

Pemodelan Bayesian Spasial *Conditional Autoregressive* (CAR) Pada Kasus Demam Berdarah Dengue Di Indonesia

Aswi*

Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Negeri Makassar

*Correspondent: aswi@unm.ac.id

Sukarna

Jurusan Matematika, FMIPA Universitas Negeri Makassar

ABSTRAK, Demam Berdarah *Dengue* (DBD) merupakan salah satu penyakit menular yang masih merupakan masalah utama dalam kesehatan masyarakat di Indonesia. Total kasus DBD di Indonesia pada tahun 2020 masih cukup tinggi yaitu 108.303 kasus. Beberapa penelitian terkait pemodelan DBD telah menggunakan metode Bayesian spasial. Akan tetapi, penelitian tersebut masih fokus pada salah satu provinsi yang ada di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan risiko relatif (RR) kasus DBD tahun 2020 di Indonesia dengan 34 provinsi dan menghasilkan peta tematik RR. Data yang digunakan data kasus DBD serta data jumlah penduduk di Indonesia tahun 2020 yang diperoleh dari Publikasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2021. Model Bayesian spasial *Conditional Autoregressive* (CAR) Leroux digunakan dengan pemilihan model terbaik didasarkan pada *Deviance Information Criteria* (DIC), *Watanabe Akaike Information Criteria* (WAIC), dan Modifikasi Moran's I (MMI) untuk residual. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa model Bayesian spasial CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$ merupakan model terbaik dalam pemodelan kasus DBD tahun 2020 di Indonesia. Sekitar 53% provinsi yang ada di Indonesia merupakan wilayah dengan RR tinggi, dimana Provinsi Bali memiliki nilai RR tertinggi (6,84), diikuti oleh Provinsi Nusa Tenggara Timur ($RR=2,70$), dan Daerah Istimewa Yogyakarta ($RR=2,33$). Sebaliknya, provinsi dengan RR terendah adalah Provinsi Maluku ($RR=0,11$), diikuti oleh Provinsi Papua ($RR = 0,13$), dan Provinsi Kalimantan Barat ($RR =0,38$).

Kata Kunci: Demam Berdarah Dengue, Pemetaan Risiko Relatif, Metode Bayesian spasial, CAR Leroux

1. PENDAHULUAN

Demam Berdarah Dengue (DBD) adalah penyakit menular yang ditularkan oleh virus dengue melalui vektor nyamuk baik dari spesies *Aedes aegypti* ataupun *Aedes albopictus*. DBD banyak ditemukan pada musim hujan karena banyak genangan air yang dapat menjadi tempat perkembangbiakan nyamuk [1]. Total kasus

DBD di Indonesia pada tahun 2020 adalah 108.303 kasus. Sejak tahun 2010 hingga 2019, terjadi peningkatan jumlah kabupaten/kota di Indonesia yang terjangkit DBD. Terdapat 374 kabupaten/kota pada tahun 2010 dan 481 kabupaten/kota pada tahun 2019. Ada sedikit penurunan jumlah kabupaten/kota yang terjangkit DBD pada tahun 2020 (477 wilayah) [1]. Jumlah kabupaten kota terjangkit DBD pada tahun 2020 sebanyak 477 atau sebesar 92,8% dari seluruh kabupaten/kota yang ada di Indonesia. Jumlah kabupaten/kota terjangkit DBD menunjukkan kecenderungan peningkatan sejak tahun 2010 sampai dengan tahun 2019.

Beberapa penelitian terkait pemodelan DBD menggunakan metode Bayesian spasial adalah pemetaan risiko relatif DBD di Bandung, Provinsi Jawa Barat menggunakan model Bayesian spatio-temporal [2], perbandingan metode frekuentif dan metode Bayesian dalam mengestimasi risiko relatif kasus DBD di Kota Bandung, Provinsi Jawa Barat [3]. Selanjutnya, pemodelan DBD di Pamekasan, Provinsi Jawa Timur dengan menggunakan model Double Exponential CAR Frailty telah dilakukan [4]. Pemodelan Bayesian spasial survival [5, 6], dan pemodelan menggunakan model Bayesian spatial atau spatio-temporal *Conditional Autoregressive* (CAR) [7-11] kasus DBD di Kota Makassar, Provinsi Sulawesi Selatan juga telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Akan tetapi, penelitian tersebut masih fokus pada pemodelan DBD di salah satu provinsi yang ada di Indonesia.

