

Perbandingan Model Bayesian Spasial Conditional Autoregressive (CAR): Kasus Covid-19 di Kota Makassar, Indonesia

Muhammad Arif Tiro¹, Aswi Aswi², Zulkifli Rais³

Universitas Negeri Makassar

Email: aswi@unm.ac.id

Abstrak. Jumlah pasien positif penyakit Coronavirus-2019 (Covid-19) meningkat secara tajam mengikuti sebaran eksponensial. Salah satu Provinsi di Indonesia di luar Pulau Jawa yang memiliki jumlah kasus Covid-19 tertinggi adalah Provinsi Sulawesi Selatan. Diantara 24 Kabupaten/Kota di Provinsi Sulawesi Selatan, Kota Makassar sebagai ibukota provinsi Sulawesi Selatan memiliki kasus terkonfirmasi positif Covid-19 tertinggi. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan model Bayesian spasial Conditional Autoregressive (CAR) dalam mengestimasi risiko relative (RR) kasus Covid-19 di Makassar. Beberapa model model Bayesian spasial CAR yang digunakan adalah CAR BYM, CAR Leroux, CAR localised dan model Independent. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data jumlah kasus terkonfirmasi positif Covid-19 (20 Maret 2020 - 30 Agustus 2021) dan data jumlah penduduk pada 15 kecamatan di Kota Makassar. Pemilihan model terbaik didasarkan pada beberapa ukuran kecocokan model yaitu Deviance Information Criteria (DIC), Watanabe Akaike Information Criteria (WAIC). Berdasarkan nilai DIC dan WAIC yang terkecil, dapat disimpulkan bahwa Bayesian spasial CAR localised merupakan model yang terbaik dalam memodelkan kasus terkonfirmasi Covid-19 di kota Makassar. Berdasarkan Bayesian spasial CAR localised tersebut, diperoleh bahwa Ujung Pandang memiliki RR Covid-19 tertinggi (RR=1,70) sedangkan Kabupaten Sangkarrang memiliki RR Covid-19 terendah (RR=0,09). Hasil ini dapat membantu para pembuat kebijakan dalam pengambilan keputusan.

Kata Kunci: Bayesian, Conditional Autoregressive priors, Leroux, BYM, Localised

PENDAHULUAN

Wabah penyakit coronavirus 2019 (Covid-19) telah menyebar secara eksponensial ke seluruh dunia sejak akhir tahun 2019 (Shereen et al., 2020). Sebanyak sekitar 4.079.267 orang terkonfirmasi positif Covid-19 di Indonesia hingga tanggal 30 Agustus 2021 dimana sekitar 203.060 orang dalam perawatan; 3.743.716 sembuh dan 132.491 orang meninggal (<https://infocorona.makassar.go.id/>) (Dinkes, 2021). Provinsi Sulawesi Selatan yang merupakan salah satu Provinsi di Indonesia dilaporkan memiliki jumlah kasus COVID-19 tertinggi di luar Pulau Jawa (CNN, 2020). Terdapat

sekitar 104.146 orang terkonfirmasi positif Covid-19 di Provinsi Sulawesi Selatan dengan 94.831 orang sembuh dan 1.979 orang meninggal dunia. Selanjutnya, Kota Makassar yang merupakan ibu kota Provinsi Sulawesi Selatan dilaporkan memiliki jumlah kasus Covid-19 tertinggi di antara 24 kabupaten/kota.

Walaupun sejumlah penelitian tentang pemodelan Covid-19 telah dilakukan, hanya sejumlah kecil penelitian yang menggunakan model spasial hierarkis dengan menggunakan metode Bayesian. Beberapa model Bayesian spasial hierarkis yang telah digunakan terkait dengan pemodelan Covid-19 adalah model Bayesian spasial Besag, York & Mollié (BYM). Model BYM ini telah digunakan untuk menyelidiki hubungan antara faktor sosial ekonomi dan kasus Covid-19 di kota New York (Whittle & Diaz-Artiles, 2020). Dalam penelitian tersebut, mereka membandingkan antara model Bayesian spasial BYM Poisson dan model Bayesian spasial BYM Negative Binomial. Penelitian lain menggunakan model Bayesian spasial BYM Poisson untuk menyelidiki hubungan antara jumlah kasus positif Covid-19 dan proporsi populasi kulit hitam/Afrika Amerika (DiMaggio et al., 2020). Studi lainnya telah meneliti hubungan antara kematian Covid-19 dan NO₂ dan PM_{2.5} di Inggris menggunakan model log-linear hierarkis Bayesian Poisson (Konstantinoudis et al., 2021).

