

PEMODELAN SPASIAL TINGKAT KERAWANAN PENYAKIT TUBERKULOSIS DI KOTA MAGELANG

(Spatial Modelling of Tuberculosis Disease Susceptibility Levels in Magelang City)

Ade Galuh Prameswari, Prima Widayani

Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada

Jl. Kaliurang, Sekip Utara, Bulaksumur Sinduadi Sleman, Sendowo, Sinduadi, Kec. Mlati, Kabupaten Sleman

DI Yogyakarta, 55281, Indonesia

E-mail: ade.galuh.prameswari@mail.ugm.ac.id

Diterima: 12 Desember 2024; Direvisi: 21 Januari 2025; Disetujui untuk Dipublikasikan: 9 April 2025

ABSTRAK

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit pada saluran pernapasan akibat infeksi *Mycobacterium tuberculosis* dengan media penularan melalui udara. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pola persebaran kasus TBC di Kota Magelang serta mengkaji faktor-faktor lingkungan yang berkontribusi terhadap tingkat kerawanan penyakit ini. Dengan pendekatan pemetaan kerawanan, penelitian ini berupaya mengidentifikasi wilayah-wilayah yang memiliki potensi tinggi terhadap penyebaran TBC guna mendukung strategi mitigasi berbasis spasial. Persebaran TBC dipetakan melalui proses *geotagging* dengan aplikasi berbasis web Batchgeo, diikuti oleh analisis pola menggunakan *Average Nearest Neighbor*. Analisis kerawanan dilakukan berdasarkan dua kelompok variabel utama, yaitu kondisi permukiman dan jarak. Penelitian ini menggunakan foto udara Kota Magelang tahun 2021 untuk menginterpretasikan beberapa variabel, serta survei lapangan dilakukan untuk validasi dan interpretasi variabel yang tidak dapat diperoleh dari data penginderaan jauh. Pemetaan kerawanan TBC dilakukan menggunakan metode *Spatial Multi Criteria Evaluation* (SMCE), menghasilkan peta kerawanan dengan enam skenario pembobotan. Skenario terbaik dipilih berdasarkan perbandingan antara jumlah kasus dengan tingkat kerawanan TBC. Hasil pemetaan skenario terbaik menunjukkan bahwa 15,74 hektar atau 2,61% wilayah permukiman di Kota Magelang memiliki tingkat kerawanan rendah; 292,09 hektar atau 48,46% memiliki tingkat kerawanan sedang; dan 286,95 hektar atau 47,60% memiliki tingkat kerawanan tinggi. Wilayah kecamatan yang didominasi oleh permukiman dengan tingkat kerawanan tertinggi berada di Kecamatan Magelang Tengah. Sebaran kasus TBC di Kota Magelang cenderung mengelompok, dengan jumlah kasus tertinggi ditemukan di Kelurahan Rejowinangun Utara.

Kata kunci: kerawanan, penginderaan jauh, sistem informasi geografis, tuberkulosis

ABSTRACT

Tuberculosis (TBC) is a respiratory tract disease caused by infection with Mycobacterium tuberculosis with an airborne transmission medium. This study aims to analyze the distribution pattern of TBC cases in Magelang City and assess the environmental factors contributing to the susceptibility level to this disease. This study uses the susceptibility mapping approach to identify areas with a high potential for spreading TBC to support spatial-based mitigation strategies. The distribution of TBC was mapped through the geotagging process using the BatchGeo web-based application, followed by pattern analysis using Average Nearest Neighbor. The susceptibility analysis was conducted based on two main variables: settlement condition and distance. This study used aerial photographs of Magelang City in 2021 to interpret several variables, and field surveys were conducted to validate and interpret variables that could not be obtained from remote sensing data. TBC susceptibility mapping was conducted using the Spatial Multi Criteria Evaluation (SMCE) method, resulting in a susceptibility map with six weighting scenarios. The best scenario was selected based on comparing the number of cases and the level of TBC susceptibility. The results of the best scenario mapping show that 15.74 hectare or 2.61% of settlement areas in Magelang City have low susceptibility levels, 292.09 hectare or 48.46% have medium susceptibility levels, and 286.95 hectare or 47.60% have high susceptibility level. Sub-district areas dominated by settlements with the highest level of susceptibility are located in Magelang Tengah Sub-district. The distribution of TBC cases in Magelang City tends to be clustered, with the highest number of cases found in Rejowinangun Utara village.

Keywords: Susceptibility, remote sensing, Geographic Information System, tuberculosis

PENDAHULUAN

Mycobacterium tuberculosis merupakan bakteri penyebab Tuberkulosis (TBC) yang menginfeksi saluran pernapasan. Penularan antar

individu dapat terjadi melalui percikan dahak yang dikeluarkan oleh penderita saat batuk atau bersin, yang menyebar melalui media udara (Dewi Kristini & Hamidah, 2020; Surjati, 2020). TBC telah lama

menjadi ancaman bagi kesehatan global dan merupakan penyebab utama kematian akibat satu agen infeksi sebelum pandemi COVID-19 (Lee et al., 2022). Laporan dari World Health Organization (WHO) tahun 2022 menunjukkan peningkatan jumlah kematian akibat TBC antara tahun 2019 dan 2021. Sekitar 10,6 juta orang menderita TBC pada tahun 2021, dimana terjadi peningkatan sebesar 4,5% dari tahun 2020. Indonesia berada di posisi ketiga untuk negara dengan kasus TBC tertinggi di dunia setelah Tiongkok dan India pada tahun 2020 dan pada tahun 2021, Indonesia naik ke posisi kedua setelah Tiongkok.

Jumlah kasus TBC tertinggi di Indonesia terdapat di Provinsi Jawa Barat, diikuti oleh Provinsi Jawa Tengah dan Jawa Timur. Berdasarkan data BPS Provinsi Jawa Tengah tahun 2021, Kota Magelang memiliki Incidence Rate (IR) kasus TBC sejumlah 507,3 kasus per 100.000 penduduk, sehingga Kota Magelang menempati urutan kedua kabupaten/kota dengan IR kasus TBC tertinggi di Jawa Tengah setelah Kota Tegal (Badan Pusat Statistik, 2021).

Penanganan TBC memerlukan pendekatan yang mempertimbangkan kondisi lingkungan dan faktor spasial, mengingat setiap wilayah memiliki karakteristik yang berbeda. Pendekatan dan teknologi geospasial kini semakin banyak digunakan dalam kajian epidemiologi, termasuk TBC untuk mengidentifikasi distribusi spasial dan menyusun strategi pengendalian berbasis wilayah (Puspandari et al., 2021; Kartiko et al., 2024). Dalam hal ini, pemodelan spasial kerawanan TBC dapat menjadi salah satu metode untuk memahami distribusi penyakit serta faktor-faktor yang berkontribusi terhadap tingkat kerawanan di suatu wilayah. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya menjawab beberapa pertanyaan utama: Bagaimana pola distribusi spasial kasus TBC di Kota Magelang? Faktor lingkungan apa saja yang berperan dalam menentukan tingkat kerawanan TBC? Bagaimana pemodelan spasial dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kerawanan TBC di Kota Magelang?