Berdasarkan hasil penelusuran yang peneliti lakukan, penelitian terkait model Bayesian CAR khususnya model Bayesian CAR Leroux untuk kasus DBD di setiap provinsi di Indonesia belum dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan risiko relatif (RR) kasus DBD tahun 2020 di Indonesia dengan 34

provinsi dan menghasilkan peta tematik RR. Berdasarkan peta tematik RR yang dihasilkan, diharapkan dapat membantu pemerintah dalam penanggulangan kasus DBD di Indonesia.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Area Studi

Indonesia terletak antara $6^{\circ} 04' 30''$ Lintang Utara (LU) dan $11^{\circ} 00' 36''$ Lintang Selatan (LS) dan antara $94^{\circ} 58' 21''$ dan $141^{\circ} 01' 10''$ Bujur Timur. Kepulauan Indonesia berdasarkan letak geografisnya, terletak di antara Benua Asia dan Benua Australia, serta di antara Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Indonesia terdiri dari 34 provinsi yaitu provinsi Jawa Barat, Jawa Timur, Jawa Tengah, Sumatera Utara, Banten, DKI Jakarta, Sulawesi Selatan, Sumatera Selatan, Lampung, Riau, Nusa Tenggara Timur, Sumatera Barat, Aceh, Kalimantan Barat, Nusa Tenggara Barat, Bali, Kalimantan Selatan, Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY), Kalimantan Timur, Jambi, Papua, Sulawesi Tengah, Kalimantan Tengah, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Utara, Kepulauan Riau, Bengkulu, Maluku, Bangka Belitung, Sulawesi Barat, Maluku Utara, Gorontalo, Papua Barat dan Kalimantan Utara [12].

Pada tahun 2020 provinsi dengan jumlah penduduk tertinggi yaitu provinsi Jawa Barat dengan jumlah penduduk sebanyak 49.935.858 jiwa diikuti oleh Provinsi Jawa Timur sebanyak 39.886.288 kemudian diikuti oleh Provinsi Jawa Tengah sebanyak 34.940.078. Sebaliknya, jumlah penduduk terendah yaitu Provinsi Kalimantan Utara dengan jumlah penduduk sebanyak 768.505 jiwa, diikuti oleh Provinsi Papua Barat sebanyak 981.822 kemudian diikuti oleh Provinsi Gorontalo sebanyak 1.219.576 [1].

Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data sekunder yaitu data kasus DBD di Indonesia tahun 2020 serta data jumlah penduduk di setiap 34 provinsi di Indonesia yang diperoleh dari Publikasi Kementerian Kesehatan Republik Indonesia 2021 [1]. Data kasus penyakit DBD ini dianalisis dengan menggunakan model Bayesian.

3. METODOLOGI

Formulasi Model

Pada penelitian ini, model Bayesian spasial CAR Leroux [13] digunakan. Model Bayesian CAR Leroux merupakan model yang terdiri dari komponen spasial terstruktur (u_i) yang menggabungkan prior normal dan prior CAR. Banyaknya kasus DBD (y_i) pada setiap provinsi $i = 1, \dots, 34$ diasumsikan berdistribusi Poisson dengan mean ($E_i \theta_i$) dimana E_i dan θ_i masing masing adalah nilai ekspektasi banyaknya kasus DBD dan risiko relatifnya. Model secara lengkap dapat dituliskan sebagai berikut:

$$y_i \sim \text{Poisson}(E_i \theta_i) \\ \log(\theta_i) = \alpha + u_i$$

dimana

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

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

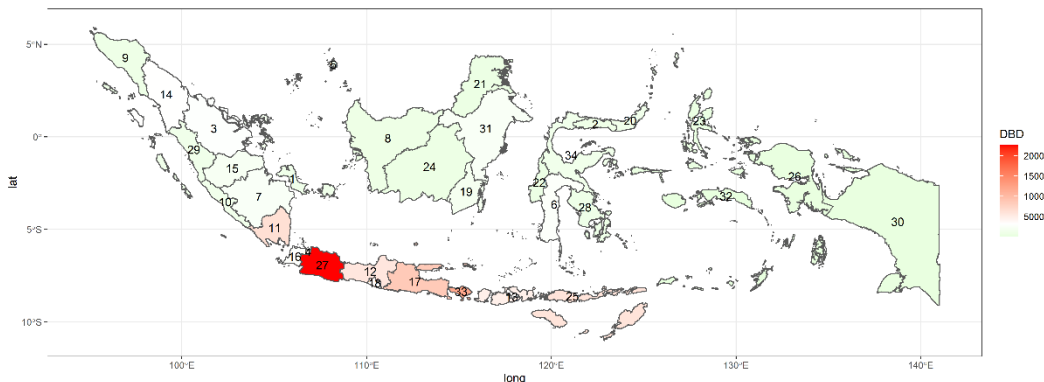
Pada tulisan ini, beberapa hyperprior untuk τ_u^2 digunakan, yaitu Inverse-Gamma (IG) (1; 0,01), IG (1; 0,1), IG (0,1; 0,1), (IG (0,5; 0,05) dan IG (0,5; 0,0005).

Untuk menganalisis data dengan menggunakan model Bayesian spasial CAR Leroux, paket CARBayes versi 5.2.5 [14] tersedia. Data dianalisis dengan menggunakan software R versi 4.1.2 [15]. Algoritma Markov Chain Monte Carlo (MCMC) berdasarkan 90.000 iterasi dengan 100.000 MCMC sampel setelah burn-in 10.000 sampel digunakan dalam memperoleh distribusi posterior.

Kekonvergenan dari setiap parameter model dicek melalui *trace plot*. Pemilihan model terbaik didasarkan pada beberapa kriteria yaitu nilai terkecil dari *Deviance Information Criteria* (DIC) [16], *Watanabe Akaike Information Criteria* (WAIC) [17], dan nilai Modifikasi Moran's *I* (MMI) [18, 19] untuk residual. Nilai statistik Moran's *I* dan nilai statistik MMI untuk data jumlah kasus DBD di Indonesia dihitung untuk melihat ada tidaknya autokorelasi spasial antar wilayah.

4. PEMBAHASAN

Terdapat 108.303 kasus DBD di Indonesia pada tahun 2020 dengan rata-rata kasus di setiap provinsi adalah 3.185 kasus dengan nilai median yaitu 1.76, nilai kuartil ketiga yaitu 3.495 dan simpangan baku 4.322. Peta jumlah kasus DBD di setiap provinsi di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta jumlah kasus DBD di setiap Provinsi di Indonesia tahun 2020

Berdasarkan Gambar 1, terlihat bahwa jumlah kasus DBD tertinggi sebanyak 22.613 di Provinsi Jawa Barat (ID=27) diikuti oleh Provinsi Bali (ID=33) sebanyak 11.964 kasus dan Provinsi Jawa Timur (ID=17) sebanyak 8.567 kasus. Sebaliknya, jumlah kasus terendah yaitu Provinsi Maluku (ID=32) sebanyak 77 kasus diikuti oleh Provinsi Papua Barat (ID=26) sebanyak 163 kasus dan Provinsi Papua (ID=30) sebanyak 172 kasus.

Selanjutnya, total penduduk di Indonesia pada tahun 2020 adalah sekitar 271.286.366 jiwa dengan rata-rata penduduk di setiap provinsi adalah 7.979.011 jiwa dengan nilai median yaitu 4.093.134 jiwa, nilai kuartil ketiga yaitu 8.172.977 jiwa dan simpangan baku 11.294.800 jiwa. Peta jumlah penduduk di setiap provinsi di Indonesia dapat dilihat pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 2, terlihat bahwa jumlah penduduk tertinggi sebanyak 49.935.858 jiwa di Provinsi Jawa Barat (ID=27) diikuti oleh Provinsi Jawa Timur (ID=17) sebanyak 39.886.288 jiwa, dan Provinsi Jawa Tengah (ID=12) sebanyak 34.940.078 jiwa. Sebaliknya, jumlah penduduk terendah yaitu Provinsi Maluku (ID=32) sebanyak 1.278.764 jiwa diikuti oleh Provinsi Gorontalo (ID=2) sebanyak

