

Pemodelan Kasus Covid-19 Di Indonesia Menggunakan Analisis Spasial Dengan Pendekatan Bayesian

Aswi Aswi*

Program Studi Statistika, FMIPA Universitas Negeri Makassar

*Korespondensi: aswi@unm.ac.id

Sukarna

Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Negeri Makassar

Nurhilalayah

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Makassar

ABSTRAK, Kasus terkonfirmasi positif Covid-19 dilaporkan pertama kali di Indonesia pada tanggal 2 Maret 2020. Hingga 30 September 2022, Indonesia memiliki 6.465.207 kasus. Berbagai penelitian mengenai pemodelan kasus Covid-19 telah dilakukan. Akan tetapi, penelitian menggunakan model Bayesian spasial *Conditional Autoregressive* (CAR) Leroux (BSCL) untuk kasus Covid-19 di 34 provinsi di Indonesia belum sepenuhnya dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model BSCL terbaik dalam mengestimasi risiko relatif (RR) kasus Covid-19 di 34 provinsi di Indonesia dan menghasilkan peta tematik RR. Data agregat kasus positif Covid-19 (2 Maret 2020-30 September 2022) digunakan dalam penelitian ini. Selain itu, data jumlah penduduk di 34 provinsi di Indonesia tahun 2021 juga digunakan. Kriteria dalam memilih model terbaik adalah dengan melihat nilai residual dari Modifikasi Moran's I (MMI) yang lebih dekat ke nol, nilai *Watanabe Akaike Information Criteria* yang terkecil serta nilai *Deviance Information Criteria* (DIC) terkecil. Hasil pengolahan data Covid-19 menunjukkan bahwa model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1). merupakan model terbaik dalam mengestimasi RR kasus Covid-19 di Indonesia. Sekitar 29,41% (10 provinsi) di Indonesia yang memiliki nilai RR kategori tinggi terjangkit Covid-19. Provinsi dengan RR tertinggi dan terendah masing-masing adalah Provinsi DKI Jakarta (RR=5,68) dan Provinsi Nusa Tenggara Barat (RR=0,28).

Kata Kunci: Covid-19, Metode Bayesian, *Conditional Autoregressive* (CAR) Leroux, Risiko Relatif, Spasial

1. PENDAHULUAN

Penyebaran wabah virus corona 2019 (Covid-19) hampir meliputi seluruh dunia. Kasus terkonfirmasi positif Covid-19 dilaporkan pertama kali di Indonesia pada tanggal 2 Maret 2020. Hingga 30 September 2022, Indonesia memiliki 6.465.207 kasus terkonfirmasi positive Covid-19

(<http://infeksiemerging.kemkes.go.id/>).

Beberapa penelitian sebelumnya telah

memodelkan kasus Covid-19 dengan mengimplementasikan model spasial *Conditional Autoregressive* (CAR) dengan pendekatan Bayesian. Penelitian dengan menggunakan model spasial CAR Besag, York & Mollie (BYM) di 30 provinsi di daratan Cina [1] menyimpulkan bahwa perkembangan ekonomi dan tingkat migrasi penduduk berkorelasi positif dengan risiko Covid-19. Penelitian lainnya yang menggunakan model Bayesian spasial CAR BYM menyimpulkan bahwa faktor sosial ekonomi seperti pendapatan rumah tangga, ras dan kepadatan penduduk signifikan mempengaruhi jumlah kasus Covid-19 di kota New York [2]. Beberapa model Bayesian spasial CAR lainnya telah digunakan dalam memodelkan kasus Covid-19. Misalnya, model Bayesian CAR localised [3, 4], dan model Bayesian spasial CAR Leroux (BSCL).

