

## Bivariate Negative Binomial Regression for Modelling Covid-19 Confirmed Cases and Death Cases in Kalimantan

### Regresi Binomial Negatif Bivariat untuk Pemodelan Kasus Konfirmasi dan Kasus Kematian akibat Covid-19 di Kalimantan

Muhammad Luthfi Setiarno Putera\*

#### Abstract

Coronavirus disease (Covid-19) caused a pandemic severely affecting various sectors and paralyzed health services in Indonesia. As of June 2020, the percentage of Covid-19 confirmed cases in Kalimantan, the second largest island in Indonesia, contributed about 7% of the total national cases. In the same period, the percentage of Covid-19 deaths reached 12% of the national figure. This study used regression models to respond to bi-response count data consisting of Covid-19 confirmed cases and Covid-19 deaths in regencies/cities in Central Kalimantan and South Kalimantan provinces. This study compared the results of bivariate Poisson regression and bivariate negative binomial regression. There were thirteen predictors representing the determinants of health, social, economic, and demography indicators. The results showed that the prevalence of pneumonia had positive effect on Covid-19 confirmed cases and Covid-19 deaths. The percentage of elderly had negative effect on confirmed cases, while it had no significant effect on Covid-19 deaths. Bivariate negative binomial regression showed more satisfying performance on modeling Covid-19 cases and Covid-19 deaths jointly because it produced lower AIC and deviance than that of Poisson one. The negative bivariate model was also better than the Poisson one because it was able to overcome over-dispersion.

**Keywords:** Bivariate, confirmed cases, Covid-19, deaths, negative binomial.

#### Abstrak

Coronavirus disease (Covid-19) menyebabkan pandemi yang berdampak parah pada berbagai sektor dan melumpuhkan pelayanan kesehatan di Indonesia. Pada akhir Juni 2020, persentase kasus konfirmasi Covid-19 di Kalimantan, pulau terbesar kedua di Indonesia, berkontribusi sekitar 7% dari total kasus nasional. Pada periode yang sama, persentase kasus kematian Covid-19 mencapai 12% dari angka nasional. Penelitian ini menggunakan model regresi untuk respon data cacah berganda yang terdiri atas kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 di kabupaten/kota pada Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Kalimantan Selatan. Penelitian ini membandingkan hasil pemodelan regresi Poisson bivariat dan regresi binomial negatif bivariat. Prediktor yang digunakan sebanyak tiga belas yang mewakili

---

\* Fakultas Syariah, Institut Agama Islam Negeri Palangka Raya

Email address: [m.luthfi@iain-palangkaraya.ac.id](mailto:m.luthfi@iain-palangkaraya.ac.id)



determinan dari indikator kesehatan, sosial, ekonomi, dan kependudukan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prevalensi pneumonia berpengaruh positif pada kasus konfirmasi dan kasus kematian Covid-19. Adapun persentase lansia berpengaruh negatif pada kasus konfirmasi, dan tidak signifikan berpengaruh pada kasus kematian Covid-19. Regresi binomial negatif bivariat menunjukkan kinerja yang lebih memuaskan dalam memodelkan kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 secara bersama karena menghasilkan AIC dan devians yang lebih rendah ketimbang regresi Poisson. Model bivariat negatif juga lebih baik daripada model Poisson karena mampu mengatasi over-dispersi.

**Kata kunci:** Binomial negatif, bivariat, Covid-19, kasus kematian, kasus konfirmasi.

## 1. PENDAHULUAN

Virus SARS-CoV-2 sebagai agen penyebaran *coronavirus disease* (Covid-19) telah menyebabkan pandemi yang berkepanjangan dengan munculnya beragam varian virus yang baru. Infeksi dari virus ini memicu gejala yang ringan hingga berat, antara lain batuk, demam, kelelahan, dan hilang penciuman dan perasa [3, 8]. Hingga saat ini, pandemi Covid-19 telah memakan banyak korban jiwa dan jutaan pasien masih dirawat di berbagai fasilitas kesehatan [15].

Di Indonesia, jumlah kasus konfirmasi dan jumlah kematian akibat Covid-19 masih berada di fase yang mengkhawatirkan sejak awal kemunculannya pada Maret 2020. Hingga akhir Juni 2020, pandemi telah menginfeksi lebih dari 5.000 jiwa di Indonesia [9]. Sebagai pulau terbesar kedua di Indonesia, total kasus Covid-19 di Kalimantan tercatat mencapai 7% dari total kasus secara nasional pada akhir Juni 2020. Sementara, total kasus kematian akibat Covid-19 di Kalimantan mencapai 12% pada periode yang sama [9].