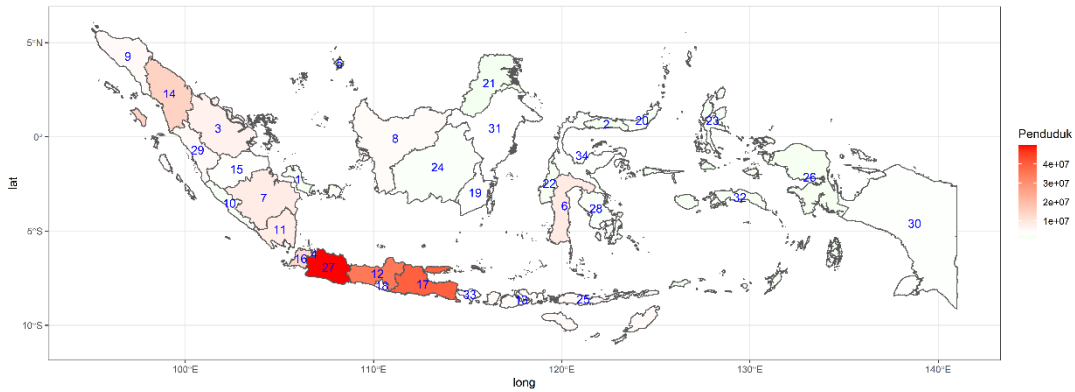
1.219.576 jiwa dan Provinsi Papua Barat (ID=26) sebanyak 981.822 jiwa.

Untuk melihat ada tidaknya autokorelasi spasial antar provinsi yang ada di Indonesia digunakan statistik Moran's *I*. Berdasarkan hasil analisis, diperoleh nilai Moran's *I* sebesar 0,33 dengan *p*-value = 0,007 yang menunjukkan bahwa terdapat autokorelasi spasial.

Nilai ekspektasi dan simpangan baku berturut-turut -0,03 dan 0,13. Selanjutnya, nilai MMI adalah 0,44. Nilai DIC, WAIC dan MMI untuk residual dari model Bayesian CAR Leroux dengan lima hyperprior yang berbeda dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa Model CAR Leroux dengan lima

Tabel 1. Nilai DIC, WAIC dan MMI untuk residual dari model Bayesian Spasial CAR dengan lima hyperprior

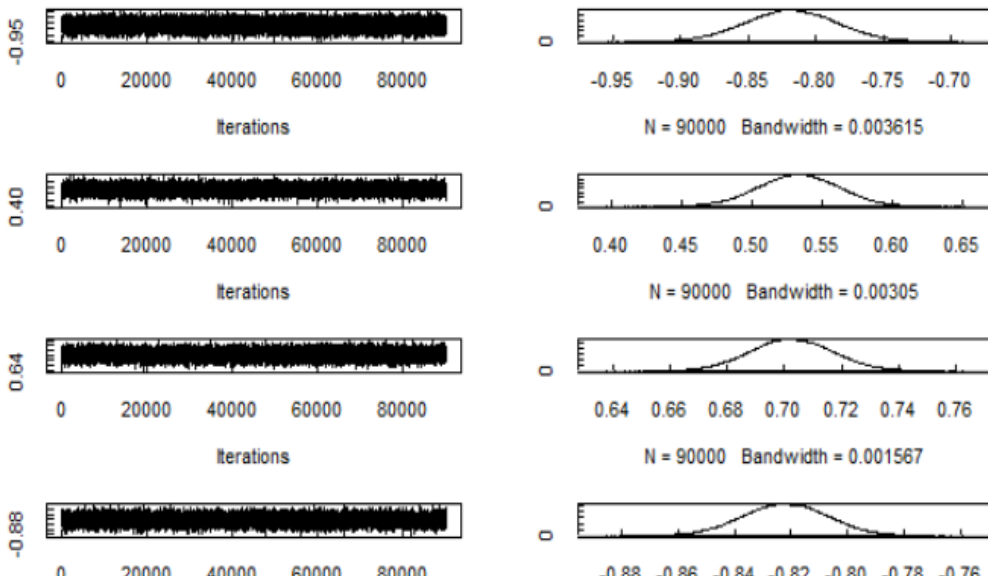
Hyperprior (τ_u^2)	DIC	WAI C	MMI untuk residual
IG (1; 0,01)	395, 14	396, 00	-0,48
IG (1; 0,1)	393, 64	392, 35	-0,43
IG (0,5; 0,05)	395, 15	396, 26	-0,47
IG (0,5; 0,0005)	394, 04	393, 37	-0,54
IG (0,1; 0,1)	394, 73	395, 68	-0,44