METODE

Dalam perkembangannya, penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah digunakan secara luas dalam bidang epidemiologi untuk pemetaan, pengawasan, memprediksi wabah, mendeteksi pengelompokan, dan menganalisis pola penyebaran penyakit menular yang berpotensi epidemi atau pandemi di masyarakat dan di seluruh wilayah (Saran et al., 2020). Berdasarkan konsep dasar paradigma kesehatan lingkungan, terjadinya penyakit disebabkan oleh karena adanya interaksi antara agen (*agent*), pejamu (*host*) dan lingkungan (*environment*) (Susilawaty et al., 2022). Kondisi lingkungan berperan signifikan dalam risiko penularan TBC, terutama karena penyakit ini menyebar melalui udara dan dipengaruhi oleh

faktor seperti ventilasi buruk, kelembapan tinggi, pencahayaan alami minim, serta kepadatan hunian tinggi (WHO, 2022). Studi menunjukkan bahwa lingkungan fisik yang tidak memenuhi standar kesehatan meningkatkan risiko kejadian TBC secara signifikan (Rezeki et al., 2025). Selain itu, interaksi sosial di daerah dengan kepadatan permukiman tinggi turut mempercepat penyebarannya (Jannah, 2023; WHO, 2021). Seiring berkembangnya teknologi, penginderaan jauh mampu menyediakan data lingkungan fisik secara detail dan efisien, seperti penggunaan lahan, tingkat kepadatan bangunan, hingga kualitas permukiman (Fultriasanti & Fajrin, 2023; Ma'sum et al., 2023). Oleh karena itu, data yang berkaitan dengan kondisi fisik lingkungan dapat diekstraksi melalui penggunaan teknologi penginderaan jauh dalam penelitian ini. Integrasi penginderaan jauh dan SIG dapat meningkatkan efisiensi serta akurasi pemetaan sebagai dasar perencanaan dan pengelolaan wilayah (Asro et al., 2025), termasuk dalam pemetaan setiap variabel serta pemodelan tingkat kerawanan secara spasial.

Penelitian ini dilakukan di Kota Magelang, Provinsi Jawa Tengah. Secara astronomis, Kota Magelang terletak pada 110°12'30" - 110°12'52" Bujur Timur dan 7°26'18" - 7°30'9" Lintang Selatan dengan luas wilayah 18,54 km². Secara administratif, Kota Magelang terdiri dari 3 kecamatan, yaitu Kecamatan Magelang Selatan, Magelang Tengah, dan Magelang Utara serta 17 kelurahan.

Adapun bahan yang digunakan, meliputi data kasus TBC di Kota Magelang tahun 2021, foto udara planar Kota Magelang tahun perekaman 2021 yang sudah dilakukan *orthomosaic* dengan *ground resolution* 7,08 cm/pix, dan Peta RBI Kota Magelang skala 1:25.000. Berdasarkan data kasus TBC Kota Magelang yang telah diperoleh, dilakukan *geotagging* setiap titik kejadian TBC menggunakan aplikasi berbasis web Batchgeo yang mengacu pada data alamat penderita agar sebaran kasus TBC dapat dianalisis secara spasial. Dalam proses *geotagging* ini, Batchgeo menerima data dalam format tabel yang berisi informasi lokasi penderita TBC, meliputi negara, provinsi, kota, dan alamat lengkap (jalan dan nomor rumah). Batchgeo akan melakukan *geocoding* otomatis untuk mengonversi alamat menjadi titik koordinat di peta Hasil plotting kasus TBC selanjutnya dianalisis menggunakan Average Nearest Neighbor, yaitu sebuah metode analisis yang dapat digunakan untuk menentukan pola suatu distribusi data dengan mempertimbangkan jarak, jumlah titik, dan luas wilayah (Riadhi et al., 2020). Hal ini dilakukan untuk memastikan bahwa pola kejadian tidak bersifat acak, sehingga analisis kerawanan dapat dilakukan.

Terdapat 8 variabel dalam penelitian ini yang terbagi dalam dua kelompok variabel utama, yaitu kondisi permukiman dan jarak. Kelompok variabel kondisi permukiman, meliputi kepadatan permukiman, kepadatan hunian, jenis atap, jenis

lantai, jenis dinding, dan luas ventilasi; sedangkan kelompok variabel jarak, meliputi jarak terhadap pusat kegiatan dan jarak terhadap jalan. Ekstraksi data kepadatan permukiman diperoleh dari foto udara dengan interpretasi visual untuk melakukan delineasi atap dan blok permukiman dengan perhitungan pada **Persamaan 1**.

$$KP = \frac{L \text{ atap}}{L \text{ blok permukiman}} \times 100\% \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

KP = kepadatan permukiman

L = luas

Hasil perhitungan kepadatan permukiman untuk setiap blok permukiman ini selanjutnya diklasifikasikan ke dalam tiga kelas kepadatan permukiman seperti yang disajikan pada **Tabel 1**. Pemetaan kepadatan hunian dilakukan menggunakan hasil delineasi atap permukiman sebagai dasar dalam klasifikasi tipe permukiman. Tipe permukiman diklasifikasikan berdasarkan ukuran, pola, dan kepadatannya. Selanjutnya, dilakukan estimasi jumlah penghuni dalam satu rumah untuk setiap tipe permukiman berdasarkan data lapangan pada 125 sampel yang telah ditentukan menggunakan metode *purposive sampling* dengan mempertimbangkan keterwakilan tipe permukiman dan jenis atap. Adapun formula yang digunakan untuk menghitung kepadatan hunian dapat dilihat pada **Persamaan 2**.

Tabel 1. Klasifikasi kepadatan permukiman.

Kriteria Kepadatan Permukiman	Klasifikasi
< 40%	Rendah
40-60%	Sedang
> 60%	Tinggi

Sumber: Ditjen Cipta Karya, 1997

$$\text{Kepadatan hunian} = \frac{\text{Luas atap}}{\text{Jumlah penghuni}} \dots \dots \dots (2)$$

Hasil perhitungan kepadatan hunian ini selanjutnya diklasifikasikan ke dalam dua kelas kepadatan hunian yang disajikan pada **Tabel 2**. Pemetaan jenis atap dilakukan melalui interpretasi visual foto udara dengan klasifikasi seperti yang terdapat pada **Tabel 3**. Hasil interpretasi selanjutnya diuji kebenarannya melalui validasi lapangan untuk memastikan akurasi hasil interpretasi.

Tabel 2. Klasifikasi kepadatan hunian.

Kriteria Kepadatan Hunian	Klasifikasi
> 9 m ²	Baik
< 9 m ²	Buruk

Sumber: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023

Tabel 3. Klasifikasi jenis atap.