Model BSCL telah digunakan pada beberapa penelitian. Penelitian yang fokus pada pemodelan kasus stunting di provinsi Sulawesi Selatan [5, 6]. Penelitian pemetaan kasus Demam Berdarah Dengue (DBD) di Indonesia [7]. Beberapa penelitian telah menggunakan model BSCL pada kasus Covid-19. Misalnya, pemodelan Covid-19 dengan mempertimbangkan indeks kemiskinan multidimensi terhadap ketidaksetaraan risiko kematian akibat Covid-19 di Kolombia [8], hubungan antara kepadatan penduduk dan jarak ke kota terhadap peningkatan kasus Covid-19 di Provinsi Sulawesi Selatan [9], maupun di Kota Makassar [10].

Berdasarkan studi literatur, penelitian yang mengimplementasikan model BSCL untuk kasus terkonfirmasi positif Covid-19 di setiap 34 provinsi di Indonesia belum dilakukan.

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan model BSCL terbaik dalam mengestimasi risiko relatif (RR) kasus Covid-19 di 34 provinsi di Indonesia dan menghasilkan peta tematik RR. Melalui peta tematik RR, provinsi yang memiliki RR tinggi maupun rendah dapat divisualisasikan. Melalui hasil penelitian ini, diharapkan dapat dijadikan rujukan bagi pengambil kebijakan dalam hal penanggulangan penyebaran kasus Covid-19 dan pemulihan ekonomi di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Data Spasial

Data spasial terkait dengan lokasi yang dapat disajikan dalam posisi geografis atau peta. Data spasial dapat berbentuk data kontinu maupun diskrit, sedangkan lokasi spasial dapat beraturan maupun tak beraturan. Jenis data spasial terdiri dari pola titik, data geostatistik dan data area [11, 12]. Data area merupakan data agregat dari sub wilayah yang merupakan kumpulan data atribut diskrit. Data area umumnya digunakan pada penelitian epidemiologi karena terkait dengan kerahasiaan data pasien.

Autokorelasi Spasial

Beberapa indikator yang dapat digunakan untuk mengukur derajat ketergantungan spasial adalah Moran's I [13], *Modified Moran's I* (MMI) [14, 15], dan *Lagrange Multiplier* (LM). Moran's I maupun MMI dapat digunakan pada data mentah untuk mendeteksi autokorelasi spasial. Selain itu, Moran's I dan MMI dapat juga digunakan pada residual dari model spasial untuk memeriksa kesesuaian model. Jika nilai residual dari Moran's I atau MMI mendekati nol, maka dapat disimpulkan bahwa model telah memperhitungkan struktur spasial dengan tepat.

Statistik *Moran's I* dihitung sebagai berikut:

$$I = \frac{n \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ik} (Y_i - \bar{Y})(Y_k - \bar{Y})}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n \omega_{ik} (Y_i - \bar{Y})^2}$$

n adalah jumlah lokasi, Y_i dan Y_k adalah nilai yang diamati pada masing masing lokasi tertentu i dan lokasi lain k ; \bar{Y} adalah rata-rata semua nilai Y pada n lokasi, ω_{ik} adalah matriks

konektivitas/ketetanggaan spasial. Dalam tulisan ini digunakan matriks konektivitas biner yang didefinisikan sebagai berikut:

$$w_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{jika area } i \text{ dan } k \text{ bertetangga} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2.1)$$

$w_{ij} = w_{ji}$ dan $w_{ii} = 0$

Moran's I cenderung *underestimate* jika digunakan pada jumlah area yang sedikit, sehingga dilakukan pengembangan modifikasi *Moran's I* (MMI) yang dapat mendeteksi ketergantungan spasial baik untuk area yang jumlahnya sedikit maupun area yang jumlahnya relative banyak. Statistik MMI dihitung sebagai berikut:

$$I_{\text{Mod}} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})(\sum_{j=1}^n w_{ik} Y_k - \bar{Y})}{[\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2]^{1/2} [\sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^n w_{ik} Y_k - \bar{Y})^2]^{1/2}} \quad (2.2)$$

Penjelasan yang lebih detail tentang perbedaan Moran's I dan MMI dapat dilihat pada beberapa tulisan [14, 15]. R code untuk penggunaan MMI juga telah diuraikan [15].