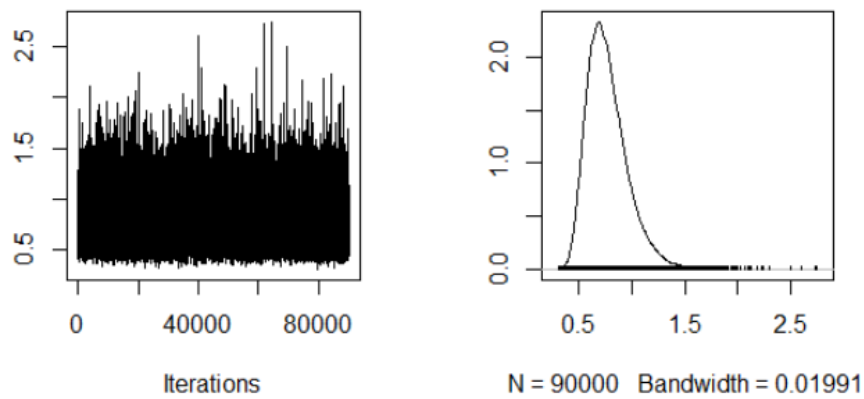
Gambar 2. Peta Jumlah Penduduk di setiap Provinsi di Indonesia tahun 2020

terkecil yaitu 393,64. Nilai WAIC yang terkecil adalah juga model CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$. Selanjutnya, nilai MMI untuk residual pada model CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$ dengan model CAR Leroux dengan hyperprior $(\tau_u^2) IG(0,1; 0,1)$ relatif sama dan lebih kecil dibandingkan dengan model lainnya. Berdasarkan kriteria pemilihan model terbaik, yaitu dengan melihat nilai DIC dan WAIC yang terkecil, serta nilai MMI untuk

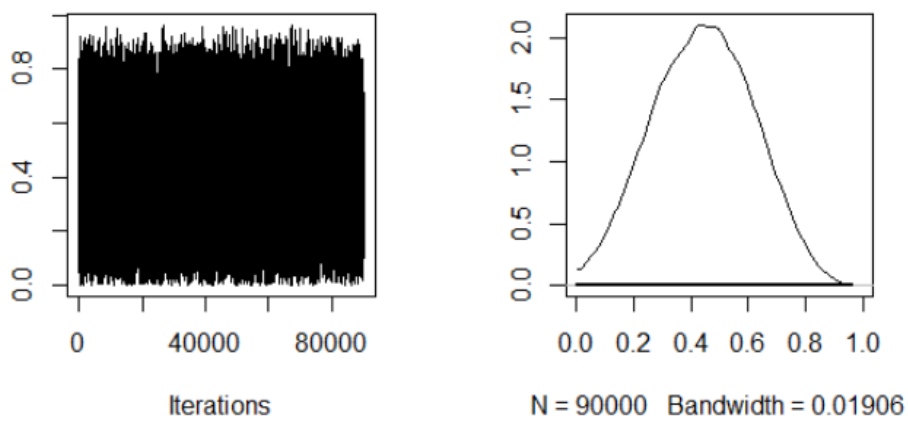
residual yang mendekati nilai nol, maka model terbaik untuk menaksir risiko relatif DBD di Indonesia tahun 2020 adalah model CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$. Hasil pengecekan kekonvergenan dari masing-masing parameter model menggunakan model Bayesian spasial CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,01)$ dapat dilihat pada Gambar 3-Gambar 6.