Kriteria Jenis Atap	Klasifikasi
Genting tanah liat berlumut	Sangat Buruk
Genting tanah liat tanpa lumut	Buruk
Genting beton berlumut	Sedang
Genting beton tanpa lumut	Cukup Baik

Kriteria Jenis Atap	Klasifikasi
Plat semen, seng, asbes berlumut	Baik
Plat semen, seng, asbes tanpa lumut	Sangat Baik

Sumber: Gunawan, 2019 (dengan modifikasi)

Pemetaan jenis lantai, jenis dinding, dan luas ventilasi dilakukan berdasarkan data hasil survei lapangan karena data tersebut tidak dapat diperoleh melalui penginderaan jauh. Akuisisi data dilakukan dengan mendatangi setiap titik sampel seperti yang digunakan sebelumnya. Adapun klasifikasi jenis lantai, jenis dinding, dan luas ventilasi dapat diamati pada **Tabel 4**, **Tabel 5**, dan **Tabel 6**.

Tabel 4. Klasifikasi jenis lantai.

Kriteria Jenis Lantai	Klasifikasi
Berbahan ubin, porselen, keramik	Baik
Berbahan tanah	Buruk

Sumber: Rosiana, 2013

Tabel 5. Klasifikasi jenis dinding.

Kriteria Jenis Dinding	Klasifikasi
Dinding berbahan batu-bata yang sudah diplester	Baik
Dinding berbahan bambu, papan, dan batu-bata yang belum diplester	Buruk

Sumber: Rosiana, 2013

Tabel 6. Klasifikasi luas ventilasi.

Kriteria Luas Ventilasi	Klasifikasi
> 10% dari luas lantai	Memenuhi syarat
< 10% dari luas lantai	Tidak memenuhi syarat

Sumber: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2011

Pemetaan pusat kegiatan di Kota Magelang, dilakukan interpretasi visual bangunan pada foto udara. Dari hasil delineasi pusat kegiatan, dilakukan proses *buffer* dalam 3 kategori jarak seperti yang dapat diamati pada **Tabel 7**. Pemetaan jarak terhadap jalan dapat dilakukan melalui proses *buffer* pada data jaringan jalan yang diperoleh dari data RBI. Semakin dekat jarak permukiman atau populasi dari jalan, semakin besar kemungkinan terpapar TBC. **Tabel 8** menyajikan klasifikasi jarak terhadap pusat kegiatan.

Tabel 7. Klasifikasi jarak terhadap pusat kegiatan.

Kriteria Jarak	Klasifikasi
> 2 km	Jauh
1 – 2 km	Sedang
< 1 km	Dekat

Sumber: Rahardjo, 1989

Tabel 8. Klasifikasi jarak terhadap jalan.

Kriteria Jarak	Klasifikasi
> 200 m	Jauh
100 – 200 m	Sedang
< 100 m	Dekat

Sumber: Rahardjo, 1989

Tabel 9. Skenario pembobotan SMCE.

Skenario	Bobot Kategori	Variabel
1	Kategori kondisi permukiman dan jarak memiliki bobot sama besar	Bobot seluruh variabel sama besar
2	Kategori kondisi permukiman memiliki bobot lebih besar dari kategori jarak	Bobot seluruh variabel sama besar
3	Kategori kondisi permukiman memiliki bobot lebih kecil dari kategori jarak	Bobot seluruh variabel sama besar
4	Kategori kondisi permukiman dan jarak memiliki bobot sama besar	Bobot setiap variabel berbeda-beda sesuai besar pengaruhnya berdasarkan penelitian sebelumnya
5	Kategori kondisi permukiman memiliki bobot lebih besar dari kategori jarak	Bobot setiap variabel berbeda-beda sesuai besar pengaruhnya berdasarkan penelitian sebelumnya
6	Kategori kondisi permukiman memiliki bobot lebih kecil dari kategori jarak	Bobot setiap variabel berbeda-beda sesuai besar pengaruhnya berdasarkan penelitian sebelumnya

Hasil pemetaan seluruh variabel selanjutnya di-*overlay* untuk memetakan kerawanan TBC dengan pembobotan sesuai besar pengaruh terhadap kerawanan TBC. Proses *overlay* dan pembobotan ini dilakukan menggunakan SMCE dengan 6 skenario seperti pada **Tabel 9**. Dari keenam skenario, ditentukan satu skenario terbaik berdasarkan grafik perbandingan antara jumlah kasus di setiap tingkat kerawanan pada keenam skenario TBC dengan jumlah kasus di setiap tingkat kerawanan pada model acuan (model yang dikatakan ideal dengan grafik yang memiliki *trend linear*).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Kasus Tuberkulosis Kota Magelang

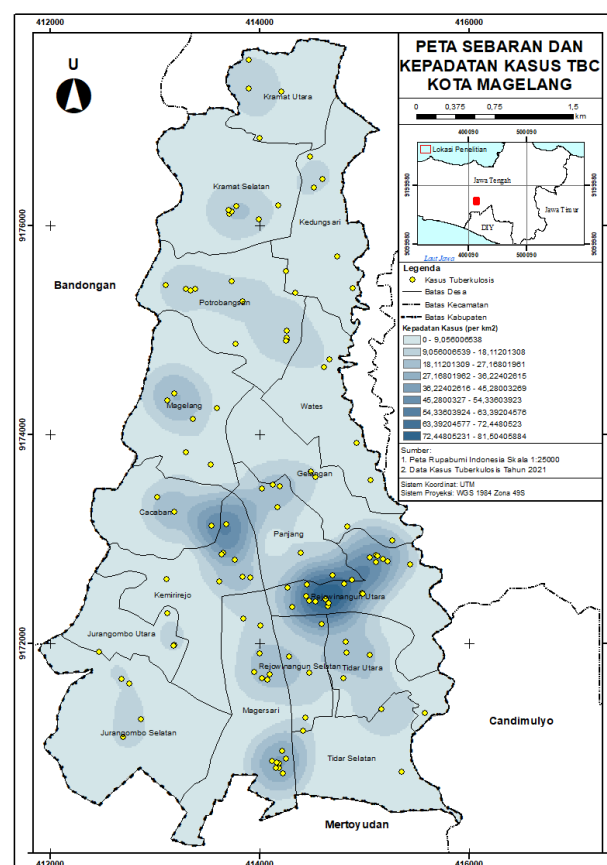
Berdasarkan data yang ada, terdapat 166 kasus TBC di Kota Magelang tahun 2021. **Tabel 10** menyajikan distribusi kasus TBC di setiap kelurahan, sementara **Gambar 1** menampilkan peta sebaran dan kepadatan kasus TBC per km², yang menggambarkan pola distribusi spasial secara lebih jelas. Hasil *geotagging* menunjukkan bahwa Kelurahan Rejowinangun Utara memiliki jumlah kasus TBC tertinggi, yang terlihat dari sebaran titik kasus yang lebih padat dibandingkan dengan kelurahan lainnya. Peta ini memberikan gambaran visual mengenai area dengan tingkat kepadatan kasus yang lebih tinggi secara lebih jelas.