Secara spesifik, angka *positivity rate* provinsi-provinsi di Kalimantan yang menjadi perhatian dalam penelitian ini, yaitu Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Kalimantan Selatan, lebih besar dari 5% sebagai angka maksimum yang ditetapkan oleh pemerintah [16]. Wabah juga belum dapat dikendalikan oleh pemerintah setempat yang ditandai dengan jumlah konfirmasi Covid-19 sebanyak 904 kasus di Kalimantan Tengah dan 3.148 kasus di Kalimantan Selatan [5, 12]. Tingkat kematian akibat Covid-19 di Kalimantan Tengah sebanyak 55 kasus, sementara di Kalimantan Selatan mencapai 189 kasus [5, 12].

Penelitian yang dilakukan dalam beberapa waktu terakhir menunjukkan kemungkinan adanya hubungan yang signifikan antara kasus konfirmasi dan kasus kematian akibat Covid-19 [4, 7]. Mengingat dua variabel tersebut merupakan data cacah, kemungkinan terjadinya over-dispersi pada kasus konfirmasi dan kasus kematian akibat Covid-19 relatif tinggi karena perbedaan jumlah kasus antar wilayah yang signifikan. Hal ini didukung temuan mengenai model binomial negatif bivariat yang cukup lazim ditemui pada kasus di bidang epidemiologi [10, 14].

Penelitian oleh Famoye [4] dan Simoes, Schmaltz dan Jackson-Thompson [13] menunjukkan bahwa model regresi binomial negatif bivariat menghasilkan estimator yang lebih baik daripada regresi Poisson bivariat dan regresi normal bivariat. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini mengusulkan penggunaan model regresi binomial negatif bivariat untuk memodelkan kasus konfirmasi dan kasus kematian akibat Covid-19 di kabupaten-kabupaten di Provinsi Kalimantan Tengah dan Provinsi Kalimantan Selatan.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 *Coronavirus disease 2019* (Covid-19)

Sejak terkonfirmasi pertama kali pada akhir Desember 2019 di Wuhan, China, wabah penyakit coronavirus (COVID-19) semakin menyebar luas. Covid-19 adalah penyakit menular yang disebabkan oleh SARS-Coronavirus 2 (SARS-Cov-2). Coronavirus dapat menyebabkan penyakit pada unggas dan mamalia, termasuk manusia. Pada manusia, Covid-19 menyebabkan infeksi saluran pernapasan seperti batuk dan flu, demam, hingga pneumonia (radang paru-paru). Jika penderita tidak segera ditangani, Covid-19 dapat memicu keparahan penyakit komorbid (diabetes, hipertensi, penyakit jantung) [7].

Penyebaran Covid-19 dapat ditularkan dari orang ke orang melalui kontak dekat dan droplet, alih-alih melalui udara. Orang yang paling berisiko terinfeksi Covid-19 adalah mereka yang melakukan kontak dekat dengan pasien Covid-19, termasuk tenaga medis yang merawat pasien Covid-19 [3]. Selain itu, terdapat beberapa faktor lain yang menyebabkan seseorang berisiko untuk terinfeksi Covid-19, antara lain jenis kelamin, umur, dan kehadiran penyakit komorbid [1]. Minimnya fasilitas kesehatan dan tenaga kesehatan juga dapat memicu kolapsnya sistem kesehatan guna penanggulangan Covid-19 [2, 11].

## 2.2 Distribusi binomial negatif bivariat

Jika variabel random  $Y_1$  dan  $Y_2$  berdistribusi binomial negatif dan saling terikat dan memiliki parameter dispersi  $\alpha_1$  dan  $\alpha_2$ , berlaku distribusi bersama  $Y_1$  dan  $Y_2$  berupa distribusi binomial negatif bivariat dengan fungsi peluang sebagai berikut,

$$g(y_1, y_2, \mu_1, \mu_2, \alpha_1, \alpha_2, \lambda) = \begin{cases} \prod_{p=1}^2 \left( \frac{\Gamma(\alpha_p^{-1} + y_p)}{\Gamma(\alpha_p^{-1})\Gamma(y_p + 1)} \left( \frac{\mu_p}{\alpha_p^{-1} + \mu_p} \right)^{y_k} \left( \frac{\alpha_p^{-1}}{\alpha_p^{-1} + \mu_p} \right)^{\alpha_p^{-1}} \right) \\ \times (1 + \lambda(e^{-y_1} - c_1)(e^{-y_2} - c_2)); y_1, y_2 = 0, 1, 2, \dots \\ 0 \quad \quad \quad ; y_1, y_2 \text{ lainnya} \end{cases} \quad (1.1)$$