Analisis Bayesian

Salah satu perbedaan pendekatan klasik dengan pendekatan Bayesian adalah pada pendekatan Bayesian, semua parameter yang tidak diketahui dianggap sebagai peubah acak. Dalam analisis Bayesian, distribusi posterior sebanding dengan perkalian dari distribusi prior dan likelihood [16] yang dapat dituliskan sebagai berikut [17, 18]:

$$f(\theta|y, a) = \frac{f(y|\theta)f(\theta|a)}{f(y|a)} \propto f(y|\theta)f(\theta|a) \quad (2.3)$$

$f(\theta|a)$ adalah distribusi prior dari parameter model θ dengan *hyper-parameters* a .

$f(y|\theta)$ didefinisikan sebagai perkalian dari fungsi kepadatan peluang yang dievaluasi pada setiap nilai observasi yang dituliskan sebagai berikut:

$$f(y|\theta) = \prod_{i=1}^n f(y_i|\theta) \quad (2.4)$$

$f(y|a)$ adalah distribusi marginal dari y , yang didefinisikan sebagai berikut:

$$f(y|a) = \int f(y|\theta)f(\theta|a) d\theta. \quad (2.5)$$

3. METODOLOGI

Area Studi

Negara Indonesia berdasarkan letak geografisnya memiliki batas Utara yaitu Negara Malaysia, Vietnam, Filipina, Singapura, Palau, Thailand, dan Laut Cina Selatan. Negara Australia, Timor Leste, dan Samudera Hindia merupakan batas selatan, sedangkan Samudera Hindia merupakan batas barat. Selanjutnya, Samudera Pasifik dan Negara Papua Nugini merupakan batas Timur [19].

Indonesia memiliki 34 provinsi yang terdiri dari lima pulau besar (Pulau Sumatera, Pulau Jawa, Pulau Kalimantan, Pulau Sulawesi, dan Pulau Papua) serta memiliki empat kepulauan (Kepulauan Riau, Kepulauan Bangka Belitung, Kepulauan Nusa Tenggara, dan Kepulauan Maluku) [19].

Data

Data yang digunakan merupakan data sekunder yaitu data agregat kasus Covid-19 dari 19 Maret 2020 sampai 30 September 2022 yang diperoleh dari situs resmi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia (<http://infeksiemerging.kemkes.go.id/>).

Data jumlah penduduk tahun 2021 di setiap 34 provinsi di Indonesia juga digunakan yang tersedia pada publikasi Badan Pusat Statistik Indonesia [19].

Formulasi Model

Pada penelitian ini, model BSCL dengan beberapa *hyperprior* yang berbeda digunakan untuk memodelkan RR kasus Covid-19 di Indonesia. Model BSCL merupakan model spasial CAR yang hanya melibatkan unsur spasial terstruktur dalam model yang disimbolkan dengan u_i . Data agregat kasus Covid-19 (y_i) pada setiap provinsi $i = 1, 2, 3, \dots, 34$ dimodelkan dengan menggunakan distribusi Poisson sebagai distribusi yang umum digunakan pada pemetaan penyakit (*disease mapping*) dengan rata-rata sama dengan perkalian antara ekspektasi banyaknya kasus Covid-19 (E_i) dengan risiko relatif (θ_i) yang dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i), \quad i = 1, 2, 3, \dots, 34 \text{ provinsi}$$

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

dimana:

$$(u_i | u_k, i \neq k, \tau_u^2) \sim N\left(\frac{\rho \sum_k u_k \omega_{ik}}{\rho \sum_k \omega_{ik} + 1 - \rho}, \frac{\tau_u^2}{\rho \sum_k \omega_{ik} + 1 - \rho}\right) \quad [20].$$

ω_{ik} adalah matriks pembobot spasial biner yang menggunakan orde pertama dan *Queen Contiguity*. Autokorelasi spasial (ρ) pada model BSCL adalah lebih fleksibel yaitu antara nol dan satu.