Tabel 10. Jumlah Kasus Tuberkulosis (TBC) Setiap Kelurahan di Kota Magelang Tahun 2021

Kelurahan	Jumlah Kasus
Kramat Utara	7
Kramat Selatan	5
Kedungsari	6
Potrobangsari	7
Wates	9
Magelang	11
Gelangan	4
Cacaban	10
Panjang	5
Kemirirejo	12
Rejowinangun Utara	25

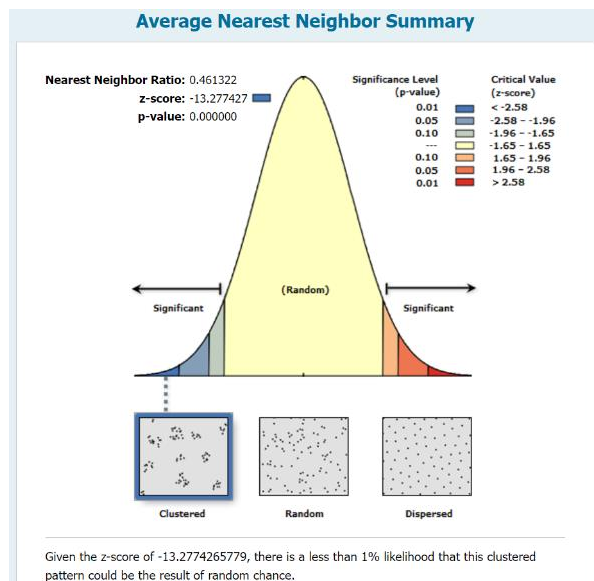
Kelurahan	Jumlah Kasus
Rejowinangun Selatan	20
Jurangombo Utara	3
Jurangombo Selatan	6
Magersari	15
Tidar Utara	14
Tidar Selatan	7

Sumber: Dinas Kesehatan Kota Magelang, 2021

**Gambar 1.** Peta sebaran dan kepadatan kasus tuberkulosis (TBC) Kota Magelang.

Hasil pemetaan sebaran kasus TBC dianalisis menggunakan metode *Average Nearest Neighbor* (**Gambar 2**). Berdasarkan gambar tersebut, dihasilkan nilai *Nearest Neighbor Ratio* sebesar 0.461322 (kurang dari 1) dengan nilai *z-score* yang sangat kecil, yaitu -13.277427 dan *p-value* kurang dari 0.01 (signifikan) yang menunjukkan bahwa

sebaran kasus TBC berpola mengelompok (*clustered*) secara signifikan dan peluang sebaran kasus TBC berpola acak adalah kurang dari 1%. Artinya, terdapat faktor tertentu yang menyebabkan kejadian TBC bersifat mengelompok.

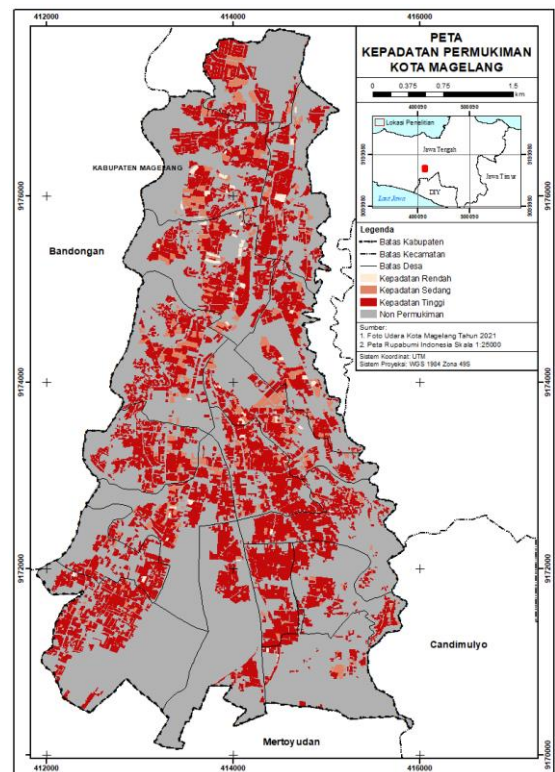


Gambar 2. Hasil pengolahan *average nearest neighbor* kasus tuberkulosis (TBC) Kota Magelang.

Variabel Kerawanan Penyakit Tuberkulosis (TBC) di Kota Magelang

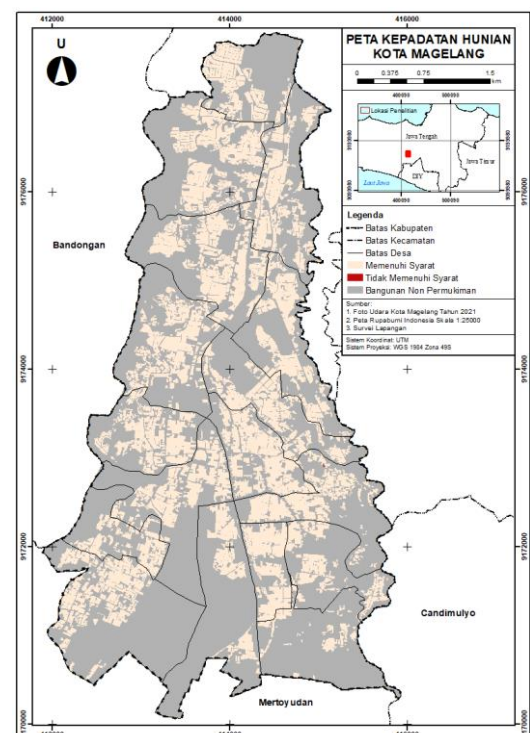
Berdasarkan hasil interpretasi, terdapat 4.014 blok permukiman di Kota Magelang yang digunakan sebagai unit analisis dalam pemetaan kerawanan TBC. Peta kepadatan permukiman Kota Magelang (**Gambar 3**) menunjukkan bahwa permukiman dengan kepadatan tinggi paling mendominasi dengan total sebanyak 3.556 blok permukiman. Permukiman dengan kepadatan sedang tersebar pada beberapa wilayah di bagian tengah dan utara Kota Magelang, sedangkan permukiman dengan kepadatan rendah memiliki jumlah yang paling sedikit, yaitu sebanyak 53 blok permukiman.

Salah satu alasan Kota Magelang memiliki kepadatan permukiman yang tinggi adalah luas wilayah yang sempit dan kepadatan penduduk yang tinggi. Kota Magelang memiliki kepadatan penduduk tertinggi kedua di Jawa Tengah pada tahun 2021, setelah Kota Surakarta, dengan 7572.23 orang per km² (BPS Provinsi Jawa Tengah, 2022) yang merupakan hasil dari peningkatan jumlah penduduk, diikuti dengan peningkatan kebutuhan akan tempat tinggal. Kota Magelang juga memiliki banyak pusat aktivitas masyarakat. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya fasilitas umum yang difungsikan untuk menunjang aktivitas masyarakat, khususnya pendidikan, seperti Universitas Tidar dan Akademi Militer di Kota Magelang.



