

Pemetaan Kasus Tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2020 Menggunakan Model Bayesian Spasial BYM dan Leroux

Aswi Aswi^{1, a)}, Sukarna Sukarna^{2, b)}, dan Nurhilalayah^{3, c)}

¹Program Studi Statistika, Universitas Negeri Makassar

²Jurusan Matematika, Universitas Negeri Makassar

³Jurusan Fisika, Universitas Negeri Makassar

^{a)} aswi@unm.ac.id

^{b)} sukarna@unm.ac.id

^{c)} nurhilalayah@unm.ac.id

Abstrak. Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit menular yang merupakan salah satu dari sepuluh penyebab utama kematian di dunia. Indonesia merupakan negara yang menempati urutan tertinggi kedua penderita TBC di dunia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi area dengan risiko relatif (RR) tinggi TBC maupun rendah dengan menggunakan model Bayesian spasial Conditional Autoregressive (CAR) Besag-York-Mollié (BYM) dan Leroux. Data kasus TBC di setiap 24 kabupaten/kota di provinsi Sulawesi Selatan tahun 2020 digunakan. Model terbaik dipilih berdasarkan tiga kriteria yaitu Deviance Information Criteria (DIC), Watanabe Akaike Information Criteria (WAIC), dan residual Modified Moran's I (MMI). Dari hasil analisis, diperoleh bahwa model Bayesian spasial CAR BYM dan CAR Leroux dengan hyperprior IG (0,5; 0,0005) merupakan model terbaik yang memiliki nilai RR yang sama. Kota Makassar merupakan wilayah dengan nilai RR tertinggi (1,70) yang mengindikasikan bahwa Kota Makassar memiliki risiko TBC 70% lebih tinggi dari rata-rata. Sebaliknya, Kabupaten Toraja memiliki risiko TBC terendah (0,43) yang menunjukkan bahwa Toraja memiliki risiko TBC 43% lebih rendah dari rata-rata.

Kata Kunci: Tuberkulosis, Bayesian, spasial CAR, BYM, Leroux

Abstract. Tuberculosis (TB) is an infectious disease that is one of the ten leading causes of death in the world. Indonesia is a country with the second-highest number of TB sufferers in the world. This study aims to identify areas with a high and low relative risk (RR) of TB by using the Bayesian Spatial Conditional Autoregressive (CAR) Besag-York-Mollié (BYM) and Leroux models. TB case data in every 24 districts/cities in South Sulawesi province in 2020 is used. The best model was selected based on three criteria, namely Deviance Information Criteria (DIC), Watanabe Akaike Information Criteria (WAIC) and Modified Moran's I (MMI) for residuals. The results show that the Bayesian Spatial CAR BYM and CAR Leroux with hyperprior IG (0.5; 0.0005) are the best models that have the same RR value. Makassar City is the area with the highest RR value (1.70) which indicates that Makassar City has a TB risk 70% higher than the average. On the other hand, the Toraja district has the lowest TB risk (0.43) which indicates that Toraja has a TB risk 43% lower than the average.

Keywords: Tuberculosis, Bayesian, spatial CAR, BYM, Leroux

PENDAHULUAN

Tuberkulosis (TBC) merupakan penyakit menular yang diakibatkan oleh kuman *Mycobacterium tuberculosis*. Penyakit menular ini merupakan salah satu dari sepuluh penyebab utama kematian di dunia. Indonesia merupakan negara yang memiliki kasus tuberkulosis tertinggi kedua di dunia setelah negara India. Sekitar sepuluh juta orang terjangkit TBC di tahun 2019. Jumlah kematian mencapai 1,4 juta jiwa pada tahun 2019 (Kemenkes, 2021). Penyebaran TBC sangat mudah sekali melalui udara. Penanganan TBC sejak dini di Indonesia telah dilakukan melalui pemberian paket imunisasi *Bacillus Calmette-Guérin* (BCG) pada balita (Dinkes, 2021).

Angka notifikasi semua kasus tuberkulosis tahun 2020 berdasarkan provinsi di Indonesia bervariasi antara 65 per 100.000 penduduk pada Provinsi Bali dan 244 per 100.000 penduduk pada Provinsi Papua. Angka notifikasi semua kasus tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Selatan menduduki peringkat ke sebelas dari 34 provinsi yang ada di Indonesia (Kemenkes, 2021).