dengan  $c_p = \frac{1 - \mu_p(\alpha_p^{-1} + \mu_p)^{-1}}{1 - e^{-1}\mu_p(\alpha_p^{-1} + \mu_p)^{-1}}$  dan  $\lambda$  sebagai faktor yang menunjukkan independensi antara

kedua variabel respons  $Y$  [4]. Jika  $\lambda$  bernilai 0, maka tidak ada dependensi antara  $Y_1$  dan  $Y_2$ . Jika  $\lambda$  bernilai positif, maka ada korelasi positif antara  $Y_1$  dan  $Y_2$ , dan korelasi yang sebaliknya jika  $\lambda$

bernilai negatif [10]. Karena  $\frac{\Gamma(\alpha^{-1} + y)}{\Gamma(\alpha^{-1})} = \prod_{r=0}^{y-1} (\alpha^{-1} + r)$ , maka persamaan 2.1 dapat dinyatakan

menjadi

$$g(y_1, y_2, \mu_1, \mu_2, \alpha_1, \alpha_2, \lambda) = \begin{cases} \prod_{p=1}^2 \prod_{r=0}^{y_p-1} \left( \frac{(\alpha_p^{-1} + r)(\mu_p)^{y_p}}{y_p!} (\alpha_p^{-1})^{\alpha_p^{-1}} (\alpha_p^{-1} + \mu_p)^{-(y_p + \alpha_p^{-1})} \right) \\ \times (1 + \lambda(e^{-y_1} - c_1)(e^{-y_2} - c_2)); y_1, y_2 = 0, 1, 2, \dots \\ 0 \quad \quad \quad ; y_1, y_2 \text{ lainnya} \end{cases} \quad (1.2)$$

Besarnya korelasi antara  $Y_1$  dan  $Y_2$  dirumuskan menjadi

$$\rho = \lambda m^2 (1 + m\alpha_1\mu_1)^{-1 - 1/\alpha_1} (1 + m\alpha_2\mu_2)^{-1 - 1/\alpha_2} \sqrt{\mu_1\mu_2(1 + \alpha_1\mu_1)(1 + \alpha_2\mu_2)} \quad (1.3)$$

dengan  $m = 1 - e^{-1}$ . Fungsi peluang pada persamaan 2.2 memiliki rerata  $E(Y_1) = \mu_1, E(Y_2) = \mu_2$  dan varians  $Var(Y_1) = \mu_1 + \alpha_1 \mu_1^2, Var(Y_2) = \mu_2 + \alpha_2 \mu_2^2$  dengan korelasi antara  $Y_1$  dan  $Y_2$  ditunjukkan dalam persamaan 2.3.

### 2.3 Regresi binomial negatif bivariat

Model regresi binomial negatif bivariat didasari oleh sepasang variabel random  $Y_1$  dan  $Y_2$  yang berdistribusi binomial negatif bivariat [10]. Persamaan 2.4 merupakan model regresi  $Y_1$  dan  $Y_2$  terhadap  $k$  prediktor  $X_1, X_2, \dots, X_k$ ,

$$\ln(\mu_{pi}) = \beta_{p0} + \sum_{j=1}^k \beta_{pj} x_{ji}; i = 1, 2, \dots, n; p = 1, 2, \quad (1.4)$$

dengan  $(Y_1, Y_2) \square BNB(\mu_1, \mu_2, \alpha_1, \alpha_2, \lambda)$ . Melalui transformasi, persamaan 2.4 dapat dikonversi menjadi

$$\mu_{pi} = \exp(\mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}_j); i = 1, 2, \dots, n; p = 1, 2, \quad (1.5)$$

dengan  $\mathbf{x}_i = [1 \ x_{i1} \ x_{i2} \ \dots \ x_{ik}]^T$  dan  $\boldsymbol{\beta}_p = [\beta_{p0} \ \beta_{p1} \ \beta_{p2} \ \dots \ \beta_{pj}]^T$ . Fungsi *likelihood* dari persamaan 2.5 adalah

$$L(\mu_1, \mu_2, \alpha_1, \alpha_2, \lambda) = \prod_{i=1}^n \left\{ \prod_{p=1}^2 \prod_{r=0}^{y_p-1} \frac{(\alpha_p^{-1} + r)(\mu_p)^{y_p}}{y_p!} (\alpha_p^{-1})^{\alpha_p^{-1}} (\alpha_p^{-1} + \mu_p)^{-(y_p + \alpha_p^{-1})} \times (1 + \lambda(e^{-y_1} - c_1))(e^{-y_2} - c_2) \right\}. \quad (1.6)$$