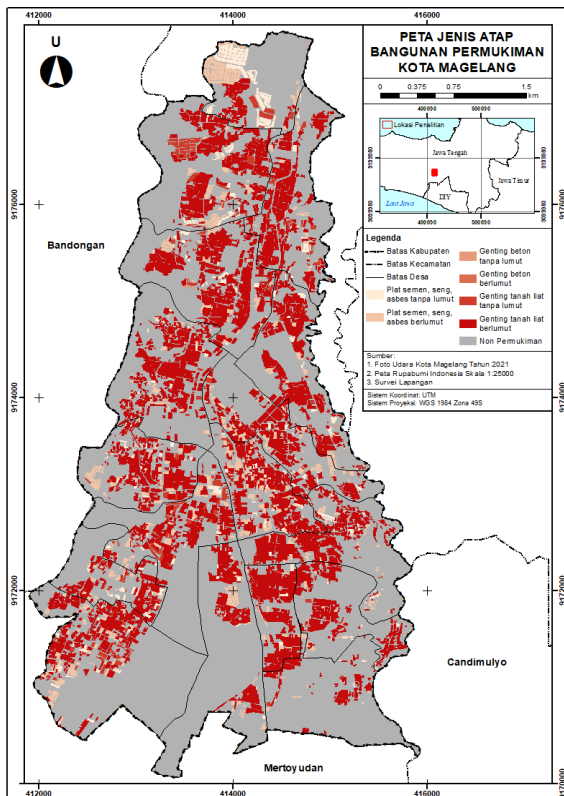
Gambar 3. Peta kepadatan permukiman Kota Magelang

Peta kepadatan hunian yang disajikan pada **Gambar 4** menunjukkan bahwa hampir semua blok permukiman memiliki kepadatan hunian yang memenuhi syarat (lebih dari 9 m² per orang), hanya satu blok permukiman yang tidak memenuhi syarat (kurang dari 9 m² per orang). Karena setiap penghuni memiliki luasan yang cukup, hal ini tentu berdampak baik pada kualitas udara di dalam rumah, sehingga dapat mengurangi kemungkinan penularan penyakit TBC.



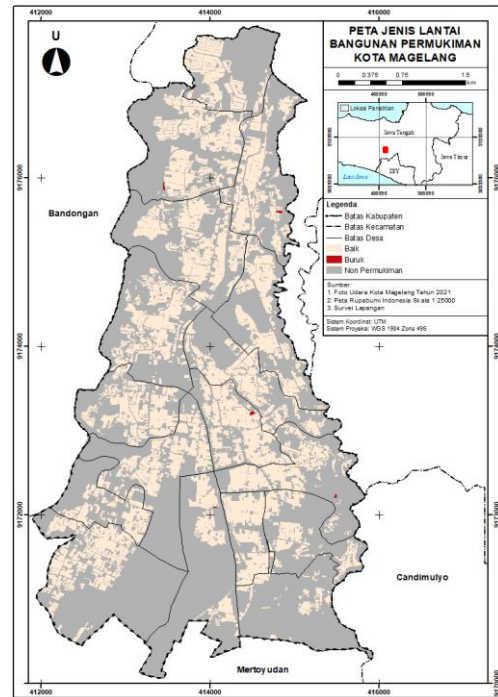
Gambar 4. Peta kepadatan hunian Kota Magelang.

Pemetaan jenis atap di Kota Magelang (**Gambar 5**) menunjukkan bahwa sebagian besar permukiman menggunakan atap berbahan dasar tanah liat berlumut. Atap jenis ini memiliki rongga yang lebih besar, sehingga termasuk dalam kategori sangat buruk karena air hujan lebih mudah terserap dan hal ini dapat meningkatkan kelembaban di dalam ruangan. Selain itu, pada wilayah penelitian terdapat cukup banyak permukiman dengan jenis atap plat semen, terutama di kawasan perumahan. Jenis atap lainnya, seperti beton, asbes, dan semen lebih sering digunakan di bangunan non permukiman, seperti pabrik, gudang, dan sebagainya.



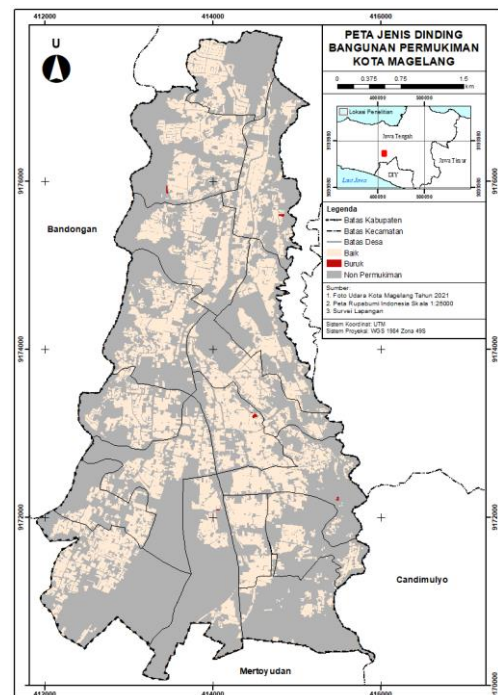
Gambar 5. Peta jenis atap bangunan permukiman Kota Magelang.

Peta jenis lantai pada **Gambar 6** menunjukkan bahwa hampir semua permukiman di Kota Magelang menggunakan lantai porselen atau keramik. Artinya, hampir semua kondisi lantai permukiman tergolong baik karena lantai ubin porselen dan keramik cenderung kedap air, sehingga dapat mengurangi kelembaban ruangan karena air yang menggenang dapat dengan mudah dibersihkan. Hal ini membuat kondisi kelembaban lebih terjaga dan mengurangi kemungkinan terjadinya TBC.



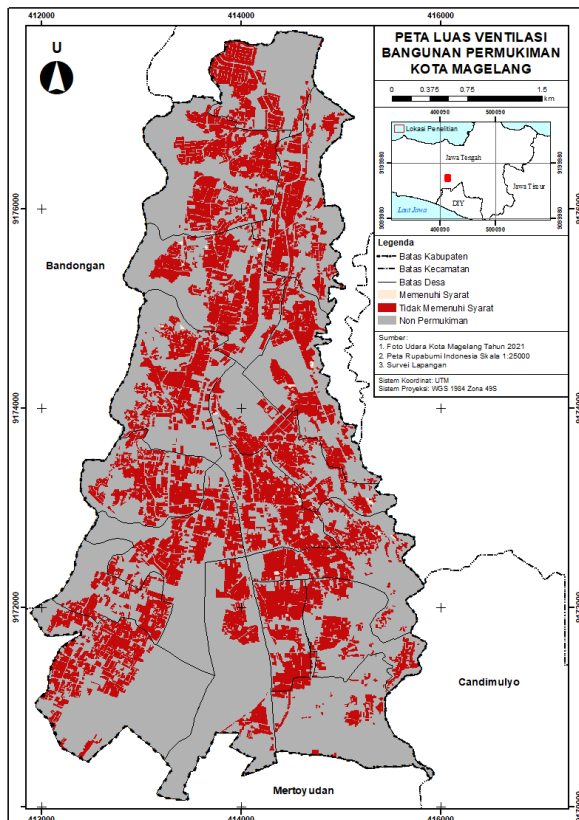
Gambar 6. Peta jenis lantai bangunan permukiman Kota Magelang.