Penelitian terkait pemodelan spasial penyakit TBC telah dilakukan. Statistik Getis-Ord G_i^* dengan SaTscan digunakan untuk mengkarakterisasi hotspot dan kluster TBC di Zimbabwe pada tingkat kabupaten dari tahun 2015 hingga 2018 menggunakan perangkat lunak GIS dalam memetakan dan memvisualisasikan hasil analisis kluster (Gwitira et al., 2021). Analisis spasial penyebaran TBC menggunakan *Local Indicator of Spatial Association* (LISA) di Kota Makassar, Indonesia telah dilakukan (Aswi, Zaki, & Hijrayanti, 2015). Analisis temporal dan spasial menggunakan Moran's I , Local Getis's G_i^* , dan *Kulldorff's space-time scan statistics*, digunakan untuk mengidentifikasi tren temporal dan pola spasial TBC di Provinsi Zhejiang, China (Ge, Zhang, Wang, & Wei, 2016). Namun, penelitian tersebut belum mengimplementasikan metode Bayesian.

Sejumlah kecil penelitian tentang pemodelan kasus TBC telah menerapkan model Bayesian spasial. Model Bayesian spasial menggunakan model Poisson Besag, York & Mollié (BYM) telah diimplementasikan untuk pemetaan dan pengidentifikasian wilayah yang memiliki risiko tinggi terkait kasus TBC di Portugal (Oliveira et al., 2020). Pendekatan Bayesian hirarki untuk pemodelan dan pemetaan risiko relatif TBC di Kenya dengan mengaplikasikan beberapa model termasuk model Bayesian hirarki non spasial (Poisson-Gamma dan Poisson Log-Normal) dan model Bayesian hirarki spasial (model CAR dan BYM) telah dilakukan (Iddrisu & Amoako, 2016). Implementasi model Bayesian hirarki data count dengan membandingkan model Bayesian spasial BYM dan Leroux telah dilakukan (Duncan & Mengersen, 2020; Florian & Reinhard, 2015). Perbandingan model Bayesian spasial BYM, Leroux dan Localised juga telah diimplementasikan tetapi pada kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) (A. Aswi, Cramb, Duncan, & Mengersen, 2020). Model Bayesian spasial CAR Leroux telah digunakan untuk memodelkan rawat inap pasien DBD (A. Aswi et al., 2020).

Sepanjang pengetahuan kami, perbandingan model Bayesian spasial CAR BYM, dan CAR Leroux dalam menganalisis risiko relatif TBC belum dieksplorasi. Tujuan dari tulisan ini adalah untuk membandingkan model Bayesian spasial CAR BYM dan CAR Leroux dalam memodelkan kasus TBC dan mendapatkan model terbaik dalam memodelkan risiko relatif (RR) kasus TBC di Provinsi Sulawesi Selatan.

METODE PENELITIAN

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder mengenai kasus TBC di setiap kabupaten/kota di Provinsi Sulawesi Selatan yang telah dipublikasi oleh Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan (Dinkes, 2021). Data jumlah penduduk yang diperoleh dari publikasi Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Sulawesi Selatan (Badan Pusat Statistik, 2021) juga digunakan untuk menghitung nilai ekspektasi kasus TBC. Data kasus TBC ini dianalisis dengan menggunakan model Bayesian spasial CAR BYM dan model CAR Leroux dimana banyaknya kasus TBC (y_i) diasumsikan mengikuti distribusi Poisson. Kedua model tersebut dijelaskan sebagai berikut:

Model CAR BYM

Model CAR BYM merupakan model dengan dua komponen yaitu spasial terstruktur u_i dengan menggunakan prior CAR dan spasial tidak terstruktur v_i dengan menggunakan prior normal yang dituliskan sebagai berikut:

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i)$$

$$\log(\theta_i) = \alpha + u_i + v_i$$

u_i dengan prior CAR dituliskan sebagai berikut:

$$(u_i | u_j, i \neq j, \tau_u^2) \sim N\left(\frac{\sum_j u_j \omega_{ij}}{\sum_j \omega_{ij}}, \frac{\tau_u^2}{\sum_j \omega_{ij}}\right)$$

y_i adalah banyaknya kasus TBC pada kabupaten/kota $i = 1, \dots, 24$. θ_i adalah risiko relatif, α adalah keseluruhan risiko relatif, E_i adalah nilai ekspektasi banyaknya kasus TBC pada kabupaten/kota ke $i = 1, \dots, 24$ yang didefinisikan sebagai berikut:

$$E_i = \frac{\sum_i y_i}{\sum_i n_i} n_i$$

dimana n_i merupakan banyaknya penduduk pada wilayah i .

