

Pemodelan Matematika Penyebaran Epidemi di Lingkungan Perkotaan Menggunakan Model SEIR dengan Faktor Lingkungan

Warih Zunu Pamungkas¹, Adam Dista Prasetya²

¹⁻² Universitas Advent Indonesia, Indonesia

Abstrak: *This paper presents an improved SEIR (Susceptible-Exposed-Infectious-Recovered) model to simulate the spread of infectious diseases in urban environments, taking into account environmental factors such as population density, mobility, and air quality. By applying the model to a range of urban case studies, we analyze the impact of each factor on transmission rates and propose strategies for optimal intervention. The results show that cities with higher levels of mobility and pollution experience faster disease spread, which requires targeted health policies.*

Keywords: *SEIR model, epidemic spread, urban environment, mathematical modeling, environmental factors.*

Abstrak: Makalah ini menyajikan model SEIR (Susceptible-Expose-Infectious-Recovered) yang ditingkatkan untuk penyebaran penyakit menular di lingkungan perkotaan, dengan mempertimbangkan faktor lingkungan seperti kepadatan populasi, mobilitas, dan kualitas udara. Dengan menerapkan model ini pada berbagai studi kasus perkotaan, kami menganalisis dampak masing-masing faktor terhadap tingkat penularan dan menyarankan strategi untuk intervensi yang optimal. Hasil menunjukkan bahwa kota-kota dengan tingkat mobilitas dan polusi yang lebih tinggi mengalami penyebaran penyakit yang lebih cepat, yang memerlukan kebijakan kesehatan yang terarah.

Kata Kunci: Model SEIR, penyebaran epidemi, lingkungan perkotaan, pemodelan matematis, faktor lingkungan.

A. PENDAHULUAN

Penyebaran penyakit menular di lingkungan perkotaan menjadi isu yang semakin penting, terutama dalam konteks globalisasi dan urbanisasi yang pesat. Menurut data dari United Nations (2021), lebih dari 55% populasi dunia tinggal di kota-kota, dan angka ini diperkirakan akan meningkat menjadi 68% pada tahun 2050. Urbanisasi yang cepat ini membawa tantangan baru dalam pengendalian epidemi, di mana kepadatan populasi dan mobilitas tinggi dapat mempercepat penyebaran penyakit. Dalam konteks ini, model SEIR telah menjadi alat yang penting untuk memahami dinamika penyebaran penyakit, dengan mempertimbangkan berbagai faktor lingkungan yang mempengaruhi tingkat penularan.

Model SEIR klasik membagi populasi menjadi empat kategori: rentan (Susceptible), terpapar (Expose), terinfeksi (Infectious), dan sembuh (Recovered). Namun, untuk mencerminkan realitas yang lebih kompleks di lingkungan perkotaan, model ini perlu dibahas dengan memasukkan faktor-faktor seperti kepadatan penduduk, mobilitas, dan kualitas udara. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kepadatan populasi yang tinggi dapat meningkatkan interaksi sosial, yang berkontribusi pada penyebaran penyakit (Gonzalez et al., 2020). Oleh karena itu, pemodelan yang lebih komprehensif diperlukan untuk merumuskan strategi intervensi yang efektif.

Dalam studi ini, kami akan mengeksplorasi bagaimana setiap faktor lingkungan dapat mempengaruhi penyebaran penyakit di kota-kota besar. Kami akan menggunakan data dari beberapa kota di seluruh dunia, termasuk Jakarta, New York, dan Tokyo, untuk menganalisis pola penyebaran penyakit dan dampak dari faktor-faktor tersebut. Dengan pendekatan ini, kami berharap dapat memberikan wawasan lebih dalam tentang bagaimana intervensi kesehatan masyarakat dapat dioptimalkan untuk mengurangi dampak epidemi di lingkungan perkotaan.

B. METODOLOGI

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini melibatkan pengembangan model SEIR yang membahas dengan memasukkan variabel-variabel lingkungan. Kami mengambil kepadatan data dari Badan Pusat Statistik (BPS) dan mobilitas data dari Google Mobility Reports. Selain itu, data kualitas udara diambil dari Indeks Kualitas Udara Dunia. Model yang dikembangkan akan diuji dengan menggunakan data epidemiologis dari wabah penyakit menular yang terjadi di berbagai kota.

Model ini akan diimplementasikan dengan menggunakan perangkat lunak pemodelan matematis seperti MATLAB atau Python. Parameter-parameter dalam model akan diestimasi berdasarkan data historis, dan simulasi akan dilakukan untuk memprediksi penyebaran penyakit di masa depan. Dengan membandingkan hasil simulasi dengan data nyata, kami dapat memancarkan akurasi model dan memperbaiki parameter yang diperlukan. Penelitian ini juga akan mempertimbangkan intervensi kesehatan masyarakat, seperti vaksinasi dan melakukan mobilitas, untuk melihat dampaknya terhadap penyebaran penyakit.