Ada empat *hyperprior* yang digunakan untuk τ_u^2 yaitu *Inverse-Gamma* (IG) (1; 0,1), (1; 0,01), IG (0,1; 0,1), IG (0,5; 0,0005), dan IG (0,5; 0,05). Data dianalisis dengan software R versi 4.2.0 [21] dan paket *CARBayes* versi 5.3 [22]. Distribusi posterior diperoleh melalui algoritma *Markov Chain Monte Carlo* (MCMC) yang didasarkan pada 100.000 iterasi dengan 120.000 MCMC sampel setelah *burn-in* 20.000 sampel.

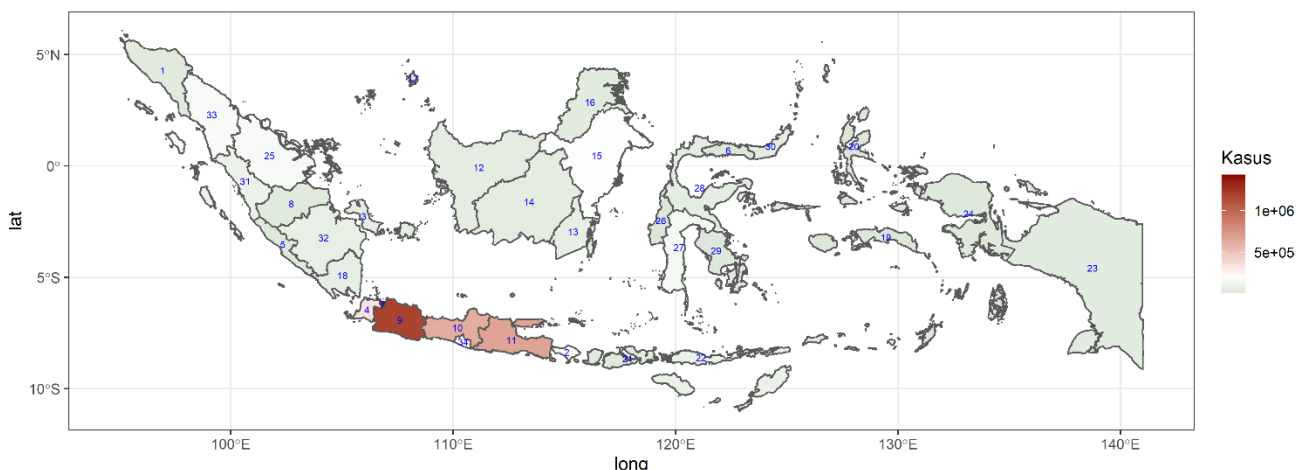
4. PEMBAHASAN

Analisis Deskriptif

Pada tahun 2021, total penduduk di Indonesia sebanyak 272.682.500 penduduk dengan rata-rata sebanyak 8.020.074 di setiap provinsi dengan median 4.239.050 dan standar deviasi 11.377.494. Selanjutnya sebanyak 6.465.207 total kasus terkonfirmasi positif Covid-19 di Indonesia (2 Maret 2020 - September 2022) dengan rata-rata 190.153, median 68.546 dan standar deviasi 322.453. Peta tematik kasus Covid-19 di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.

Nilai Moran's I dan Modifikasi Moran's I

Nilai statistik *Moran's I* dari data adalah 0,67, dengan nilai ekspektasi adalah -0,03 dan nilai variansi adalah 0,02. Nilai *p-value* adalah 9,9e-08 yang lebih kecil dari $\alpha = 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat ketergantungan spasial yang positif pada kasus covid-19 di Indonesia. Sedangkan nilai MMI adalah 0,73 yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai statistik *Moran's I*.



Gambar 1. Peta tematik kasus Covid-19 di setiap Provinsi di Indonesia

Pemilihan Model Terbaik

Pemilihan model terbaik didasarkan pada nilai DIC terkecil, WAIC terkecil, dan nilai residual MMI yang lebih dekat ke nol. Nilai MMI untuk residual, WAIC, dan DIC diberikan pada Tabel 1.