Model CAR Leroux

Model CAR Leroux merupakan model dengan satu komponen spasial terstruktur u_i yang mengkombinasikan prior CAR dan prior normal yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i)$$

$$\log(\theta_i) = \alpha + u_i$$

dimana

$$(u_i | u_j, i \neq j, \tau_u^2) \sim N\left(\frac{\rho \sum_j u_j \omega_{ij}}{\rho \sum_j \omega_{ij} + 1 - \rho}, \frac{\tau_u^2}{\rho \sum_j \omega_{ij} + 1 - \rho}\right)$$

Nilai ρ dimungkinkan bervariasi antara nol dan satu. Jika $\rho = 1$, diperoleh model *intrinsic* CAR (ICAR), dan jika $\rho = 0$ diperoleh model independen.

Lima hyperprior yang berbeda untuk τ_u^2 pada kedua model CAR BYM dan CAR Leroux digunakan yaitu Invers-Gamma (1; 0,01), Invers-Gamma (1; 0,1), Invers-Gamma (0.1; 0,1), Invers-Gamma (0.5; 0,05) dan Invers-Gamma (0.5; 0,0005). w_{ij} merupakan matrik pembobot spasial biner (Waller & Gotway, 2004) yang didefinisikan sebagai berikut:

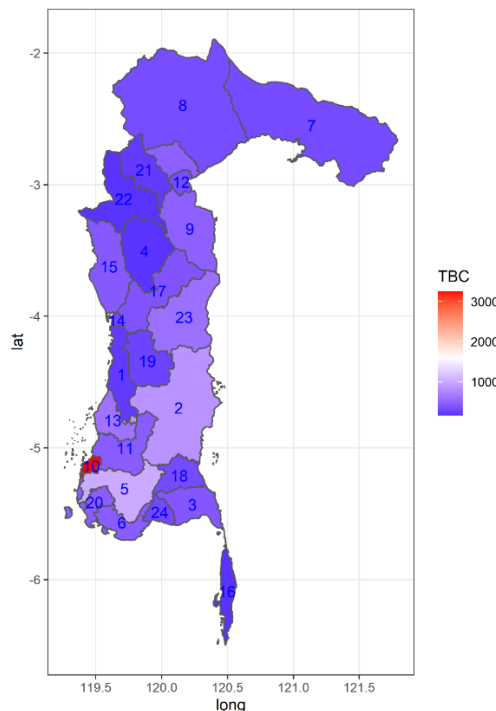
$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika wilayah saling bertetangga} \\ 0 & \text{jika wilayah tidak saling bertetangga} \end{cases}$$

Paket CARBayes versi 5.2.3 (Lee, 2013) pada software R (R Core Team, 2019) digunakan dalam menganalisis data. Algoritma *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) diterapkan untuk mendapatkan distribusi posterior yang didasarkan pada 10.000 iterasi dengan 20.000 MCMC sampel setelah burn-in 10.000. *Trace plot* digunakan dalam pengecekan kekonvergenan dari parameter model. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan beberapa kriteria yaitu: *Deviance Information Criteria* (DIC) (Spiegelhalter, Best, Carlin, & Van Der Linde, 2002), *Watanabe Akaike Information Criteria* (WAIC) (Watanabe, 2010), dan residual Modified Moran's *I* (MMI) (A. Aswi, Cramb, Duncan, & Mengersen, 2021; Carrijo & Da Silva, 2017). Perhitungan statistik Moran's *I* (Moran, 1950) dan MMI untuk data jumlah kasus TBC juga dilakukan untuk pengecekan autokorelasi spasial (A. Aswi et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif

Total kasus tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2020 adalah 12.203 kasus dengan nilai median 347, nilai mean 509, dan nilai simpangan baku 619,33. Kota Makassar (ID=10), Gowa (ID=5) dan Kabupaten Bone (ID=2) merupakan tiga kota/kabupaten yang memiliki kasus tuberkulosis tertinggi berturut-turut 3.255, 1.004, dan 832 kasus (lihat Gambar 1), sedangkan Kabupaten Toraja (ID=22), Kabupaten Selayar (ID=16) dan Kabupaten Enrekang (ID=4) merupakan tiga kota/kabupaten yang memiliki kasus tuberkulosis terendah berturut-turut 156, 158 dan 161 kasus. Peta banyaknya kasus tuberkulosis di setiap kabupaten/kota Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2020 dapat dilihat pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Peta Kasus Tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Selatan tahun 2020

Selanjutnya, total penduduk di Provinsi Sulawesi Selatan pada tahun 2020 adalah 9.073.800. Tiga kabupaten/kota pertama yang memiliki jumlah penduduk tertinggi adalah Kota Makassar, Kabupaten Bone dan Kabupaten Gowa, sedangkan Kabupaten Selayar, Kota Pare-Pare, dan Kabupaten Barru merupakan tiga kabupaten/kota pertama yang memiliki jumlah penduduk terendah.