Selama proses pengembangan model, kami akan melakukan analisis sensitivitas untuk menentukan faktor mana yang paling berpengaruh terhadap tingkat penularan. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi yang konkrit bagi kebijakan kesehatan masyarakat. Misalnya, jika mobilitas terbukti menjadi faktor kunci dalam penyebaran penyakit, maka aktivitas mobilitas mungkin menjadi langkah yang diperlukan untuk mengendalikan epidemi.

C. HASIL DAN DISKUSI

Hasil dari simulasi awal menunjukkan bahwa kota dengan kepadatan populasi yang tinggi dan tingkat mobilitas yang tinggi mengalami penyebaran penyakit yang lebih cepat. Misalnya, dalam studi kasus Jakarta, yang memiliki kepadatan penduduk sekitar 14.000 jiwa per kilometer persegi, tingkat penularan COVID-19 tercatat lebih tinggi dibandingkan dengan kota-kota lain dengan kepadatan lebih rendah (Dinas Kesehatan DKI Jakarta, 2022). Data

menunjukkan bahwa pada puncak wabah, Jakarta mencatat lebih dari 10.000 kasus baru per hari, yang menunjukkan perlunya intervensi yang cepat dan efektif.

Di sisi lain, kualitas udara juga berperan penting dalam penyebaran penyakit. Penelitian oleh Wu dkk. (2020) menunjukkan bahwa polusi udara dapat meningkatkan risiko infeksi saluran pernapasan, yang pada pasangannya dapat melancarkan penyebaran penyakit menular. Dalam konteks ini, kota-kota dengan tingkat polusi yang tinggi, seperti Beijing dan New Delhi, menghadapi tantangan tambahan dalam mengendalikan epidemi. Dengan menggunakan model SEIR yang kontroversial, kami dapat mengidentifikasi hubungan antara kualitas udara dan tingkat penularan, serta menyusun strategi untuk mengurangi dampak polusi terhadap kesehatan masyarakat.

Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa penerapan intervensi kesehatan masyarakat yang tepat dapat secara signifikan mengurangi penyebaran penyakit. Misalnya, dengan memperkenalkan mobilitas selama periode puncak penularan, kota-kota seperti New York berhasil menurunkan jumlah kasus baru secara drastis. Penelitian ini memberikan bukti bahwa kebijakan yang responsif dan berbasis data dapat membantu mengendalikan epidemi di lingkungan perkotaan.

D. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, kami telah mengembangkan model SEIR yang diperkirakan untuk menyebarkan penyebaran penyakit menular di lingkungan perkotaan dengan mempertimbangkan faktor-faktor lingkungan. Hasil menunjukkan bahwa kepadatan populasi, mobilitas, dan kualitas udara memiliki dampak signifikan terhadap tingkat penularan. Dengan memahami hubungan ini, kami dapat menyusun strategi intervensi yang lebih efektif untuk mengendalikan epidemi di kota-kota besar.

Penting untuk dicatat bahwa kebijakan kesehatan masyarakat yang berbasis data dan responsif terhadap kondisi lokal sangat diperlukan untuk mengurangi dampak penyakit menular. Selain itu, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi faktor-faktor lain yang mungkin mempengaruhi penyebaran penyakit, seperti perilaku masyarakat dan akses terhadap layanan kesehatan. Dengan pendekatan yang komprehensif, diharapkan kita dapat lebih baik dalam menanggapi tantangan kesehatan masyarakat di era urbanisasi yang terus berkembang.

E. REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian ini, kami merekomendasikan beberapa langkah untuk meningkatkan kesiapan dan respons terhadap epidemi di lingkungan perkotaan. Pertama, perlu adanya peningkatan sistem pemantauan kesehatan masyarakat yang dapat mendeteksi dan merespons wabah secara cepat. Penggunaan teknologi seperti aplikasi pelacakan dan pemantauan kualitas udara dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang tepat waktu.

Kedua, kebijakan pengurangan mobilitas selama periode puncak penularan harus dipertimbangkan sebagai langkah strategis untuk mengendalikan penyebaran penyakit. Pembatasan ini harus disertai dengan komunikasi yang jelas kepada masyarakat mengenai pentingnya langkah-langkah tersebut. Ketiga, peningkatan kualitas udara melalui regulasi industri dan transportasi juga harus menjadi prioritas, mengingat dampaknya terhadap kesehatan masyarakat.

Keempat, kolaborasi antara pemerintah, peneliti, dan masyarakat sipil sangat penting dalam merumuskan kebijakan yang efektif. Dengan melibatkan berbagai pemangku kepentingan, kita dapat menciptakan pendekatan yang lebih holistik dalam mengatasi epidemi. Terakhir, penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi interaksi antara berbagai faktor lingkungan dan perilaku masyarakat dalam konteks penyebaran penyakit menular.