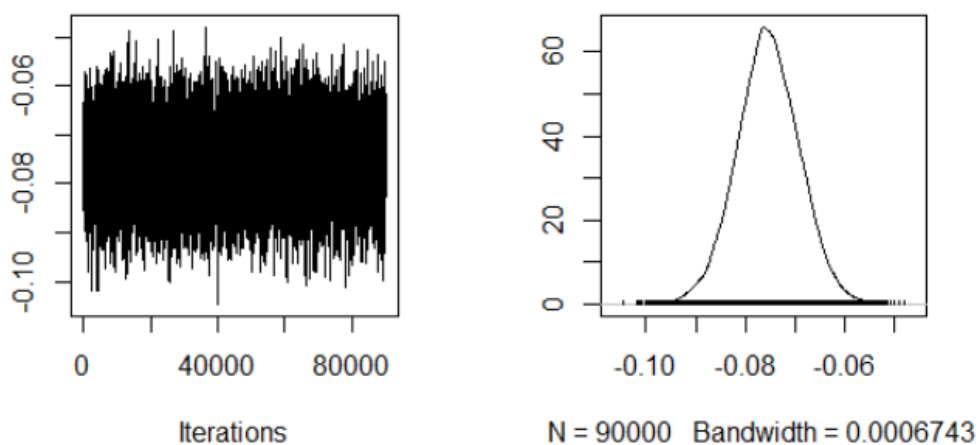
Gambar 3. Trace plot untuk ϕ samples (u_i) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$



Gambar 4. Trace plot untuk τ_u^2 samples (τ_u^2) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior IG (1; 0,1)



Gambar 5. Trace plot untuk ρ samples (ρ) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior IG (1; 0,1)



Gambar 6. Trace plot untuk α samples (α) berdasarkan model CAR Leroux dengan hyperprior IG (1; 0,1)

Berdasarkan Gambar 3-Gambar 6 dapat disimpulkan bahwa model CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$ sudah mencapai kekonvergenan, terlihat pada sebaran dari titik-titik yang tidak berubah sepanjang rantai Markovnya yang menunjukkan pola yang *smooth*.

Selanjutnya, banyaknya kasus DBD tahun 2020 dan nilai RR untuk setiap provinsi di Indonesia berdasarkan model terbaik yaitu model Bayesian spasial CAR Leroux dengan hyperprior $IG(1; 0,1)$ dapat dilihat pada Tabel 2.

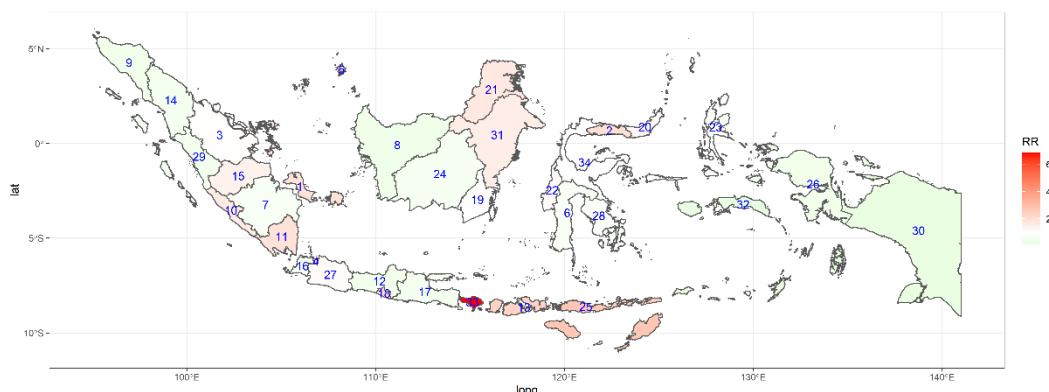
Tabel 2. Banyaknya Kasus DBD dan RR untuk setiap Provinsi tahun 2020 menggunakan model terbaik

ID	Provinsi	Penduduk	Kasus	
			DBD	RR
1	Bangka	1517590	1144	1,89
2	Belitung	1219576	951	1,95
3	Gorontalo	7128305	2948	1,04
4	Riau	10664986	4745	1,11
5	Jakarta Raya	10664986	4745	1,11
6	Kepulauan Riau	2442198	1753	1,80
7	Sulawesi Selatan	8928004	2714	0,76
8	Sumatera Selatan	8567923	2359	0,69
9	Kalimantan Barat	5134760	784	0,38
10	Aceh	5459891	891	0,41
11	Bengkulu	2019848	1276	1,58
12	Lampung	8521201	6372	1,87
13	Jawa Tengah	34940078	5683	0,41
14	Nusa Tenggara Barat	5125622	4720	2,31
15	Sumatera Utara	14703532	3125	0,53
16	Jambi	3677894	2049	1,39
17	Banten	13160496	2910	0,55
18	Jawa Timur	39886288	8567	0,54
19	Yogyakarta	3882288	3618	2,33
20	Kalimantan Selatan	4303979	1768	1,03