Nilai Moran's I dan Modified Moran's I (MMI)

Nilai statistik Moran's I adalah 0,09, nilai ekpektasi adalah -0,04 dan nilai variansi adalah 0,005 dengan p -value = 0,028. Nilai p -value yang leboh kecil dari $\alpha=5\%$ mengindikasikan bahwa terdapat autokorelasi spasial yang positif pada kasus tuberkulosis di Provinsi Sulawesi Selatan. Nilai Moran's I yang dimodifikasi adalah 0,14.

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik didasarkan pada beberapa kriteria yaitu nilai DIC, WAIC dan residual MMI. Nilai DIC, WAIC dan residual MMI untuk model Bayesian CAR BYM dan CAR Leroux diberikan pada Tabel 1.

TABEL 1. Nilai WAIC, DIC dan Residual MMI untuk Model CAR BYM dan Leorux

| Hyperpriors | Model CAR BYM | | | Model CAR Leroux | | |
|-------------------------|---------------|---------------|-----------------|------------------|---------------|-----------------|
| | DIC | WAIC | Residual MMI | DIC | WAIC | Residual MMI |
| IG (1; 0,01) | 236,88 | 233,17 | -0,15 | 236,57 | 232,26 | -0,31 |
| IG (1; 0,1) | 237,38 | 234,36 | -0,42 | 236,48 | 232,07 | -0,24 |
| IG (0,1; 0,1) | 237,26 | 234,01 | -0,51 | 236,71 | 232,53 | -0,32 |
| IG (0,5; 0,05) | 237,25 | 233,85 | -0,41 | 236,09 | 230,78 | -0,29 |
| IG (0,5; 0,0005) | 236,73 | 232,68 | 0,03 | 236,63 | 231,97 | -0,19 |

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai DIC untuk kedua model CAR BYM dan CAR Leroux relatif sama. Nilai WAIC terkecil untuk model CAR BYM adalah dengan menggunakan hyperprior IG (0,5; 0,0005) yaitu 232,68, dimana model ini juga memiliki nilai residual MMI terkecil yaitu 0,03. Sedangkan untuk Model CAR Leroux, nilai WAIC terkecil adalah model dengan menggunakan hyperprior IG (0,5; 0,05) yaitu 230,78 yang relatif sama dengan model yang menggunakan hyperprior IG (0,5; 0,0005) yaitu 231,97. Akan tetapi, nilai residual MMI terkecil adalah model dengan hyperprior IG (0,5; 0,0005) yaitu -0,19. Dengan demikian, model yang dipilih dalam menggambarkan risiko relatif kasus tuberkulosis ini adalah model yang menggunakan hyperprior IG (0,5; 0,0005).

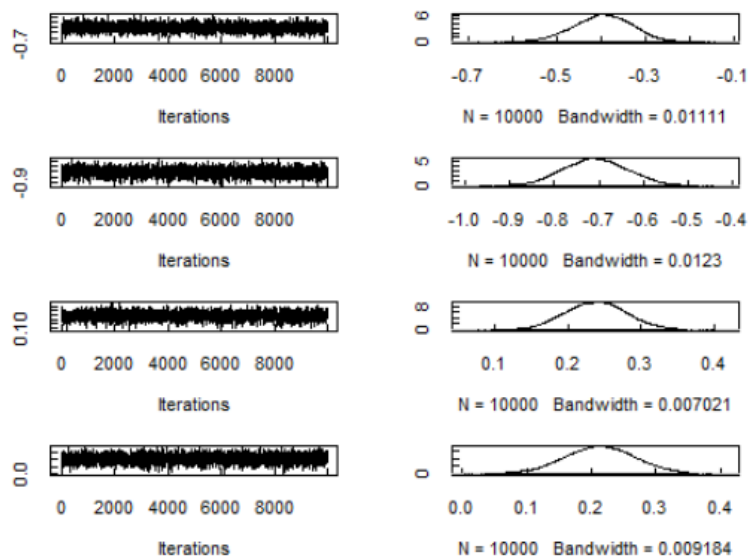
Kabupaten/kota dengan risiko tertinggi TBC adalah Kota Makassar dengan nilai RR 1,70. Hal ini berarti bahwa Kota Makassar memiliki risiko TBC 70% lebih tinggi dari rata-rata. Kabupaten/kota yang memiliki risiko relatif di atas rata-rata ditandai dengan nilai RR yang lebih besar dari satu yaitu kota Makassar (RR=1,70), Kota Parepare (RR=1,41), Kabupaten Pangkep (RR=1,28), Kabupaten Palopo (RR=1,28), Kabupaten Wajo (RR=1,11), Kabupaten Bantaeng dan Takalar dengan nilai RR yang sama yaitu 1,09.