Melalui penyederhanaan logaritmik, persamaan 2.6 dapat diformulasikan menjadi

$$\ln L(\cdot) = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{p=1}^2 \sum_{r=0}^{y_p-1} (\alpha_p^{-1} + r) + y_{pi} \ln \mu_{pi} - \ln(y_{pi}!) - \alpha_p^{-1} \ln \alpha_p - (y_{pi} + \alpha_p^{-1}) \ln(\alpha_p^{-1} + \mu_{pi}) + \ln(1 + \lambda(e^{-y_1} - c_1))(e^{-y_2} - c_2) \right\} \quad (1.7)$$

dimana  $c_p = (1 + m\mu_{pi}\alpha_p)^{\alpha_p^{-1}}$  dan  $m = 1 - e^{-1}$ ,  $p = 1, 2$ . Berdasarkan aturan derivatif, turunan pertama dari persamaan 2.7 terhadap parameter-parameternya tidak dapat diestimasi secara analitik. Penyelesaian dilakukan dengan estimasi secara numerik menggunakan pendekatan iteratif Newton-Raphson hingga diperoleh nilai solusi yang konvergen [10, 14].

### 2.4 Uji signifikansi parameter

Uji signifikansi parameter dilakukan secara serentak dan secara parsial. Pengujian parameter signifikan secara serentak menggunakan metode *likelihood ratio test* (LRT) dengan hipotesis

$$H_0 : \beta_{p1} = \beta_{p2} = \dots = \beta_{pj} = 0; j = 1, 2, \dots, k; p = 1, 2$$

$$H_1 : \text{minimal ada satu } \beta_{pj} \neq 0.$$

Statistik uji yang berlaku untuk membuktikan hipotesis uji serentak dinyatakan dalam persamaan 2.8

$$D = -2 \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{p=1}^2 \left( y_{pi} \ln \left( \frac{(\tilde{\alpha}_p^{-1} + r) \tilde{\mu}_{pi} (\tilde{\alpha}_p^{-1} + \tilde{\mu}_{pi})}{(\hat{\alpha}_p^{-1} + r) \hat{\mu}_{pi} (\hat{\alpha}_p^{-1} + \hat{\mu}_{pi})} \right) - \hat{\alpha}_p \ln \left( \frac{\hat{\alpha}_p^{-1} + \hat{\mu}_{pi}}{\hat{\alpha}_p^{-1}} \right) \right. \right. \\ \left. \left. + \tilde{\alpha}_p \ln \left( \frac{\tilde{\alpha}_p^{-1} + \tilde{\mu}_{pi}}{\tilde{\alpha}_p^{-1}} \right) + \ln \left( \frac{1 + \tilde{\lambda} (e^{-y_{1i}} - \tilde{c}_1) (e^{-y_{2i}} - \tilde{c}_2)}{1 + \hat{\lambda} (e^{-y_{1i}} - \hat{c}_1) (e^{-y_{2i}} - \hat{c}_2)} \right) \right) \right\} \quad (1.8)$$

dengan

$$\hat{\mu}_{pj} = \exp \left( \beta_{p0} + \sum_{j=1}^k \beta_{pj} x_{ji} \right), \tilde{\mu}_{pj} = \exp(\beta_{p0}), \hat{c}_p = (1 - m\alpha_p \hat{\mu}_{pj})^{-1/\alpha_p}, \text{ dan } \tilde{c}_p = (1 - m\alpha_p \tilde{\mu}_{pj})^{-1/\alpha_p}.$$

Hipotesis nol ditolak jika nilai  $D > \chi_{[a, (b-a)]}^2$ . Notasi  $a$  menandakan banyaknya parameter di bawah  $H_0$ , adapun  $b$  adalah banyaknya parameter di bawah  $H_1$ . Lalu, dilakukan pula pengujian signifikansi parameter BNBR secara parsial dengan hipotesis

$$H_0 : \beta_{pj} = 0; j = 1, 2, \dots, k; p = 1, 2$$

$$H_1 : \beta_{pj} \neq 0.$$

Hipotesis pada uji parsial BNBR dibuktikan dengan statistik uji pada persamaan 2.9,

$$z_{hitung} = \frac{\hat{\beta}_{pj}}{se(\hat{\beta}_{pj})}. \quad (1.9)$$

Hipotesis nol ditolak jika  $|z_{hitung}| < z_{\alpha/2}$ .