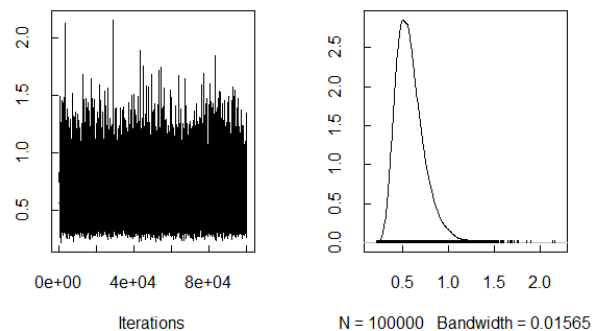
Tabel 1. Nilai DIC, WAIC dan MMI untuk Residual

<i>Hyperpriors</i>	Model	DIC	WAIC	MMI
IG(1;0,01)	M1	621,3	7824,9	0,77
IG(1;0,1)	M2	645,9	4379,4	0,65
IG(0,1;0,1)	M3	535,5	558,6	-0,47
IG(0,5;0,05)	M4	745,8	14331,6	0,73
IG(0,5;0,0005)	M5	538,2	574,8	0,33

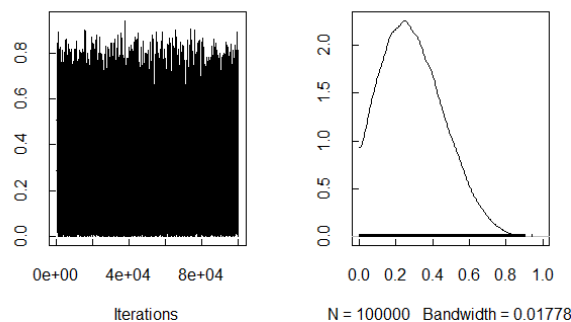
Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa nilai DIC bervariasi pada setiap model. Demikian pula untuk nilai WAIC dan MMI untuk residual. Model M3 memiliki nilai DIC (535,55) dan WAIC (558,57) yang lebih kecil dari model lainnya. Sedangkan nilai MMI untuk residual model M5 adalah 0,33 yang paling mendekati nol yang tidak jauh berbeda dari nilai residual MMI (-0,47) model M3. Oleh karena itu, berdasarkan kriteria pemilihan model yang digunakan, model terbaik dalam menaksir risiko relatif kasus Covid-19 di Indonesia pada penelitian ini adalah model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1).

Mengecek Kekonvergenan Parameter Model

Hasil pengecekan kekonvergenan dari masing-masing parameter model menggunakan model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1) dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 5.

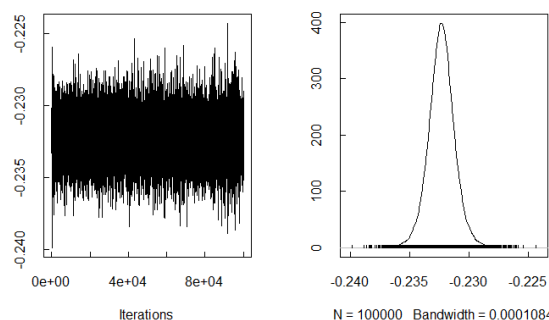


Gambar 2. Trace Plot tau2 samples untuk model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1)

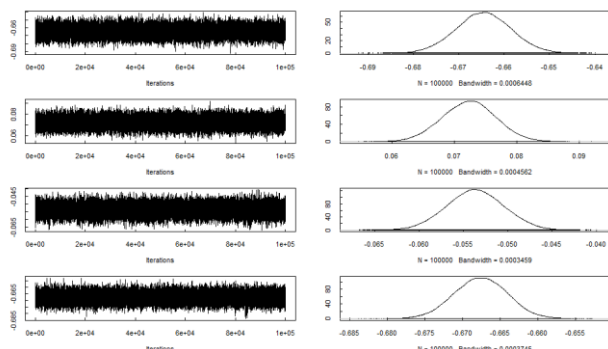


Gambar 3. Trace Plot rho samples untuk model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1)

Berdasarkan dari Gambar 2 hingga Gambar 5 dapat dilihat bahwa parameter dari model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1) sudah mencapai kekonvergenan.