Sedangkan ke tujuh belas kabupaten/kota lainnya termasuk wilayah dengan risiko relatif di bawah rata-rata. Kabupaten Toraja memiliki risiko TBC terendah (RR=0,43), diikuti oleh Kabupaten Enrekang (RR=0,55) dan Toraja Utara (RR=0,59).

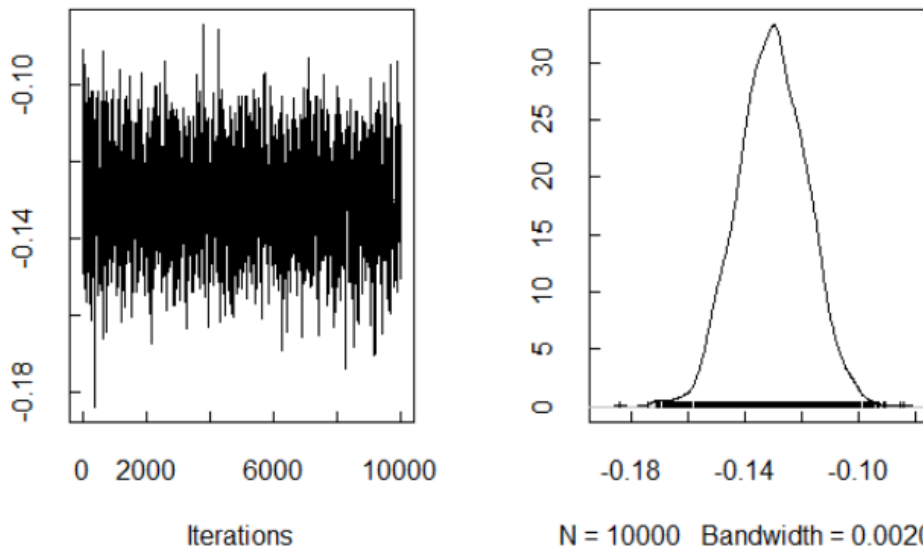
TABEL 2. Banyaknya Kasus TBC dan Nilai RR menggunakan Model CAR BYM dan CAR Leroux dengan hyperprior IG (0,5; 0,0005)

| ID | Kabupaten/Kota | Kasus TBC | Model | |
|----|----------------|-----------|-------|--------|
| | | | BYM | Leroux |
| 1 | Barru | 204 | 0,83 | 0,83 |
| 2 | Bone | 832 | 0,77 | 0,78 |
| 3 | Bulukumba | 391 | 0,67 | 0,67 |
| 4 | Enrekang | 161 | 0,55 | 0,55 |
| 5 | Gowa | 1004 | 0,97 | 0,97 |
| 6 | Jeneponto | 436 | 0,81 | 0,81 |
| 7 | Luwu Timur | 312 | 0,79 | 0,78 |
| 8 | Luwu Utara | 322 | 0,74 | 0,74 |
| 9 | Luwu | 461 | 0,93 | 0,93 |
| 10 | Makassar | 3255 | 1,70 | 1,70 |
| 11 | Maros | 432 | 0,82 | 0,82 |
| 12 | Palopo | 322 | 1,28 | 1,28 |
| 13 | Pangkep | 600 | 1,28 | 1,28 |
| 14 | Parepare | 294 | 1,41 | 1,41 |
| 15 | Pinrang | 414 | 0,76 | 0,76 |
| 16 | Selayar | 158 | 0,86 | 0,85 |
| 17 | Sidrap | 372 | 0,87 | 0,87 |
| 18 | Sinjai | 306 | 0,88 | 0,88 |
| 19 | Soppeng | 262 | 0,83 | 0,83 |
| 20 | Takalar | 443 | 1,09 | 1,09 |
| 21 | Toraja Utara | 203 | 0,59 | 0,59 |
| 22 | Toraja | 156 | 0,43 | 0,43 |
| 23 | Wajo | 572 | 1,11 | 1,12 |
| 24 | Bantaeng | 291 | 1,09 | 1,09 |