Model Bayesian spasial CAR yang sering digunakan dalam pemodelan kasus suatu penyakit tertentu adalah model CAR BYM, CAR Leroux, CAR Localised dengan $G=2$ dan CAR localised dengan $G=3$. Sebuah penelitian telah membandingkan model CAR tersebut dalam mempertimbangkan jumlah area yang sedikit dengan menggunakan studi simulasi dan studi kasus pada demam berdarah di Kota Makassar (Aswi et al., 2020). Mereka menyimpulkan bahwa secara umum, performa model CAR Leroux lebih baik dibandingkan model CAR BYM. Selanjutnya, mereka juga menyimpulkan bahwa model Bayesian spasial CAR localised direkomendasikan untuk digunakan ketika jumlah data dan variansi suatu kasus penyakit tertentu relative besar perbedaannya antar wilayah karena model tersebut dapat membedakan antara kelompok area yang memiliki risiko relatif tinggi, risiko sedang, ataupun risiko relatif rendah (Aswi et al., 2020).

Sepanjang pengetahuan kami, perbandingan model Bayesian spasial CAR BYM, CAR Leroux, CAR localised dalam menganalisis risiko relative Covid-19 belum dieksplorasi. Tulisan ini bertujuan untuk membandingkan model Bayesian Spasial CAR dalam memodelkan kasus Covid-19 di Kota Makassar dan menemukan model Bayesian spasial CAR yang paling sesuai dalam memodelkan risiko relatif (RR) kasus Covid-19 terkonfirmasi di Kota Makassar, Indonesia.

METODE PENELITIAN

Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kasus terkonfirmasi Covid-19 yang diambil mulai 19 Maret 2020 sampai 30 Agustus 2021 dari setiap kecamatan yang ada di Kota Makassar yaitu sebanyak 15 Kecamatan/Kota. Data

tersebut diperoleh dari website resmi kantor Kesehatan Kota Makassar (<https://infocorona.makassar.go.id/>) (Dinkes, 2021). Selain itu, data jumlah penduduk juga digunakan dalam pemodelan resiko relative untuk terjangkit Covid-19. Data jumlah penduduk di setiap Kecamatan diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) (Statistik, 2021)

Model

Beberapa model Bayesian Spasial CAR digunakan dalam penelitian ini yaitu model CAR BYM, CAR Leroux, CAR Localised dengan $G=2$ dan CAR localised dengan $G=3$. Data count Covid-19 dianalisis dengan menggunakan paket CARBayes versi 5.2.3 dengan menggunakan software R versi 3.6.1 (R Core Team, 2019) dan dimodelkan dengan menggunakan distribusi Poisson. Model tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut.

1. Model Independent

Model Independent merupakan model dengan tanpa autokorelasi spasial, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

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

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

dimana y_i adalah banyaknya kasus Covid-19 pada wilayah $i = 1, \dots, 15$ wilayah; E_i dan θ_i adalah masing-masing nilai ekspektsi banyaknya kasus dan resiko relative. α adalah tingkatan keseluruhan resiko relative v_i adalah random efek spasial yang tidak terstruktur yang didefinisikan sebagai berikut:

$$v_i \sim N(0, \tau_v^2)$$

$$\tau_v^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(1.0, 0.01)$$

2. Model BYM

Model BYM merupakan model yang terdiri dari dua komponen yaitu komponen spasial terstruktur u_i yang mempunyai prior CAR dan v_i yang mempunyai prior normal yang dapat dituliskan sebagai berikut:

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

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

u_i dimodelkan dengan menggunakan prior CAR sebagai berikut:

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

$$\tau_u^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(1, 0.1)$$

3. Model Leroux

Model Leroux merupakan model yang terdiri dari satu komponen yaitu komponen spasial terstruktur u_i yang memungkinkan untuk memiliki nilai ρ yang bervariasi antara nol

dan satu. Komponen spasial terstruktur u_i mengkombinasikan prior CAR dan prior normal. Jika $\rho = 1$, diperoleh model ICAR, dan jika $\rho = 0$ diperoleh model independent, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

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

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

dimana

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

$$\tau_u^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(1, 0.1)$$

4. Model Localised

Model Localised merupakan model yang serupa dengan model Leroux tetapi ada penambahan satu komponen yaitu λ_{z_i} yang merupakan komponen pengelompokan. Model ini memungkinkan sub wilayah untuk memiliki nilai spasial autokorelasi yang berbeda, yang dapat dituliskan sebagai berikut:

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

$$\log(\theta_i) = \alpha + u_i + \lambda_{z_i}$$

u_i dimodelkan dengan menggunakan prior CAR sebagai berikut:

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

$$\tau_u^2 \sim \text{Inverse-Gamma}(1, 0.1)$$

Matrik spasial pembobot digunakan matriks pembobot biner (Waller & Gotway, 2004) yang didefinisikan sebagai berikut:

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

Didefinisikan bahwa $w_{ij} = w_{ji}$ and $w_{ii} = 0$.

Perbandingan Model

Model dianalisis dengan menggunakan Paket CARBayes package versi 5.2.3 (Lee, 2013) pada software R versi 3.6.1 (R Core Team, 2019). Distribusi posterior diperoleh dengan menggunakan algoritma Markov Chain Monte Carlo (MCMC) berdasarkan 25.000 iterasi dengan 15.000 MCMC sampel setelah burn-in 10.000 sampel. Kekonvergenan dari setiap parameter model dicek dengan menggunakan trace plot. Pemilihan model terbaik dilakukan berdasarkan nilai terkecil dari Deviance Information Criteria (DIC) (Spiegelhalter et al., 2002), maupun Watanabe Akaike

Information Criteria (WAIC). Nilai statistik Moran's I (Moran, 1950) and Modified Moran's I (Carrijo & Da Silva, 2017) untuk data count atau data jumlah kasus terkonfirmasi Covid-19 dihitung untuk mengecek apakah terdapat spasial autokorelasi antar wilayah. (Aswi et al., 2021).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Banyaknya Kasus terkonfirmasi Covid-19 di Kota Makassar mulai tanggal 19 Maret 2020 sampai 30 Agustus 2021 adalah sebanyak 44.803 kasus dimana Kecamatan Rappocini memiliki jumlah kasus tertinggi dan Pulau Sangkarrang memiliki jumlah kasus terendah. Pengujian untuk melihat ada tidaknya autokorelasi spasial antara wilayah di Kota Makassar dilakukan dengan menggunakan statistic Moran's I untuk data kasus Covid-19 dan diperoleh Nilai Moran's I sebesar 0.46 dengan nilai p-value = 0,0009. Hal ini menunjukkan bahwa ada ketergantungan spasial pada data. Selain statistic Moran's I, cara lain yang dapat digunakan untuk menghitung autokorelasi spasial adalah dengan menggunakan Modifien Moran's I.

Hasil dari pengujian kecocokan model dengan menggunakan Deviance Information Criteria (DIC), dan Watanabe Akaike Information Criteria (WAIC) dapat dilihat pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Nilai DIC dan WAIC dari setiap model Bayesian Spasial CAR

Models	DIC	WAIC
Independent	176,91	177,59
BYM	179,17	182,87
Leroux	177,70	179,69
Localised G=2	174,35	171,81
Localised G=3	174,49	173,79