REFERENSI

- Anderson, RM, & May, RM (1992). *Penyakit Menular pada Manusia: Dinamika dan Pengendalian*. Oxford University Press.
- Buku fundamental mengenai pemodelan matematis penyebaran penyakit menular.
- Hethcote, HW (2000). *Matematika Penyakit Menular*. *Tinjauan SIAM*, 42(4), 599–653.
- Ulasan komprehensif tentang model epidemiologi termasuk model SIR dan SEIR.
- Li, Q., Guan, X., Wu, P., Wang, X., Zhou, L., Tong, Y. , ... & Feng, Z. (2020). *Dinamika Penularan Awal Pneumonia Akibat Infeksi Virus Corona Baru di Wuhan, Tiongkok*. *New England Journal of Medicine*, 382(13), 1199-1207.
- Studi kasus awal penyebaran COVID-19 di Wuhan menggunakan pendekatan SEIR.
- Arino, J., van den Driessche, P. (2003). *Model Epidemik Multi-Kota*. *Studi Populasi Matematika*, 10(3), 175-193.
- Model epidemi yang mempertimbangkan interaksi antara beberapa kota dalam penyebaran penyakit.

Wu, X., Nethery, RC, Sabath, BM, Braun, D., & Dominici, F. (2020). Paparan Polusi Udara dan Kematian Akibat COVID-19 di Amerika Serikat: Studi Lintas Seksi Nasional. *Environmental Research*, 187, 109817.

Penelitian tentang dampak polusi udara terhadap penyebaran dan kematian COVID-19.

Kucharski, AJ, & Althaus, CL (2015). Peran Penyebaran Super dalam Penularan Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS-CoV). *Epidemics*, 9, 40–45.

Analisis faktor lingkungan dan sosial pada penyebaran MERS-CoV dengan model SEIR.

Tolles, J., & Luong, T. (2020). Pemodelan Epidemi dengan Model Kompartemen. *JAMA*, 323(24), 2515–2516.

Tinjauan ringkas tentang model SIR dan SEIR dalam pemodelan epidemi.

Jia, JS, Lu, X., Yuan, Y., Xu, G., Jia, J., & Christakis, NA (2020). Arus Populasi Mendorong Distribusi Spatio-Temporal COVID-19 di Tiongkok. *Alam*, 582(7812), 389-394.

Studi tentang pengaruh mobilitas penduduk pada penyebaran COVID-19 di perkotaan.

Huang, Z., & Zhang, Q. (2020). Kepadatan Kota dan COVID-19: Studi Kasus di Empat Wilayah Metropolitan AS. *Health & Place*, 65, 102644.

Analisis kepadatan penduduk dalam penyebaran COVID-19 di lingkungan perkotaan.

Vespignani, A., Tian, H., Dye, C., Lloyd-Smith, JO, Eggo, RM, Shrestha, M., & Scarpino, SV (2020). Pemodelan COVID-19. *Nature Reviews Physics*, 2(6), 279–281.

Pembahasan tentang pemodelan COVID-19 dan penerapan berbagai model epidemiologi.

Feng, Z., Towers, S., & Yang, Y. (2011). Pemodelan Dampak Polusi Udara terhadap Penularan Influenza di Amerika Serikat. *Environmental Health Perspectives*, 119(10), 1401–1405.

Model SEIR yang mempertimbangkan polusi udara sebagai faktor risiko influenza.

Keeling, MJ, & Rohani, P. (2008). *Pemodelan Penyakit Menular pada Manusia dan Hewan*. Princeton University Press.

Buku referensi tentang pemodelan penyakit infeksius, termasuk model SEIR dan variannya.

Allen, LJS (2008). Pengantar Model Epidemi Stokastik. Dalam *Epidemiologi Matematika* (hlm. 81-130). Springer.

Diskusi tentang model epidemi stokastik, relevan dengan situasi penyebaran yang mempengaruhi faktor acak.

Kraemer, MUG, Yang, CH, Gutierrez, B., Wu, CH, Klein, B., Pigott, D. M. , ... & Brownstein, JS (2020). Dampak Mobilitas Manusia dan Langkah-Langkah

Pengendalian terhadap Epidemii COVID-19 di Tiongkok. *Science*, 368(6490), 493–497.

Studi tentang dampak mobilitas manusia dan intervensi kesehatan pada penyebaran COVID-19.

Zanette, DH, & Risau-Gusman, S. (2008). Penyebaran Infeksi pada Populasi dengan Kontak yang Berkembang. *Jurnal Fisika Biologi*, 34(1-2), 135–148.

Model epidemi yang mempertimbangkan perubahan dinamika kontak dalam populasi perkotaan.