Terdapat beberapa ukuran statistik guna mengidentifikasi kebaikan model, antara lain devians dan *Akaike Information Criterion* (AIC). Suatu model diindikasikan lebih baik daripada model lainnya jika rasio devians model dan derajat bebasnya mendekati 1 (satu) [9]. Adapun model dengan nilai AIC yang lebih rendah diindikasikan sebagai model yang lebih berkualitas [9, 10]. Selain itu, perbandingan antara kedua model regresi, dalam hal ini Poisson dan negatif binomial, dilakukan dengan uji F guna mengidentifikasi apakah model binomial negatif bivariat lebih baik dalam mengatasi over-dispersi pada data cacah [10, 13].

### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Sumber Data dan Variabel Penelitian

Data penelitian ini merupakan data tingkat kabupaten/kota yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik, Riset Kesehatan Dasar (Riskesdas) Kementerian Kesehatan, dan Data Covid-19 Indonesia Kementerian Riset dan Teknologi tahun 2020. Total observasi adalah sebanyak 27 kabupaten/kota di Provinsi Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

Penelitian ini melibatkan 2 variabel respon  $y$  dan 14 variabel prediktor  $x$ . Lingkup waktu yang menjadi fokus dimulai sejak Covid-19 merebak di kedua provinsi tersebut, yaitu dari awal Maret 2020 hingga Juni 2020. Total kasus variabel respon dihitung secara kumulatif hingga akhir Juni 2020. Deskripsi variabel pada penelitian ini ditampilkan pada Tabel 3.1.

**Tabel 3.1** Deskripsi Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan
$y_1$	Total kasus konfirmasi Covid-19
$y_2$	Total kasus kematian Covid-19
$x_1$	Prevalensi Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA)
$x_2$	Prevalensi pneumonia
$x_3$	Prevalensi diabetes
$x_4$	Prevalensi hipertensi
$x_5$	Persentase perilaku cuci tangan yang benar
$x_6$	Jumlah fasilitas layanan kesehatan
$x_7$	Jumlah dokter
$x_8$	Jumlah perawat
$x_9$	Rasio jenis kelamin, dalam %
$x_{10}$	Tingkat partisipasi angkatan kerja (TPAK)
$x_{11}$	Tingkat pengangguran
$x_{12}$	Pendapatan per kapita, dalam Rupiah
$x_{13}$	Jumlah penduduk, disederhanakan dengan transformasi logaritma
$x_{14}$	Persentase lansia (penduduk usia minimal 65 tahun)

### 3.2 Tahapan Analisis Data

Adapun tahapan analisis data pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

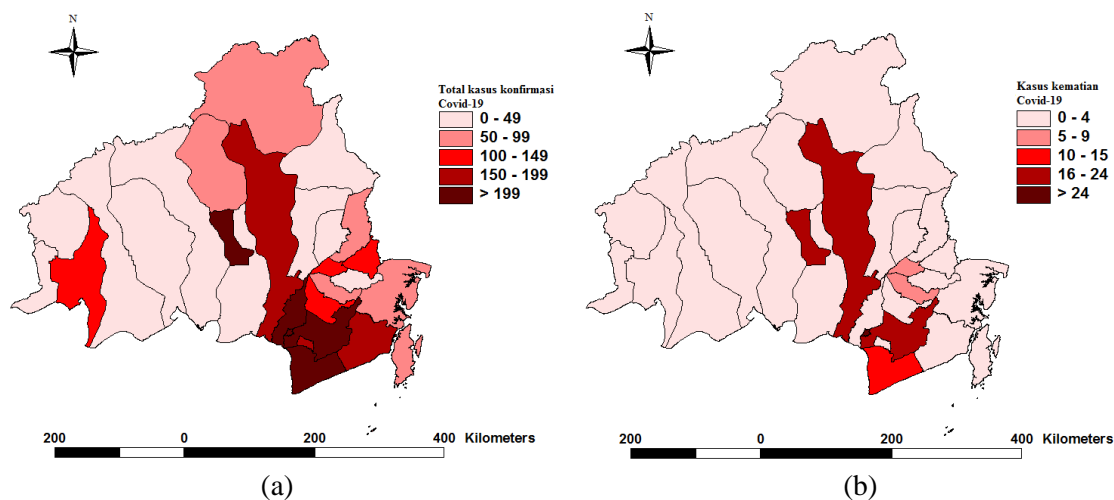
1. Menganalisis statistika deskriptif kedua variabel respon,  $y_1$  dan  $y_2$ .
2. Menguji korelasi antar variabel respon dan korelasi antara variabel respon dan prediktor menggunakan korelasi Pearson,
3. Mendeteksi multikolinieritas berdasarkan VIF model regresi linier berganda antara variabel respon dan variabel prediktor pada Tabel 3.1. Variabel prediktor dengan *Variance Inflation Factor* (VIF)  $> 10$  dieliminasi dari model dan regresi diulang hingga diperoleh variabel  $x$  yang seluruhnya signifikan pada  $\alpha = 5\%$ ,
4. Memodelkan data menggunakan regresi Poisson bivariat dan regresi binomial negatif bivariat berdasarkan variabel  $x$  yang signifikan berdasarkan langkah 3,
5. Membandingkan kebaikan kedua model regresi berdasarkan devians, AIC, dan rasio devians dan derajat bebas,
6. Menginterpretasi model yang terbaik.