Berdasarkan Tabel 1 di atas, terlihat bahwa model Localised model memiliki nilai DIC dan WAIC terkecil. Nilai DIC dari model Bayesian CAR Localised dengan G= 2 dan CAR Localised dengan G = 3 adalah sama yaitu 174, 4, sedangkan nilai WAIC dari model Bayesian CAR Localised dengan G = 2 dan CAR Localised dengan G= 3 adalah relative sama yaitu masing masing 171,81 dan 173,79. Secara umum dapat disimpulkan bahwa model terbaik dalam memodelkan risiko relative kasus terkonfirmasi Covid-19 di Kota Makassar, Indonesia adalah model Bayesian CAR localised. Selanjutnya, banyaknya kasus terkonfirmasi Covid-19, nilai Risiko Relative (RR) dan struktur pengelompokkan untuk setiap Kecamatan berdasarkan model terbaik yaitu CAR localised dengan G=2 dan G=3 dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

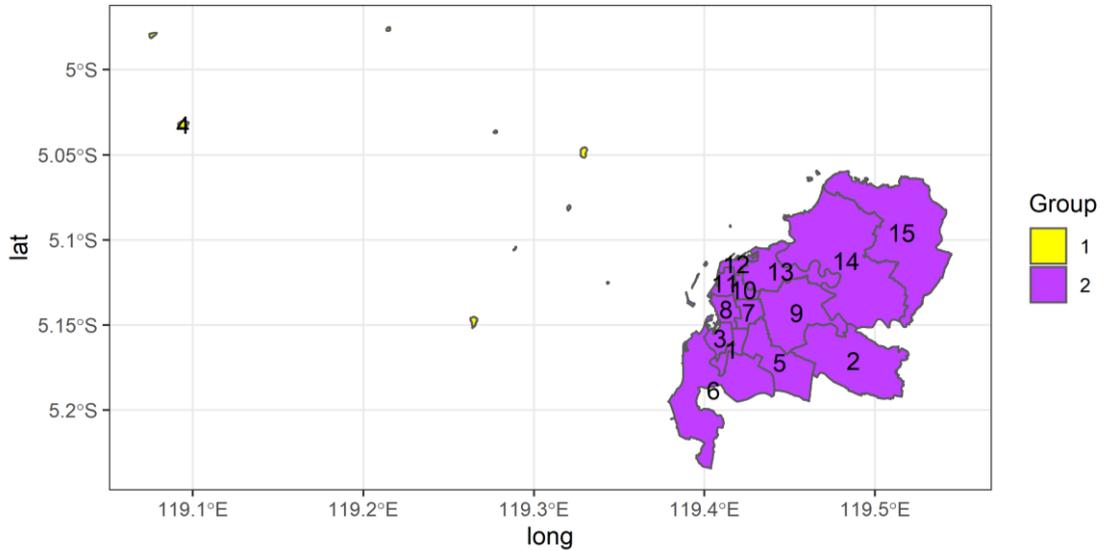
Tabel 2. Banyaknya Kasus terkonfirmasi Covid-19, nilai Risiko Relative (RR) dan stuktur pengelompokan untuk setiap Kecamatan berdasarkan Model CAR localised

ID	Kecamatan	Jumah kasus terkonfirmasi Covid-19	G=2		G=3	
			RR	LS	RR	LS
1	Mamajang	1884	1,07	2	1,07	3
2	Manggala	5042	1,09	2	1,09	3
3	Mariso	1648	0,91	2	0,92	3
4	Sangkarrang	38	0,09	1	0,09	1
5	Rappocini	6602	1,45	2	1,45	3
6	Tamalate	5497	0,97	2	0,97	3
7	Makasar	2010	0,78	2	0,78	2
8	Ujung Pandang	1323	1,70	2	1,69	3
9	Panakkukang	5064	1,15	2	1,15	3
10	Bontoala	1184	0,68	2	0,68	2
11	Wajo	1106	1,17	2	1,17	3
12	Ujung Tanah	639	0,57	2	0,57	2
13	Tallo	2093	0,46	2	0,46	2
14	Tamalanrea	4507	1,38	2	1,38	3
15	Biringkanaya	6166	0,94	2	0,94	3