21	Sulawesi Utara	2528794	1219	1,21
22	Kalimantan Utara	768505	515	1,68
23	Sulawesi Barat	1405012	630	1,12
24	Maluku Utara	1278764	425	0,83
25	Kalimantan Tengah	2769156	669	0,61
26	Nusa Tenggara Timur	5541394	5968	2,70
27	Papua Barat	981822	163	0,42
28	Jawa Barat	49935858	22613	1,13
29	Sulawesi Tenggara	2755589	905	0,82
30	Sumatera Barat	5498751	1117	0,51
31	Papua	3435430	172	0,13
32	Kalimantan Timur	3793152	2299	1,52
33	Maluku	1831880	77	0,11
34	Bali	4380824	11964	6,84
	Sulawesi Tengah	3096976	1190	0,96

Dari Tabel 2 terlihat bahwa wilayah dengan risiko tinggi yaitu wilayah dengan nilai RR yang lebih besar dari 1 terdiri dari 18 provinsi, sedangkan wilayah dengan risiko rendah ($RR < 1$) terdiri dari 16 provinsi. Sekitar 53% provinsi yang ada di Indonesia termasuk wilayah dengan risiko tinggi DBD pata tahun 2020. Berdasarkan Tabel 2 juga terlihat bahwa wilayah dengan RR tertinggi adalah Provinsi Bali (ID=33) dengan nilai $RR = 6,84$, diikuti oleh Provinsi Nusa Tenggara Timur (ID=25) dengan nilai $RR = 2,70$, Daerah Istimewa Yogyakarta (ID=18) dengan nilai $RR=2,33$ dan Provinsi Nusa Tenggara Barat (NTB) (ID=13) dengan nilai $RR = 2,31$. Sebaliknya, provinsi dengan RR terendah adalah Provinsi Maluku (ID=32) dengan nilai $RR = 0,11$, diikuti oleh Provinsi Papua (ID=30) dengan $RR = 0,13$, Provinsi Kalimantan Barat (ID=8) dengan nilai $RR = 0,38$ dan Provinsi Jawa Tengah (ID=12) dengan $RR = 0,41$. Visualisasi pemetaan RR kasus DBD di Indonesia berdasarkan model terbaik yaitu model

Bayesian spasial CAR Leroux dengan hyperprior IG (1; 0,1) untuk tahun 2020 dalam bentuk peta tematik dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemetaan RR kasus DBD di Indonesia tahun 2020 menggunakan model terbaik

5. KESIMPULAN

Model terbaik yang diperoleh dalam pemodelan RR penyebaran kasus DBD di Indonesia tahun 2020 adalah model Bayesian CAR Leroux dengan hyperprior IG (1; 0,1). Terdapat 18 (sekitar 53%) provinsi di Indonesia memiliki RR tinggi terjangkau DBD. Provinsi dengan RR tertinggi adalah Provinsi Bali (RR = 6,84), diikuti oleh Provinsi Nusa Tenggara Timur (RR = 2,70), dan Daerah Istimewa Yogyakarta (RR=2,33. Sebaliknya, provinsi dengan RR terendah adalah Provinsi Maluku (RR=0,11), diikuti oleh Provinsi Papua (RR=0,13), dan Provinsi Kalimantan Barat (RR =0,38).

Hasil penelitian ini, diharapkan memberi masukan bagi pemerintah dalam penanggulangan kasus DBD di Indonesia terutama wilayah yang memiliki risiko tinggi terjangkau DBD. Penelitian selanjutnya, dapat menggunakan model Bayesian spasial CAR dengan melibatkan kovariat yang berpengaruh terhadap peningkatan kasus DBD. Selain itu, disarankan untuk melibatkan unsur temporal dalam model (Bayesian spasio-temporal CAR).