## 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Deskripsi Kasus Konfirmasi dan Kasus Kematian Covid-19

Dua provinsi dalam penelitian memiliki perbedaan dari segi jumlah kasus konfirmasi dan jumlah kematian akibat Covid-19. Hingga akhir Juni 2020, jumlah kasus konfirmasi pada Provinsi Kalimantan Tengah sebanyak 904 kasus dengan total kematian mencapai 55 kasus. Adapun dalam kurun yang sama, jumlah kasus konfirmasi Covid-19 di Provinsi Kalimantan Selatan sebanyak 3148 kasus dengan total kematian 189 kasus. Kota Palangka Raya di Provinsi Kalimantan Tengah menjadi wilayah dengan kasus konfirmasi terbanyak, yaitu 354 kasus, begitupun dengan kasus kematian mencapai 24 kasus. Adapun Kota Banjarmasin di Provinsi Kalimantan Selatan menjadi wilayah dengan kasus konfirmasi terbanyak, yaitu 1380 kasus, begitupun dengan kasus kematian mencapai 119 kasus. Kedua kota dengan kasus konfirmasi Covid-19 tertinggi dan kasus kematian tertinggi tersebut merupakan ibu kota provinsi. Sebaran

kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 ditunjukkan dalam Gambar 4.1a dan Gambar 4.1b.



**Gambar 4.1** a) Sebaran kasus konfirmasi Covid-19 ; b) Sebaran kasus kematian Covid-19

Berdasarkan Gambar 4.1, wilayah dengan warna merah pekat menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 yang tinggi. Hal ini seperti terjadi pada Kota Palangka Raya di Kalimantan Tengah dan Kota Banjarmasin di Kalimantan Selatan. Sebaliknya, wilayah dengan warna kemerahan menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 yang rendah. Hal ini terlihat antara lain di Kabupaten Lamandau di Kalimantan Tengah dan Kabupaten Hulu Sungai Tengah di Kalimantan Selatan.

## 4.2 Korelasi Antar Variabel

Koefisien korelasi antara kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian adalah sebesar 0,977 dan signifikan pada  $\alpha = 5\%$ . Adapun koefisien korelasi antara variabel respon dan prediktor ditunjukkan pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1** Korelasi antara respon dan prediktor

Respon	Prediktor (x)	Korelasi	Prediktor (x)	Korelasi
<b>y<sub>1</sub> (Kasus konfirmasi Covid-19)</b>	Prevalensi ISPA	-0,33	Jumlah perawat	0,88**
	Prevalensi pneumonia	0,07	Rasio jenis kelamin	-0,37
	Prevalensi diabetes	0,55**	TPAK	-0,33
	Prevalensi hipertensi	0,31	Tingkat pengangguran	0,54**
	Persentase perilaku cuci tangan yang benar	0,25	Pendapatan per kapita	0,56**
	Jumlah fasyankes	0,58**	Log-jumlah penduduk	0,60**
	Jumlah dokter	0,94**	Persentase lansia	0,01
<b>y<sub>2</sub> (Kasus kematian Covid-19)</b>	Prevalensi ISPA	-0,31	Jumlah perawat	0,91**
	Prevalensi pneumonia	0,01	Rasio jenis kelamin	-0,32

### Muhammad Luthfi Setiarno Putera

Prevalensi diabetes	0,53**	TPAK	-0,35
Prevalensi hipertensi	0,26	Tingkat pengangguran	0,58**
Persentase perilaku cuci tangan yang benar	0,18	Pendapatan per kapita	0,53**
Jumlah fasyankes	0,55**	Log-jumlah penduduk	0,54**
Jumlah dokter	0,93**	Persentase lansia	0,00

Keterangan : \* p-value < 0,05, \*\* p-value < 0,01

Korelasi pada Tabel 4.1 menunjukkan hubungan yang signifikan antara kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 dengan prediktor pada  $\alpha = 5\%$ , diantaranya prevalensi diabetes, jumlah fasilitas pelayanan kesehatan, dan jumlah penduduk (setelah ditransformasi logaritmik). Kesamaan hubungan ini sebagaimana dalam Putera, Wahyunita, dan Yusup [9] yang mendapati korelasi yang signifikan antara kasus konfirmasi Covid-19 dengan prevalensi diabetes, adapun korelasi yang signifikan antara jumlah penduduk dan kasus kematian selaras dengan Cifuentes-Faura [4].