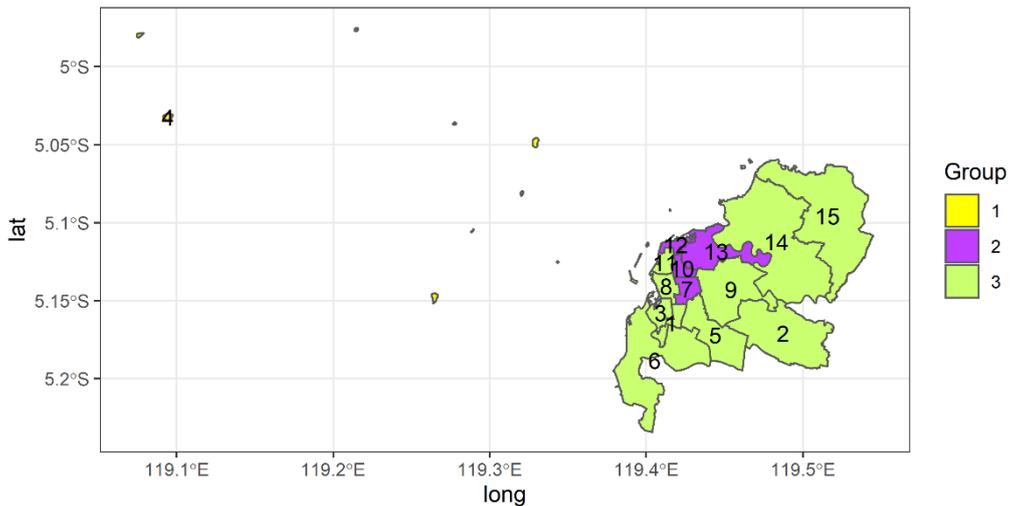
LS: Localised Structures; RR: Relative Risk

Berdasarkan Tabel 2, diperoleh bahwa nilai risiko relative yang tertinggi berdasarkan model Bayesian CAR localised dengan G=2 (RR=1,70), dan model Bayesian CAR localised dengan G=3 (RR= 1,69) adalah Kecamatan Ujung Pandang, sementara nilai risiko relative yang terendah berdasarkan model Bayesian CAR localised dengan G=2 (RR=0,09), dan model Bayesian CAR localised dengan G=3 (RR= 0,09) adalah Pulau Sangkarrang. Selanjutnya, diperoleh bahwa berdasarkan model Bayesian CAR localised dengan G=2 pada kolom Localised Structure (LS) diperoleh 2 kelompok dimana Kelompok 1 terdiri dari 1 wilayah yaitu Kepulauan Sangkarrang, dan kelompok 2 terdiri dari 14 Kecamatan selain Kepulauan Sangkarrang. Untuk model Bayesian CAR localised dengan G=3 pada kolom Localised Structure (LS) diperoleh 3 kelompok dimana kelompok 1 terdiri dari 1 wilayah yaitu Kepulauan Sangkarrang, kelompok 2 terdiri dari 4 Kecamatan yaitu Kecamatan Makassar, Kecamatan, Kecamatan Bontoala, Kecamatan Ujung Tanah, dan Kecamatan Tallo, sedangkan kelompok 3 terdiri dari 10 Kecamatan yaitu Kecamatan Ujung Pandang, Mamajang, Manggala, Mariso, Rappocini, Tamalate, Panakkukang, Wajo, Tamalanrea dan Biringkannya. Untuk lebih jelasnya, hasil pengelompokan dapat ditampilkan secara visualisasi. Pemetaan hasil pengelompokan kasus terkonfirmasi Covid-19 di Kota Makassar dengan

menggunakan Model Bayesian Spasial CAR localised dengan $G=2$ dan Model Bayesian Spasial CAR localised dengan $G=3$ dapat dilihat pada Gambar 1 dan Gambar 2 masing masing.



Gambar 1. Pemetaan hasil pengelompokan kasus terkonfirmasi Covid-19 di Kota Makassar dengan menggunakan Model Bayesian Spasial CAR localised dengan $G=2$.