Ucapan Terima Kasih

Penulis berterima kasih kepada saudari Nurul Ilmi dan Rahmawati, mahasiswa program Studi Statistika FMIPA UNM atas kesediaannya membantu dalam penginputan data DBD dan data populasi di Indonesia.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenkes, *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2020*. Jakarta, 2021.
- [2] M. Jaya and H. Folmer, "Bayesian spatiotemporal mapping of relative dengue disease risk in Bandung, Indonesia," *Journal of geographical systems*, vol. 22, no. 1, pp. 105-142, 2020.
- [3] F. Kristiani, Y. Claudia, B. Yong, and A.-M. Hilsdon, "A comparative analysis of frequentist and Bayesian approaches to estimate dengue disease transmission in Bandung-Indonesia," *Journal of statistics & management systems*, vol. 23, no. 8, pp. 1543-1559, 2020.
- [4] D. Rantini, N. Iriawan, and Irhamah, "Bayesian Mixture Generalized Extreme Value Regression with Double-Exponential CAR Frailty for Dengue Haemorrhagic Fever in Pamekasan, East Java, Indonesia," *Journal of physics. Conference series*, vol. 1752, no. 1, p. 12022, 2021.
- [5] A. Aswi, S. Cramb, E. Duncan, W. Hu, G. White, and K. Mengersen, "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*, vol. 17, no. 3, 2020.
- [6] S. A. Thamrin, Aswi, Ansariadi, A. K. Jaya, and K. Mengersen, "Bayesian spatial

- survival modelling for dengue fever in Makassar, Indonesia," *Gaceta sanitaria*, vol. 35, pp. S59-S63, 2021.
- [7] R. Khaerati, S. A. Thamrin, and A. K. Jaya, "Bayesian Conditional Autoregressive (CAR) dengan model localised dalam menaksir risiko DBD di Kota Makassar," *Estimasi*, vol. 1, no. 1, pp. 21-31, 2020.
- [8] A. Aswi, S. Cramb, W. Hu, G. White, and K. Mengersen, "Spatio-temporal analysis of dengue fever in Makassar Indonesia: A comparison of models based on CARBayes," in *In Case Studies in Applied Bayesian Data Science*, vol. 2259, K. Mengersen, P. Pudlo, and C. Robert, Eds. Switzerland: Springer, 2020, pp. 229-244.
- [9] A. Aswi, S. Cramb, E. Duncan, and K. Mengersen, "Evaluating the impact of a small number of areas on spatial estimation," *International journal of health geographics*, vol. 19, no. 1, pp. 39-39, 2020.
- [10] A. Aswi, S. Cramb, E. Duncan, and K. Mengersen, "Climate variability and dengue fever in Makassar, Indonesia: Bayesian spatio-temporal modelling," *Spatial and spatio-temporal epidemiology*, vol. 33, p. 100335, 2020.
- [11] A. Aswi, Sukarna, S. Cramb, and K. Mengersen, "Effects of Climatic Factors on Dengue Incidence: A Comparison of Bayesian Spatio-Temporal Models," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1863, p. 12050, 2021 2020.
- [12] W. Winardi *et al.*, *Statistik Indonesia 2021*. Jakarta: Badan Pusat Statistik Indonesia, 2021, p. 758.
- [13] B. G. Leroux, X. Lei, and N. Breslow, "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.
- [14] D. Lee, "CARBayes: an R package for Bayesian spatial modeling with conditional autoregressive priors," *Journal of Statistical Software*, vol. 55, no. 13, pp. 1-24, 2013.
- [15] R Core Team, "R: A language and environment for statistical computing," ed. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing, 2019.
- [16] D. J. Spiegelhalter, N. G. Best, B. P. Carlin, and A. Van Der Linde, "Bayesian measures of model complexity and fit," *Journal of the Royal Statistical Society. Series B, Statistical methodology*, vol. 64, no. 4, pp. 583-639, 2002.
- [17] S. Watanabe, "Asymptotic Equivalence of Bayes Cross Validation and Widely Applicable Information Criterion in Singular Learning Theory," *Journal of Machine Learning Research* vol. 11, pp. 3571-3594, 2010.
- [18] T. B. Carrijo and A. R. Da Silva, "Modified Moran's I for Small Samples," *Geographical Analysis*, vol. 49, no. 4, pp. 451-467, 2017.
- [19] A. Aswi, S. Cramb, E. Duncan, and K. Mengersen, "Detecting Spatial Autocorrelation for a Small Number of Areas: a practical example," *Journal of physics. Conference series*, vol. 1899, no. 1, p. 12098, 2021.