Gambar 4. Trace Plot beta samples untuk model BSCL dengan hyperprior IG (0,1;0,1)



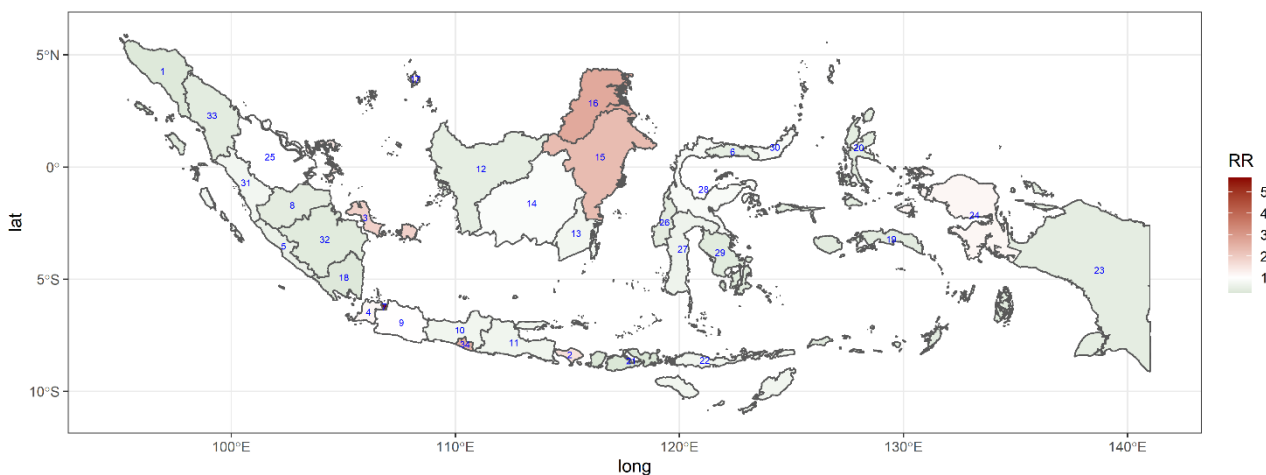
Gambar 5. Trace Plot phi samples untuk model BSCL dengan hyperprior IG (0,1;0,1)

Estimasi Risiko Relatif

Model M3 merupakan model yang terpilih dalam pemodelan kasus Covid-19 untuk data yang digunakan. Banyaknya kasus Covid-19, populasi, serta nilai RR berdasarkan Model M3 diberikan pada Tabel 2.

Berdasarkan Tabel 2, provinsi yang memiliki nilai RR tertinggi (5,68) yaitu DKI Jakarta. Terdapat 10 provinsi yang memiliki nilai RR lebih besar dari 1 yaitu DKI Jakarta (5,68). Provinsi Kalimantan Utara (2,69), Daerah Istimewa Yogyakarta (2,55), Provinsi Kalimantan Timur (2,32), Provinsi Bangka Belitung (1,89), Provinsi Bali (1,60), Provinsi Kepulauan Riau (1,42), Provinsi Papua Barat (1,18), Provinsi Banten (1,18), dan Provinsi Jawa Barat (1,02). Sebaliknya, provinsi dengan nilai RR terendah adalah Provinsi Nusa Tenggara Barat (0,28). Peta tematik RR kasus Covid-19 di 34 provinsi di Indonesia berdasarkan model terbaik (Model M3) divisualisasikan pada Gambar 6.

Berdasarkan Gambar 6, provinsi yang memiliki nilai RR tertinggi adalah Provinsi DKI Jakarta dengan ID=7 (warna merah gelap). RR tertinggi kedua adalah Provinsi Kalimantan Utara (ID=16) sedangkan Provinsi DIY (ID=34) memilih RR tertinggi ketiga. Sebaliknya, wilayah yang memiliki RR terendah yaitu Provinsi Nusa Tenggara Barat (ID=21). RR terendah kedua dan ketiga adalah Provinsi Lampung (ID=18) dan Provinsi Aceh (ID=1).