Hasil pemetaan jenis dinding pada **Gambar 7** menunjukkan bahwa hampir seluruh permukiman di Kota Magelang memiliki dinding batu-bata yang sudah diplester dan dicat dan hanya terdapat tujuh blok permukiman yang memiliki dinding batu-bata yang belum diplester. Artinya, hampir seluruh permukiman di Kota Magelang memiliki jenis dinding yang baik. Dinding batu-bata yang sudah diplester membuat dinding lebih kedap air, melindungi ruangan dari suhu panas dan air hujan, serta mencegah pertumbuhan jamur dan bakteri.



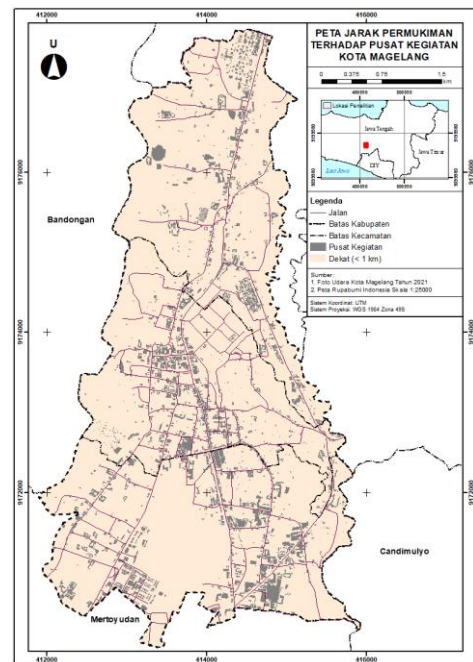
Gambar 7. Peta jenis dinding bangunan permukiman Kota Magelang.

Hampir semua permukiman di Kota Magelang memiliki kondisi luas ventilasi yang tidak memenuhi syarat, seperti yang ditunjukkan oleh hasil pemetaan luas ventilasi pada **Gambar 8**. Sebuah ventilasi dianggap memenuhi syarat jika luasnya lebih dari 10% dari luas lantai. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 67 Tahun 2016 Tentang Penanggulangan Tuberkulosis, rumah dengan luas yang tidak sesuai dengan luas bangunan (luas ventilasi tidak memenuhi syarat) dapat meningkatkan risiko penularan TBC karena hal ini berhubungan dengan kualitas udara di dalam ruangan. Selain itu, karena pergantian udara yang kurang maksimal, luas ventilasi yang kurang dapat meningkatkan kelembaban udara di dalam ruangan.



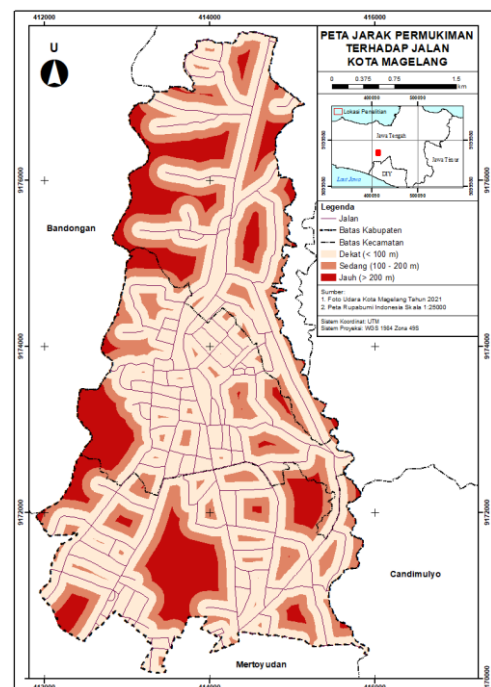
Gambar 8. Peta luas ventilasi bangunan permukiman Kota Magelang

Ditinjau dari jarak terhadap pusat kegiatan, kondisi permukiman di Kota Magelang hampir sama, dimana seluruh permukiman memiliki jarak kurang dari 1 km terhadap pusat kegiatan seperti yang dapat diamati pada **Gambar 9**. Hal ini mungkin terjadi karena jumlah dan kepadatan penduduk yang tinggi menyebabkan peningkatan aktivitas penduduk, yang ditunjukkan dengan banyaknya fasilitas yang dibangun untuk mendukung aktivitas tersebut. Meskipun jarak dan aksesibilitas yang baik terhadap pusat kegiatan dapat memudahkan aktivitas penduduk, hal ini juga dapat berdampak negatif karena semakin dekat pusat kegiatan, semakin besar kemungkinan penduduk di sekitarnya terdampak TBC.



Gambar 9. Peta jarak permukiman terhadap pusat kegiatan Kota Magelang

Selanjutnya, proses *buffer* jarak terhadap jalan menghasilkan tiga kategori jarak seperti yang ditunjukkan oleh hasil pemetaan pada **Gambar 10**. Permukiman sebagian besar berada dekat jalan dengan jarak kurang dari 100 m. Dengan luasan Kota Magelang sebesar 18,54 km² dan aksesibilitas yang baik, sebagian besar permukiman di Magelang tergolong dekat dengan jalan. Semakin dekat jarak permukiman dengan jalan, kualitas udara menjadi lebih buruk karena polusi kendaraan bermotor dan tingginya mobilitas manusia di daerah tersebut, dimana hal ini dapat meningkatkan kemungkinan keterpaparan toberkulosis.



Gambar 10. Peta jarak permukiman terhadap jalan Kota Magelang

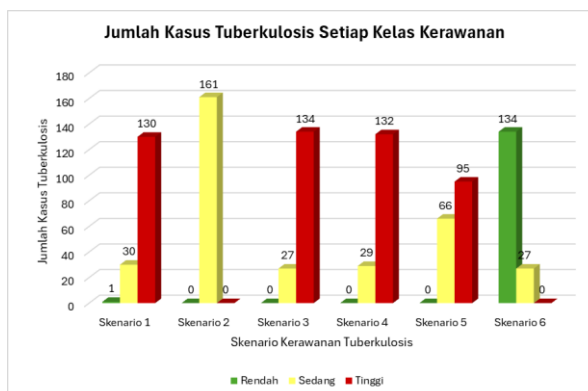
Kerawanan Tuberkulosis (TBC) di Kota Magelang

Proses *overlay* dan pembobotan menggunakan SMCE ini menghasilkan tiga kelas kerawanan, dimana rentang nilai setiap kelas ditentukan menggunakan metode interval teratur berdasarkan keseluruhan nilai dari keenam skenario seperti yang disajikan pada **Tabel 11**.