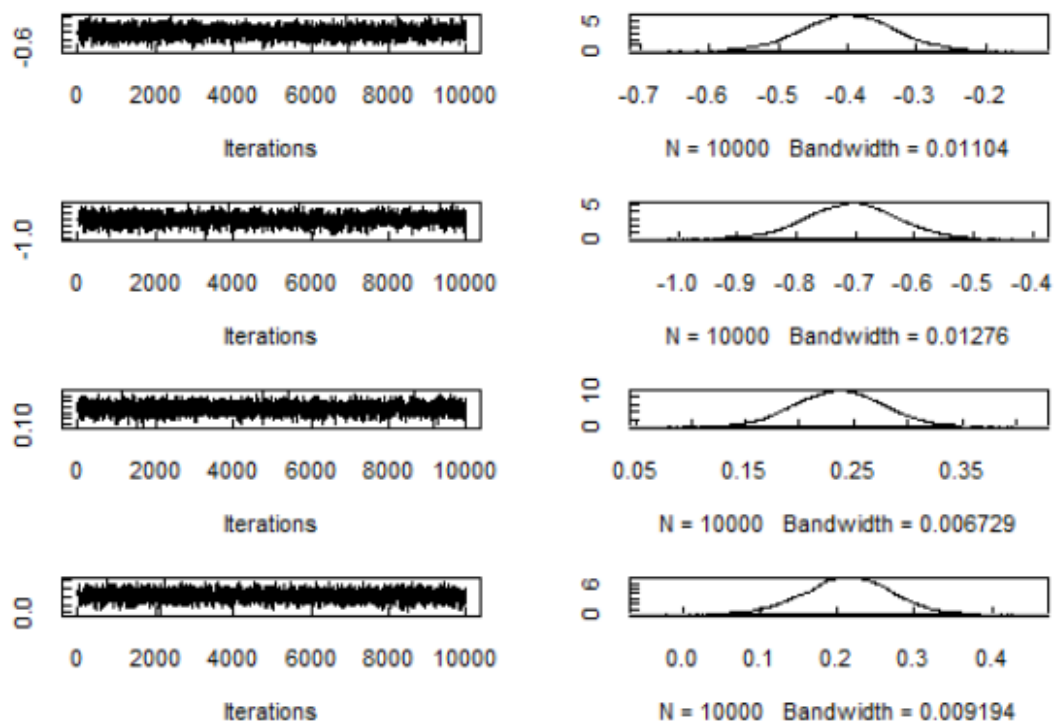
Uji konvergensi dari masing masing model dilakukan melalui visualisasi *trace plot* yang dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 5



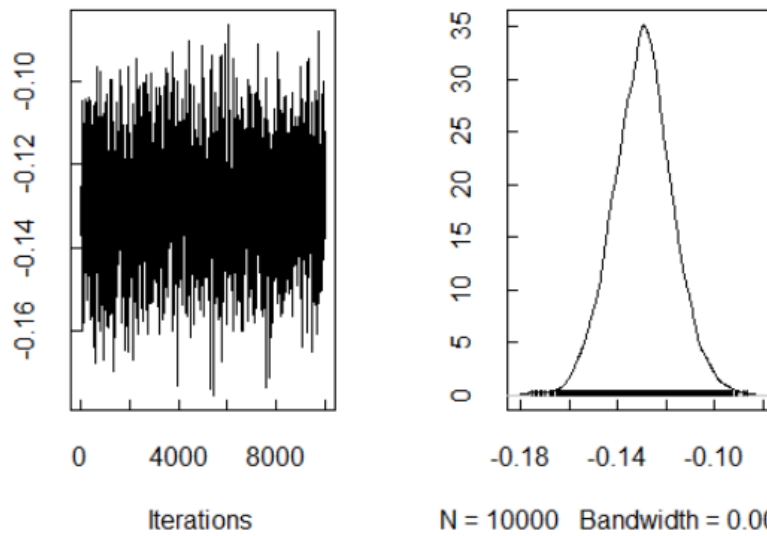
GAMBAR 2. Trace plot untuk ϕ samples (u_i) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior (τ_u^2) IG(0,5; 0,0005)



GAMBAR 3. Trace plot untuk beta samples (α) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior (τ_u^2) IG (0,5; 0,0005)