Gambar 6. Peta tematik RR Covid-19 berdasarkan model M3

Tabel 2. Banyaknya kasus Covid-19, Populasi, serta nilai RR berdasarkan Model M3

ID	Provinsi	Kasus	Populasi	RR
1	Aceh	44221	5333700	0,350
2	Bali	165943	4362700	1,604
3	Bangka Belitung	66015	1473200	1,890
4	Banten	336752	12061500	1,178
5	Bengkulu	29236	2032900	0,607
6	Gorontalo	13972	1181000	0,499
7	DKI Jakarta	1428272	10609700	5,678
8	Jambi	38518	3585100	0,453
9	Jawa Barat	1177992	48782400	1,018
10	Jawa Tengah	630898	36742500	0,724
11	Jawa Timur	676768	40878800	0,698
12	Kalimantan Barat	64652	5470800	0,498
13	Kalimantan Selatan	72439	4122600	0,741
14	Kalimantan Tengah	58262	2702200	0,909
15	Kalimantan Timur	209377	3808200	2,319
16	Kalimantan Utara	45452	713600	2,686
17	Kepulauan Riau	71077	2118200	1,415
18	Lampung	73073	9081800	0,339
19	Maluku	18791	1862600	0,426
20	Maluku Utara	14500	1299200	0,471
21	Nusa Tenggara Barat	36417	5390000	0,285
22	Nusa Tenggara Timur	91172	5387700	0,714
23	Papua	50067	4355500	0,485
24	Papua Barat	32361	1156800	1,180
25	Riau	152985	6493600	0,994
26	Sulawesi Barat	15641	1436800	0,459
27	Sulawesi Selatan	144081	9139500	0,665
28	Sulawesi Tengah	61307	3021900	0,856
29	Sulawesi Tenggara	25712	2659200	0,408
30	Sulawesi Utara	53313	2638600	0,852
31	Sumatera Barat	99398	5580200	0,751
32	Sumatera Selatan	82433	8550900	0,407
33	Sumatera Utara	159368	14936200	0,450
34	DI Yogyakarta	224742	3712900	2,553

5. KESIMPULAN

Model BSCL dengan *hyperprior* IG (0,1;0,1) (M3) merupakan model yang terpilih yang digunakan untuk mengestimasi RR kasus Covid-19 di Indonesia. Terdapat 10 provinsi (sekitar 29,41%) yang memiliki nilai RR kategori tinggi terjangkau Covid-19. Provinsi dengan RR tertinggi dan terendah masing-masing adalah Provinsi DKI Jakarta (RR=5,68) dan Provinsi

Nusa Tenggara Barat (RR=0,28). Melalui hasil penelitian ini, diharapkan dapat menjadi bahan masukan bagi pengambil kebijakan dalam menanggulangi Covid-19. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan model BSCL dengan melibatkan kovariat dalam model.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada saudara Nurwan, mahasiswa alumni program Studi (Prodi) Statistika, Fakultas Matematika dan

Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Makassar (UNM) atas kesediaannya dalam membantu pengolahan data ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Peng, D. *et al.*, "COVID-19 distributes socially in China: A Bayesian spatial analysis," *PloS one*, vol. 17, no. 4, pp. e0267001-e0267001, 2022.
- [2] Whittle, R.S. and Diaz-Artiles, A., "An ecological study of socioeconomic predictors in detection of COVID-19 cases across neighborhoods in New York City," *BMC medicine*, vol. 18, no. 1, pp. 271-271, 2020.
- [3] Aswi, A., Mauliyana, A., Tiro, M.A., and Bustan, M.N., "Relative Risk Of Coronavirus Disease (Covid-19) In South Sulawesi Province, Indonesia: Bayesian Spatial Modeling," *Media Statistika*, vol. 14, no. 2, pp. 158-169, 2022.
- [4] Aswi, A., Muhammad Arif, T., Sudarmin, S., Sukarna, S., and Susanna, C., "The Interplay Between Clusters, Covariates, and Spatial Priors in Spatial Modelling of Covid-19 in South Sulawesi Province, Indonesia," *Media Statistika*, vol. 15, no. 1, pp. 48-59, 2022.
- [5] Aswi, A., Sukarna, S., and Nurhilalayah, "Pemetaan Risiko Relatif Kasus Stunting di Provinsi Sulawesi Selatan," *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, vol. 11, no. 1, pp. 11-20, 2022.
- [6] Aswi, A.S., Sukarna, "Pemodelan Spasial Bayesian dalam Menentukan Faktor yang Mempengaruhi Kejadian Stunting di Provinsi Sulawesi Selatan," *Journal of Mathematics, Computations, and Statistics*, vol. 5, no. 1, pp. 1-11, 2022.
- [7] Aswi, A. and Sukarna, S., "Pemodelan Bayesian Spasial Conditional Autoregressive (CAR) Pada Kasus Demam Berdarah Dengue di Indonesia," *Jurnal Matematika dan Statistika serta Aplikasinya*, vol. 10, no. 1, pp. 32-39, 2022.
- [8] Polo, G., Soler-Tovar, D., Villamil Jimenez, L.C., Benavides-Ortiz, E., and Mera Acosta, C., "Bayesian spatial modeling of COVID-19 case-fatality rate inequalities," *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, vol. 41, 2022.
- [9] Aswi, A. and Sukarna, S., "Factors Affecting the Covid-19 Risk in South Sulawesi Province, Indonesia: A Bayesian Spatial Model," *Inferensi*, vol. 5, no. 1, pp. 51-58, 2022.
- [10] Tiro, M.A., Aswi, A., and Rais, Z., "Association of Population Density and Distance to the City with the Risks of COVID-19: A Bayesian Spatial Analysis," *Journal of physics. Conference series*, vol. 2123, no. 1, p. 12001, 2021.
- [11] Cressie, N. and Wikle, C.K., *Statistics for spatio-temporal data*. John Wiley & Sons, 2015.
- [12] Cressie, N.A.C., *Statistics for spatial data* Rev. ed. ed. New York: Wiley, 1993.
- [13] Moran, P.A.P., "Notes on continuous stochastic phenomena," *Biometrika*, vol. 37, no. 1-2, p. 17, 1950.
- [14] Carrijo, T.B. and Da Silva, A.R., "Modified Moran's I for Small Samples," *Geographical Analysis*, vol. 49, no. 4, pp. 451-467, 2017.
- [15] Aswi, A., Cramb, S., Duncan, E., and Mengersen, K., "Detecting Spatial Autocorrelation for a Small Number of Areas: a practical example," *Journal of physics. Conference series*, vol. 1899, no. 1, p. 12098, 2021.
- [16] Austin, P.C., Brunner, L.J., SM, H.M., and Janet, E., "Bayeswatch: an overview of Bayesian statistics," *Journal of Evaluation in Clinical Practice*, vol. 8, no. 2, pp. 277-286, 2002.
- [17] Ntzoufras, I., *Bayesian modeling using WinBUGS*. John Wiley & Sons, 2011.
- [18] Gelman, A., Carlin, J.B., Stern, H.S., and Rubin, D.B., *Bayesian Data Analysis*, 3rd ed. Chapman & Hall/CRC Boca Raton, FL, USA, 2014, p. 607.
- [19] Winardi, W. *et al.*, *Statistik Indonesia 2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2021, p. 758.
- [20] Leroux, B.G., Lei, X., and Breslow, N., "Estimation of Disease Rates in Small Areas: A new Mixed Model for Spatial

- Dependence," *Statistical Models in Epidemiology, the Environment, and Clinical Trials*, vol. 116, pp. 179-191, 2000.
- [21] R Core Team, "R: A language and environment for statistical computing," ed. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019.
- [22] Lee, D., "CARBayes: An R Package for Spatial Areal Unit Modelling with Conditional Autoregressive Priors," *Journal of statistical software*, vol. 55, no. 1, pp. 1-24, 2013.