#### 4.3 Pemeriksaan Multikolinieritas

Berikutnya adalah memodelkan data dengan regresi OLS secara terpisah untuk kedua variabel respon, yaitu kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian, seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2** Ringkasan regresi OLS

Respon	Prediktor	Sebelum variabel multikolinieritas dieliminasi			Setelah variabel multikolinieritas dieliminasi		
		Estimasi	p-value	VIF	Estimasi	p-value	VIF
$y_1$ (Kasus konfirmasi Covid-19)	Intersep	1155	0,28	-	71	0,98	-
	Prevalensi ISPA	11,44	0,11	2,98	15,2	0,36	2,67
	Prevalensi pneumonia	55,80	0,18	2,60	220,4	0,02*	1,70
	Prevalensi diabetes	64,20	0,45	6,46	289	0,06	3,07
	Prevalensi hipertensi	6,22	0,10	2,76	13,15	0,14	2,58
	Persentase perilaku cuci tangan yang benar	0,72	0,64	2,85	0,01	0,99	2,84
	Jumlah fasyankes	-0,98	0,78	6,59	11,47	0,15	5,11
	Jumlah dokter	2,59	0,00**	25,48	-	-	-
	Jumlah perawat	0,17	0,31	14,76	-	-	-
	Rasio jenis kelamin	-10,94	0,06	4,50	-13,90	0,30	4,30
	TPAK	6,27	0,36	2,70	10,40	0,54	2,67
	Tingkat pengangguran	18,70	0,36	4,88	109,90	0,02*	3,48
	Pendapatan per kapita	-0,04	0,05	3,80	0,01	0,87	3,43
	Log-jumlah penduduk	-133,00	0,36	7,83	-240,00	0,44	5,86
	Persentase lansia	-2,70	0,88	4,67	3,30	0,94	4,44



**Muhammad Luthfi Setiarno Putera**

$y_2$ (Kasus kematian Covid-19)	Intersep	118,8	0,09	-	-50	0,83	-
	Prevalensi ISPA	0,52	0,25	2,98	1,23	0,44	2,67
	Prevalensi pneumonia	2,05	0,43	2,60	16,31	0,04*	1,70
	Prevalensi diabetes	9,74	0,09	6,46	23,6	0,11	3,07
	Prevalensi hipertensi	0,46	0,06	2,76	1,09	0,21	2,58
	Persentase perilaku cuci tangan yang benar	-0,07	0,51	2,85	-0,15	0,70	2,84
	Jumlah fasyankes	-0,08	0,73	6,59	1,04	0,18	5,11
	Jumlah dokter	0,16	0,00**	25,48	-	-	-
	Jumlah perawat	0,04	0,00**	14,76	-	-	-
	Rasio jenis kelamin	-0,44	0,22	4,50	-0,57	0,66	4,30
	TPAK	0,35	0,42	2,70	0,83	0,61	2,67
	Tingkat pengangguran	1,58	0,23	4,88	10,98	0,02*	3,48
	Pendapatan per kapita	-0,00	0,01*	3,80	0,00	0,85	3,43
	Log-jumlah penduduk	-23,69	0,02*	7,83	-23,50	0,44	5,86
	Persentase lansia	0,46	0,70	4,67	1,67	0,71	4,44

Keterangan : \* p-value < 0,05, \*\* p-value < 0,01

Tabel 4.2 menunjukkan terdapat dua prediktor yang terindikasi mengalami multikolinieritas dalam pemodelan kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19, yaitu jumlah dokter dan jumlah perawat ( $VIF > 10$ ). Setelah dua variabel tersebut dieliminasi, prevalensi pneumonia dan tingkat pengangguran adalah variabel yang berpengaruh signifikan terhadap kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 pada  $\alpha = 5\%$ . Meski hanya beberapa variabel saja yang signifikan berpengaruh terhadap kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19, seluruh parameter terkecuali yang mengalami multikolinieritas dilibatkan dalam model regresi Poisson bivariat dan model regresi binomial negatif bivariat.

