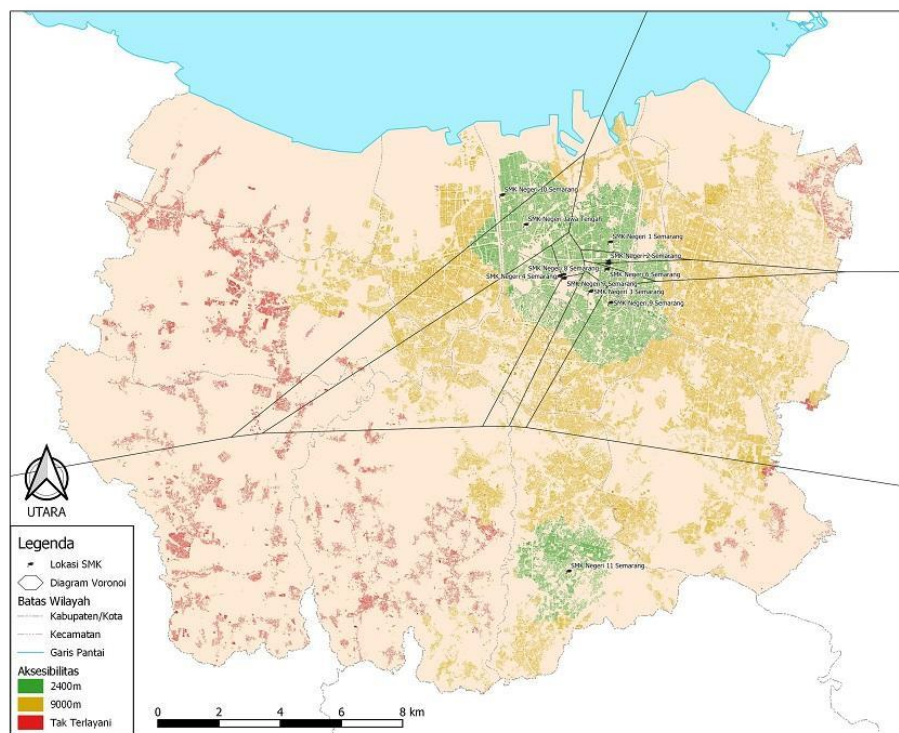
Gambar L-1 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Sekolah Dasar di Kota Semarang



Gambar L-2 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Sekolah Menengah Pertama di Kota Semarang

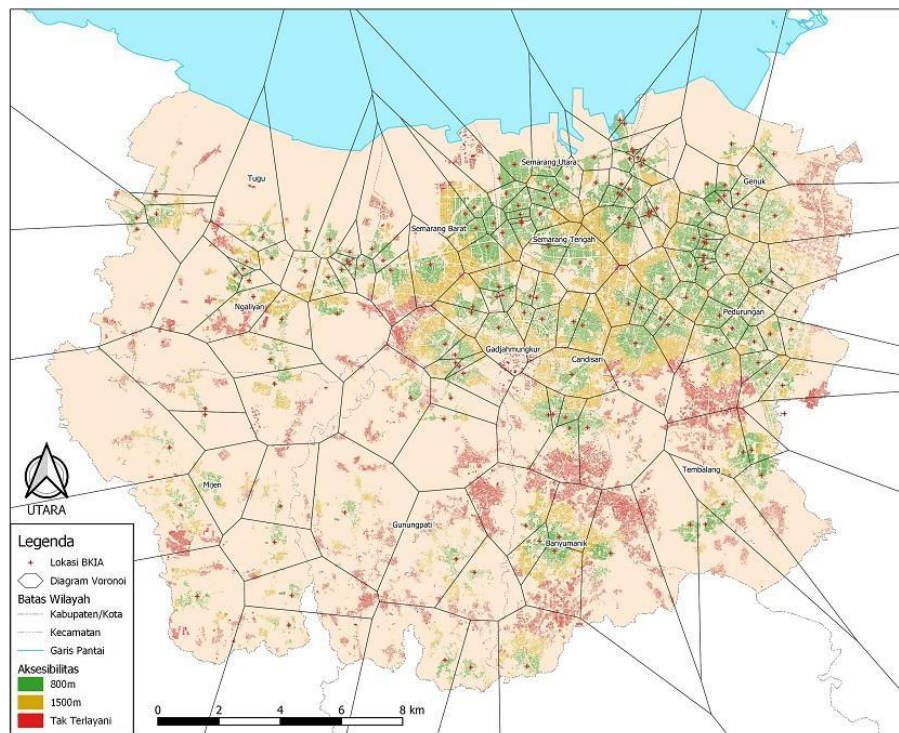


Gambar L-3 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Sekolah Menengah Atas di Kota Semarang

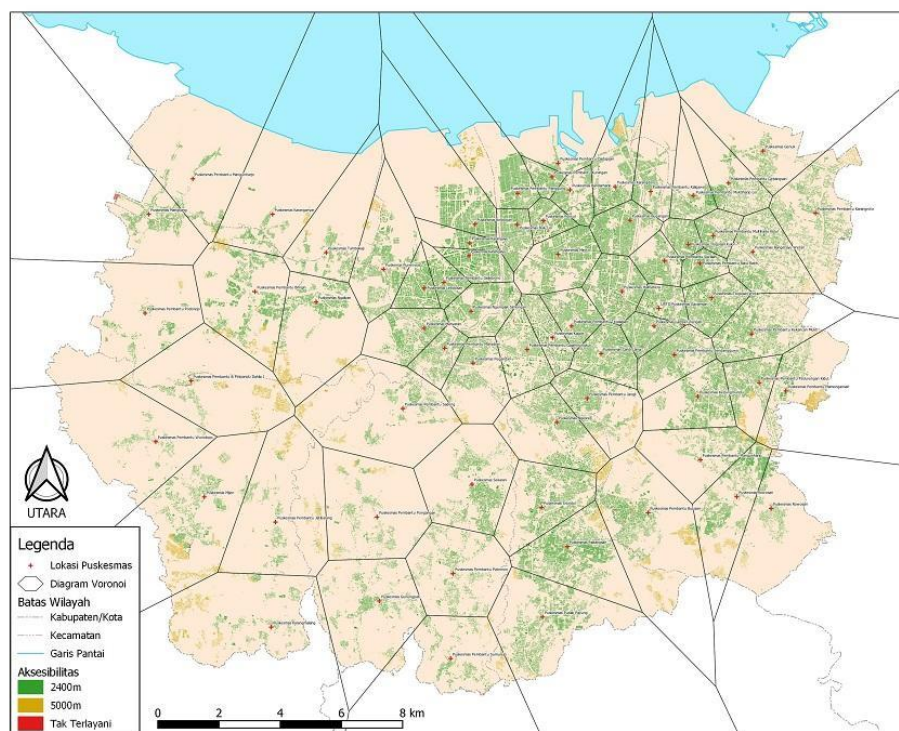


Gambar L-4 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Sekolah Menengah Kejuruan di Kota Semarang

Lampiran II – Peta-peta Aksesibilitas dan Jangkauan Fasilitas Kesehatan



Gambar L-5 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Balai Kesehatan Ibu dan Anak di Kota Semarang



Gambar L-6 Peta Aksesibilitas dan jangkauan fasilitas Puskesmas di Kota Semarang