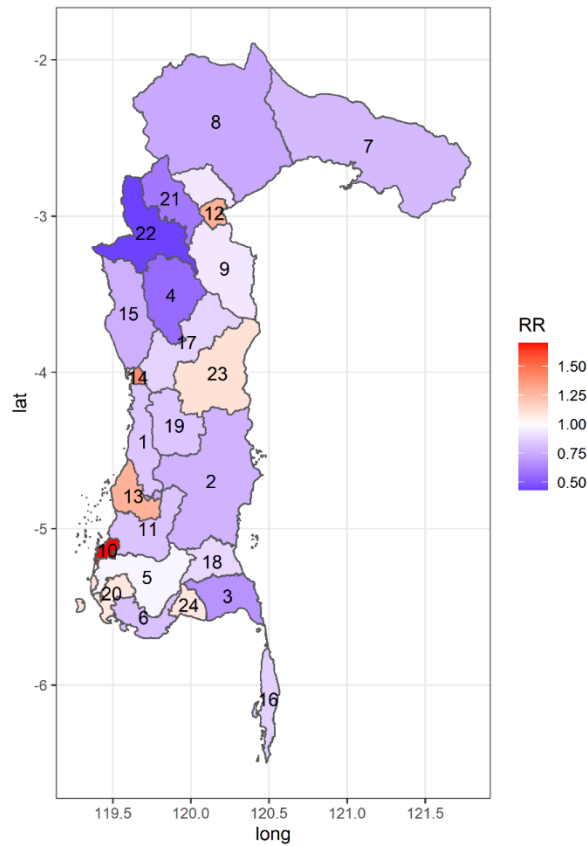
GAMBAR 4. Trace plot untuk psi samples ($u_i + v_i$) berdasarkan model CAR BYM dengan hyperprior (τ_u^2) IG (0,5; 0,0005)



GAMBAR 5. Trace plot untuk β samples (α) berdasarkan model CAR BYM dengan hyperprior (τ_u^2) IG(0,5; 0,0005)

Peta Risiko Relatif Tuberkulosis

Visualisasi peta tematik RR kasus TBC di 24 kabupaten/kota berdasarkan model terbaik yaitu model Bayesian spasial CAR BYM hyperprior (τ_u^2) IG (0,5; 0,0005) dapat dilihat pada Gambar 6.



GAMBAR 6. Peta Risiko Relatif Tuberkulosis menggunakan Model Bayesian Spasial CAR BYM

Berdasarkan Gambar 6, kabupaten/kota yang memiliki risiko relatif di atas rata-rata ditandai dengan nilai $RR > 1$ (daerah dengan warna merah) dimana warna merah yang semakin tua menandakan semakin tinggi risikonya. Wilayah dengan risiko tinggi TBC yaitu kota Makassar (ID=10), Kota Parepare (ID=14), Kabupaten Pangkep (ID=13), Kabupaten Palopo (ID=12), Kabupaten Wajo (ID=23), Kabupaten Bantaeng (ID=24) dan Kabupaten Takalar (ID=20). Sebaliknya, kabupaten/kota yang memiliki risiko relatif di bawah rata-rata ditandai dengan nilai $RR < 1$ (daerah dengan warna biru). Warna biru yang semakin tua menandakan semakin rendah risikonya. Wilayah dengan risiko terendah adalah Kabupaten Toraja (ID=22), diikuti oleh Kabupaten Enrekang (ID=4) dan Toraja Utara (ID=21).

KESIMPULAN

Hasil penelitian ini merekomendasikan untuk menggunakan analisis sensitivitas melalui pemilihan beberapa hyperprior saat menggunakan metode Bayesian karena perbedaan hyperprior memberikan hasil yang berbeda. Model Bayesian spasial CAR BYM dan CAR Leroux dengan hyperprior IG (0,5; 0,0005) merupakan model terbaik yang memiliki nilai RR yang sama. Kota Makassar merupakan wilayah dengan nilai RR tertinggi yang memiliki risiko TBC 70% lebih tinggi dari rata-rata. Kota Parepare dan Kabupaten Pangkep masing masing memiliki RR tertinggi kedua dan ketiga. Sebaliknya, Kabupaten Toraja memiliki risiko TBC terendah (0,43) diikuti oleh Kabupaten Enrekang dan Kabupaten Toraja Utara. Kabupaten Toraja memiliki risiko TBC 43% lebih rendah dari rata-rata.