Tabel 11. Klasifikasi Kerawanan Tuberkulosis (TBC)

Kelas	Range
Rendah	0.48 – 0.64
Sedang	0.65 – 0.81
Tinggi	0.82 – 0.98

Sebuah skenario kerawanan tuberkulosis dapat dikatakan baik jika jumlah kasus pada setiap kelas yang dihasilkan sesuai dengan tingkat kerawanan. Semakin tinggi tingkat kerawanan, maka semakin banyak jumlah kasus. Jika divisualisasikan ke dalam bentuk grafik, maka skenario yang ideal akan menghasilkan grafik dengan bentuk *trendline* yang linear. **Gambar 11** menunjukkan jumlah kasus TBC di setiap kelas kerawanan pada keenam skenario.



Gambar 11. Grafik Jumlah Kasus Tuberkulosis (TBC) pada Setiap Kelas Kerawanan

Skenario kerawanan TBC di Kota Magelang yang cukup sesuai adalah skenario 1, 3, 4, dan 5 karena semakin tinggi tingkat kerawanan, jumlah kasus TBC juga semakin tinggi. Selanjutnya, dilakukan perbandingan antara jumlah kasus di setiap tingkat kerawanan pada skenario TBC dengan jumlah kasus di setiap tingkat kerawanan pada model acuan (model yang dikatakan ideal dengan grafik yang memiliki *trendline* linear) seperti yang dapat diamati pada **Gambar 12**. Dalam hal ini, nilai setiap titik pada jumlah kasus untuk model acuan merupakan nilai terendah untuk jumlah kasus pada setiap tingkat kerawanan TBC.



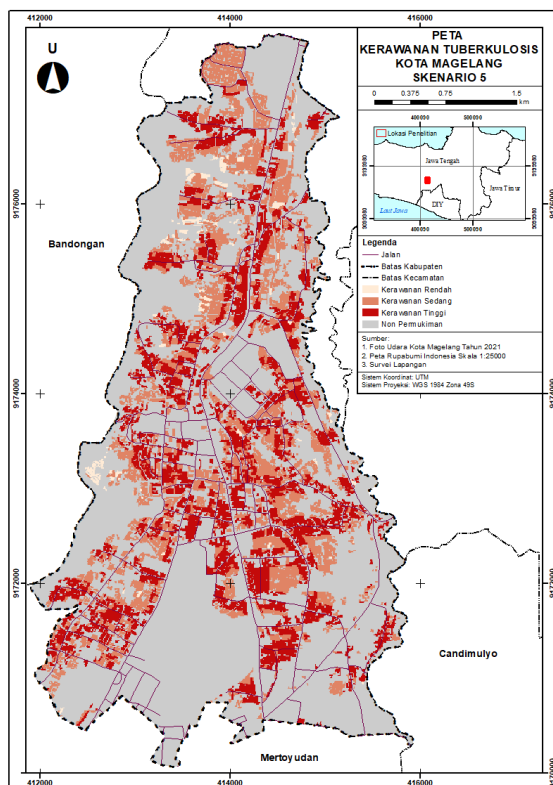
Gambar 12. Grafik perbandingan jumlah kasus tuberkulosis (TBC).

Tabel 12. Selisih jumlah kasus tuberkulosis (TBC) setiap skenario terhadap jumlah kasus jika model ideal.

Kelas Kerawanan	Selisih pada Skenario 1	Selisih pada Skenario 3	Selisih pada Skenario 4	Selisih pada Skenario 5
Rendah	1	0	0	0
Sedang	23.67	26.67	24.67	12.33
Tinggi	22.67	26.67	24.67	12.33
Total Selisih	48.34	53.34	49.34	24.66

Tabel 13. Pembobotan variabel kerawanan TBC skenario 5.

Kategori	Bobot	Variabel	Bobot	Kelas	Bobot
Kondisi permukiman	0.75	Kepadatan permukiman	0.29	Rendah	0.333
				Sedang	0.667
				Tinggi	1.000
		Kepadatan hunian	0.05	Baik	0.500
				Buruk	1.000
				Sangat baik	0.167
		Jenis atap	0.14	Baik	0.333
				Cukup baik	0.500
				Sedang	0.667
				Buruk	0.833
Jarak	0.25	Jenis lantai	0.19	Sangat buruk	1.000
				Baik	0.500
				Buruk	1.000
		Jenis dinding	0.24	Baik	0.500
				Buruk	1.000
		Luas ventilasi	0.10	Memenuhi syarat	0.500
				Tidak memenuhi syarat	1.000
		Jarak terhadap pusat kegiatan	0.33	Dekat	1.000
				Sedang	-
				Jauh	-
		Jarak terhadap jalan	0.67	Dekat	1.000
				Sedang	0.667
				Jauh	0.333



Gambar 13. Peta Kerawanan Tuberkulosis (TBC) Kota Magelang Skenario 5

Perhitungan selisih jumlah kasus pada kelas kerawanan setiap skenario dengan jumlah kasus pada model acuan dapat diamati pada **Tabel 12**. Diantara keempat skenario tersebut, skenario 5 merupakan model yang paling sesuai karena jumlah kasus TBC di setiap kelas kerawannya memiliki selisih yang paling kecil terhadap jumlah kasus TBC pada model acuan.

Kerawanan TBC pada skenario 5 memberikan bobot untuk kelompok variabel kondisi permukiman yang lebih besar dibandingkan kelompok variabel jarak, sedangkan bobot setiap variabel dalam suatu kelompok berbeda-beda sesuai dengan besar pengaruh terhadap TBC berdasarkan hasil studi literatur seperti pada **Tabel 13**. Peta kerawanan TBC skenario 5 pada **Gambar 13** menunjukkan kondisi yang hampir seimbang antara tingkat kerawanan tinggi dan sedang, sedangkan wilayah dengan tingkat kerawanan rendah cenderung sedikit. Wilayah dengan kerawanan sedang memiliki luasan yang paling besar, yaitu seluas 292,09 hektar atau 48,46% dari luas blok permukiman di Kota Magelang. Wilayah dengan kerawanan tinggi memiliki luasan 286,95 hektar, yaitu sebesar 47,60% dari luas blok permukiman di Kota Magelang, sedangkan wilayah dengan kerawanan rendah memiliki luasan sebesar 15,74 hektar atau sebesar 2,61% dari luas blok permukiman di Kota Magelang.

KESIMPULAN

Sebaran kasus TBC di Kota Magelang cenderung mengelompok dengan nilai *Nearest Neighbor Ratio* 0.461322. Urutan kelurahan dengan jumlah kasus TBC terbanyak hingga paling sedikit di Kota Magelang, yaitu Kelurahan Rejowinangun Utara, Rejowinangun Selatan, Magersari, Tidar Utara, Kemirirejo, Magelang, Cacaban, Wates, Kramat Utara, Potrobangsari, Tidar Selatan, Kedungsari, Jurangombo Selatan, Kramat Selatan, Panjang, Gelangan, dan Jurangombo Utara. Pemetaan tingkat kerawanan penyakit TBC di Kota Magelang dalam 6 skenario menghasilkan 1 skenario terbaik, yaitu skenario 5.