Gambar 2. Pemetaan hasil pengelompokan kasus terkonfirmasi Covid-19 di Kota Makassar dengan menggunakan Model Bayesian Spasial CAR localised dengan $G=3$.

Kecamatan yang memiliki risiko relative yang tertinggi dengan menggunakan Model Bayesian spasial CAR localised dengan $G=3$ adalah Kecamatan Ujung Pandang ($RR=1,69$), diikuti oleh Kecamatan Rappocini ($RR=1,45$), dan Kecamatan Tamalanrea ($RR=1,38$) yang dikategorikan dalam kelompok 3. Sebaliknya, Kecamatan yang memiliki risiko relative yang terendah dengan menggunakan Model Bayesian spasial CAR localised dengan $G=3$ adalah Kecamatan Kepulauan Sangkarrang ($RR=0,09$) yang dikategorikan dalam kelompok 1.

KESIMPULAN

Dapat disimpulkan bahwa model Bayesian spasial CAR Localised model dengan $G= 3$ merupakan model yang terbaik dalam memodelkan risiko relative Covid-19 di Kota Makassar. Berdasarkan model tersebut, diperoleh bahwa Kecamatan yang memiliki risiko relative yang tertinggi Kecamatan Ujung Pandang ($RR=1,69$), diikuti oleh Kecamatan Rappocini ($RR=1,45$), dan Kecamatan Tamalanrea ($RR=1,38$) yang dikategorikan dalam kelompok 3. Sedangkan, Kecamatan yang memiliki risiko relative yang terendah dengan Kecamatan Kepulauan Sangkarrang ($RR=0,09$) yang dikategorikan dalam kelompok 1.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada FMIPA Universitas Negeri Makassar. Penelitina ini dibiayai oleh DIPA Universitas Negeri Makassar Nomor: SP DIPA 023.17.2.677523/2021 November 2020, Sesuai Surat Keputusan (SK) Rektor Universitas Negeri Makassar Nomor: 550/UN36/HK/2021 pada tanggal 5 Mei 2021.

REFERENSI

- 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
- 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
- CNN, I. (2020). Sulsel Jadi Wilayah Kasus Corona Tertinggi di Luar Pulau Jawa. Retrieved from <https://www.cnnindonesia.com/nasional/20200407154248-20-491274/sulsel-jadi-wilayah-kasus-corona-tertinggi-di-luar-pulau-jawa>
- DiMaggio, C., Klein, M., Berry, C., & Frangos, S. (2020). Black/African American Communities are at highest risk of COVID-19: spatial modeling of New York City ZIP Code-level testing results. *Annals of epidemiology*, 51, 7-13. doi:10.1016/j.annepidem.2020.08.012
- Dinkes, K. M. (2021). Info Penanggulangan Covid-19 Kota Makassar. Retrieved from <https://infocorona.makassar.go.id/>

- Konstantinoudis, G., Padellini, T., Bennett, J., Davies, B., Ezzati, M., & Blangiardo, M. (2021). Long-term exposure to air-pollution and COVID-19 mortality in England: A hierarchical spatial analysis. *Environment International*, *146*, 106316. doi:10.1016/j.envint.2020.106316
- 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
- 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>
- Shereen, M. A., Khan, S., Kazmi, A., Bashir, N., & Siddique, R. (2020). COVID-19 infection: Origin, transmission, and characteristics of human coronaviruses. *Journal of advanced research*, *24*, 91-98. doi:10.1016/j.jare.2020.03.005
- 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
- Statistik, B. P. (2021). *Makassar Municipality in Figures 2021*. Retrieved from Makassar:
- Waller, L. A., & Gotway, C. A. (2004). *Applied spatial statistics for public health data*. Hoboken, N.J: John Wiley & Sons.
- Whittle, R. S., & Diaz-Artiles, A. (2020). An ecological study of socioeconomic predictors in detection of COVID-19 cases across neighborhoods in New York City. *BMC medicine*, *18*(1), 271-271. doi:10.1186/s12916-020-01731-6