DAFTAR PUSTAKA

- Aswi, Zaki, A., & Hijrayanti. (2015). *Spatial Analysis of the Spread of Tuberculosis Using Local Indicator of Spatial Association (LISA) in Makassar, Indonesia*. Paper presented at the International Conference on Statistics, Mathematics, Teaching, and Research, Makassar.
- Aswi, A., Cramb, S., Duncan, E., Hu, W., White, G., & Mengersen, K. (2020). Bayesian spatial survival models for hospitalisation of Dengue: A case study of Wahidin hospital in Makassar, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(3). doi:10.3390/ijerph17030878
- Aswi, A., Cramb, S., Duncan, E., & Mengersen, K. (2020). Evaluating the impact of a small number of areas on spatial estimation. *International Journal of Health Geographics*, 19(1), 39-39. doi:10.1186/s12942-020-00233-1
- Aswi, A., Cramb, S., Duncan, E., & Mengersen, K. (2021). Detecting Spatial Autocorrelation for a Small Number of Areas: a practical example. *Journal of physics. Conference series*, 1899(1), 12098. doi:10.1088/1742-6596/1899/1/012098
- Badan Pusat Statistik. (2021). *Sulawesi Selatan in Figures 2021*. Makassar: Badan Pusat Statistik.
- Carrijo, T. B., & Da Silva, A. R. (2017). Modified Moran's I for Small Samples. *Geographical Analysis*, 49(4), 451-467. doi:10.1111/gean.12130
- Dinkes, P. S. S. (2021). *Profil Dinas Kesehatan Provinsi Sulawesi Selatan Tahun 2020*. Makassar.
- Duncan, E. W., & Mengersen, K. L. (2020). Comparing Bayesian spatial models: Goodness-of-smoothing criteria for assessing under- and over-smoothing. *PLoS ONE*, 15(5), e0233019-e0233019. doi:10.1371/journal.pone.0233019

-
- Florian, G., & Reinhard, F. (2015). Pitfalls in the Implementation of Bayesian Hierarchical Modeling of Areal Count Data: An Illustration Using BYM and Leroux Models. *Journal of Statistical Software*, 63(1), 1-32. doi:10.18637/jss.v063.c01
- Ge, E., Zhang, X., Wang, X., & Wei, X. (2016). Spatial and temporal analysis of tuberculosis in Zhejiang Province, China, 2009-2012. *Infectious Diseases of Poverty*, 5(11), 11-11. doi:10.1186/s40249-016-0104-2
- Gwitira, I., Karumazondo, N., Shekede, M. D., Sandy, C., Siziba, N., & Chirenda, J. (2021). Spatial patterns of pulmonary tuberculosis (TB) cases in Zimbabwe from 2015 to 2018. *PLoS ONE*, 16(4), e0249523-e0249523. doi:10.1371/journal.pone.0249523
- Iddrisu, A.-K., & Amoako, Y. A. (2016). Spatial Modeling and Mapping of Tuberculosis Using Bayesian Hierarchical Approaches. *Open Journal of Statistics*, 6, 418-513. doi: <http://dx.doi.org/10.4236/ojs.2016.63043>
- Kemenkes. (2021). *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2020*. Jakarta.
- Lee, D. (2013). CARBayes: an R package for Bayesian spatial modeling with conditional autoregressive priors. *Journal of Statistical Software*, 55(13), 1-24.
- Moran, P. A. P. (1950). Notes on continuous stochastic phenomena. *Biometrika*, 37(1-2), 17. doi:10.1093/biomet/37.1-2.17
- Oliveira, O., Ribeiro, A. I., Krainski, E. T., Rito, T., Duarte, R., & Correia-Neves, M. (2020). Using Bayesian spatial models to map and to identify geographical hotspots of multidrug-resistant tuberculosis in Portugal between 2000 and 2016. *Scientific reports*, 10(1), 16646-16646. doi:10.1038/s41598-020-73759-w
- R Core Team. (2019). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing. Retrieved from <http://www.R-project.org>
- Spiegelhalter, D. J., Best, N. G., Carlin, B. P., & Van Der Linde, A. (2002). Bayesian measures of model complexity and fit. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B, Statistical methodology*, 64(4), 583-639. doi:10.1111/1467-9868.00353
- Waller, L. A., & Gotway, C. A. (2004). *Applied spatial statistics for public health data*. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.
- Watanabe, S. (2010). Asymptotic Equivalence of Bayes Cross Validation and Widely Applicable Information Criterion in Singular Learning Theory. *Journal of Machine Learning Research*, 11, 3571-3594.