Berdasarkan hal tersebut, tingkat kerawanan TBC di Kota Magelang didominasi oleh tingkat kerawanan sedang (292,09 hektar atau 48,46% dari luas permukiman Kota Magelang), diikuti oleh tingkat kerawanan tinggi dengan luasan yang hampir sama (286,95 hektar atau 47,60% dari luas permukiman Kota Magelang), sedangkan tingkat kerawanan rendah hanya terdapat pada beberapa titik dengan luasan yang kecil (15,74 hektar atau 2,61% dari luas permukiman Kota Magelang). Secara keseluruhan, penelitian ini menggambarkan kondisi kerawanan TBC di Kota Magelang berdasarkan variabel kondisi fisik lingkungan. Untuk melakukan analisis secara lebih menyeluruh, perlu dilakukan penelitian menggunakan variabel lain karena penularan penyakit TBC tidak hanya dipengaruhi oleh faktor lingkungan, tetapi terdapat faktor lain, seperti faktor ekonomi, sosial, dan sebagainya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Artikel ini merupakan bagian dari hasil penelitian skripsi "Pemodelan Spasial Tingkat Kerawanan Penyakit Tuberkulosis di Kota Magelang". Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si., Dr. Barandi Sapta Widartono, S.Si., M.Si., M.Sc., dan Dr. Umi Listyaningsih, S.Si., M.Si. yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak Dinas Kesehatan Kota Magelang yang telah menyediakan data kasus tuberkulosis serta Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang Kota Magelang yang telah menyediakan foto udara Kota Magelang sebagai data utama penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Asro, Chaidir, J., Chairuddin, Purwanto, A. (2025). Integrasi GIS dan Remote Sensing untuk Sistem Pemetaan Rute Interaktif di Perkotaan. *Zona Teknik: Jurnal Ilmiah*, 19(1).

Badan Pusat Statistik. (2021). *Jumlah Kasus Penyakit Menurut Kabupaten/Kota dan Jenis Penyakit di Provinsi Jawa Tengah*. BPS.

Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2022). *Provinsi Jawa Tengah Dalam Angka 2022* (BPS Provinsi Jawa Tengah, Ed.). BPS Provinsi Jawa Tengah.

Dewi Kristini, T., & Hamidah, R. (2020). Potensi Penularan Tuberculosis Paru pada Anggota Keluarga Penderita. *Jurnal Kesehatan Masyarakat Indonesia*, 15(1). <https://jurnal.unimus.ac.id/index.php/jkmi>.

Direktorat Jenderal Cipta Karya. (1997). *Rumah dan Lingkungan Pemukiman Sehat*. Ditjen Cipta Karya Departemen Pekerjaan Umum RI.

Fultriasantri, i., Fajrin. (2023). Pemanfaatan Penginderaan Jauh untuk Mengidentifikasi Kepadatan Bangunan Menggunakan Interpretasi

Hibrid Citra Sentinel-2A di Kota Padang. *Jurnal Environmental Science*, 5(2).

Gunawan, I. M. A. (2019). Pengaruh Iklim, Sinar Matahari, Hujan dan Kelembaban pada Bangunan. *Prosiding Seminar Nasional Arsitektur, Budaya Dan Lingkungan Binaan*, 147–156.

Jannah, R. Z., Azizah, R., Jalaludin, J. B., Sulistyorini, L., Lestari, K. S. (2023). Meta-Analysis Study: Environmental Risk Factors of Tuberculosis (TB). *Jurnal Kesehatan Lingkungan*, 15(2):84–91.

Kartiko, E. Y., Kusumaningrum, Y. D., Arief, M. H., Afandi, K., Atmoko, R. A. (2024). Pemetaan Potensi Persebaran Kasus Tuberkulosis di Kabupaten Jember dengan Pendekatan Analisis Spasial. *Remik*, 8(4).

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2011). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011 Tahun 2011 Tentang Pedoman Penyehatan Udara Dalam Ruang Rumah.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2016). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 67 Tahun 2016 Tentang Penanggulangan Tuberkulosis.

Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan.

Lee, J. Y., Kwon, N., Goo, G. Y., C, S. I. (2022). Inadequate Housing and Pulmonary Tuberculosis: A Systematic Review. *BMC Public Health*, 22(622).

Ma'sum, M. F., Rindarjono, M. G., Utowomati, R. (2023). Pemanfaatan Citra Geoeye-1 untuk Kajian Kualitas Permukiman dan Kondisi Sosial Ekonomi di Kecamatan Demak Kabupaten Demak Tahun 2020. *Geadidaktita*, 3(2).

Prameswari, A. G. (2024). *Pemodelan Spasial Tingkat Kerawanan Penyakit Tuberkulosis di Kota Magelang*. Universitas Gadjah Mada.

Puspandari, D. A., Setyaningsih, H., Atsna, Z., Andayani, T. M. (2021). Pemanfaatan Geospasial Melalui Health and Demographic Surveillance System (HDSS) pada Pasien Tuberkulosis dalam Manajemen Obat. *Jurnal Manajemen dan Pelayanan Farmasi*, 11(4).

Rahardjo, N. (1989). *Penggunaan Foto Udara untuk Mengetahui Kualitas Lingkungan Permukiman di kotamadya magelang dalam Kaitannya dengan kondisi Sosial Ekonomi Penghuni*. Universitas Gadjah Mada.

Rezeki, T., Agustina, Fahdhienie, F. (2025). Analisis Kondisi Fisik Lingkungan Rumah dengan Kejadian Tuberkulosis Paru. *Jambura Health and Sport Journal*, 7(1).

Riadhi, A. R., Aidid, M. K., Ahmar, A. S. (2020). Analisis Penyebaran Hunian dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbor Analysis. *VARIANSI: Journal of Statistics and Its Application on Teaching and Research*, 2(1).

Rosiana, A. M. (2013). Hubungan Antara Kondisi Fisik Rumah dengan Kejadian Tuberkulosis Paru. *Unnes*

- Journal of Public Health*, 2(1).
<http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/uiph>.
- Saran, S., Singh, P., Kumar, V., Chauhan, P. (2020). Review of Geospatial Technology for Infectious Disease Surveillance: Use Case on COVID-19. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(8):1121–1138.
- Surjati, E. (2020). Pola Spasial Persebaran Penyakit TB Paru di Kota Malang. *Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi*, 5(1).
- Susilawaty, A., et al. (2022). *Epidemiologi Lingkungan*. Padang: PT Global Eksekutif Teknologi.
- World Health Organization. (2021). *Global tuberculosis report 2021*. WHO Press.
<https://www.who.int/publications/i/item/9789240037021>.
- World Health Organization. (2022). *Global Tuberculosis Report 2022*. <http://apps.who.int/bookorders>.

Halaman ini sengaja kami kosongkan