#### 4.4 Regresi Poisson Bivariat dan Regresi Binomial Negatif Bivariat

Tabel 4.3 menyajikan ringkasan berupa estimasi parameter, signifikansi dan kebaikan model regresi Poisson bivariat dan regresi binomial negatif bivariat untuk variabel respon kasus konfirmasi Covid-19 ( $y_1$ ) dan kasus kematian Covid-19 ( $y_2$ ).

**Tabel 4.3** Ringkasan regresi bivariat

Parameter	Regresi Poisson bivariat		Regresi binomial negatif bivariat	
	Model $y_1$	Model $y_2$	Model $y_1$	Model $y_2$
Intersep	4,74**	-12,03	-1,22	-0,72
Prevalensi ISPA	0,06**	-0,10	0,05	0,06
Prevalensi pneumonia	0,70**	0,50	0,16**	0,73*
Prevalensi diabetes	1,00**	0,86	-0,09	0,37
Prevalensi hipertensi	0,02**	-0,08	0,09*	0,04
Persentase perilaku cuci tangan yang benar	-0,02**	-0,06**	-0,01	-0,02
Jumlah fasyankes	-0,02**	-0,05*	0,04	0,07*

### Muhammad Luthfi Setiarno Putera

Rasio jenis kelamin	-0,13**	-0,19**	-0,08	-0,07
TPAK	-0,08**	-0,01	0,08	-0,01
Tingkat pengangguran	-0,24**	-0,33	0,07	0,02
Pendapatan per kapita	0,00**	0,00**	0,00**	0,00**
Log-jumlah penduduk	3,24**	7,38**	0,24**	0,50
Persentase lansia	-0,28**	-0,50*	-0,41**	-0,18
$\lambda$ (lambda)		1,00**		0,14*
$\alpha$ (alpha)		-	0,48**	0,35**

Keterangan : \* p-value < 0,05, \*\* p-value < 0,01

Tabel 4.3 mengindikasikan bahwa dependensi antara kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 signifikan, baik pada model Poisson bivariat maupun model negatif binomial bivariat. Hal ini terlihat dari  $\lambda$  kedua model yang signifikan pada  $\alpha = 5\%$ . Dependensi bertanda positif mengindikasikan bahwa kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian saling berhubungan secara positif dimana kenaikan pada salah satu variabel respon akan diikuti kenaikan variabel respon lainnya. Hal ini selaras dengan Nurmansyah dkk. [7] yang menyatakan bahwa kasus positif Covid-19 dapat berpengaruh pada lumpuhnya sistem penanganan Covid-19 dan Böttcher, D'Orsogna, dan Chou [3] mengungkapkan keparahan kasus Covid-19 dapat berkontribusi pada kematian

Hasil estimasi menunjukkan bahwa terdapat beberapa parameter regresi yang signifikan pada model negatif binomial bivariat dengan kasus positif Covid-19 sebagai variabel respon  $y_1$ , yaitu prevalensi pneumonia, prevalensi hipertensi, pendapatan per kapita, jumlah penduduk, dan persentase lansia. Adapun parameter yang signifikan pada model negatif binomial bivariat dengan kasus kematian Covid-19 sebagai variabel respon  $y_2$  adalah prevalensi pneumonia, jumlah fasyankes, dan pendapatan per kapita. Seluruh hasil tersebut selaras dengan Cifuentes-Faura [4] dan Putera, Wahyunita, dan Yusup [9] dimana variabel ekonomi, sosiodemografi, dan kesehatan berpengaruh secara statistik terhadap tinggi-rendahnya kasus konfirmasi dan kasus kematian Covid-19.

#### 4.5 Analisis Keباikan Model

Tabel 4.4 menyajikan ringkasan kebaikan model, antara lain AIC dan devians model regresi Poisson bivariat dan regresi binomial negatif bivariat.

**Tabel 4.4** Ringkasan kebaikan model

Indikator	Regresi Poisson bivariat	Regresi binomial negatif bivariat
AIC	643,17	466,61
Devians	321,42	52,26
Derajat bebas	27	29
Devians/derajat bebas	11,90	1,80

Tabel 4.4 mengindikasikan bahwa model regresi binomial negatif bivariat menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam memodelkan kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 secara bersama. Hal ini terlihat dari AIC regresi binomial negatif bivariat sebesar 466,61 yang lebih rendah daripada regresi Poisson bivariat sebesar 643,17.

Rasio devians dan derajat bebas model negatif bivariat yang mendekati satu, yaitu sebesar 1,80, juga menunjukkan bahwa model binomial negatif bivariat dapat mengatasi over-dispersi yang terjadi pada data cacah. Hal ini terbukti dari F-hitung sebesar 6,61 (11,90 dibagi dengan

1,80) yang dibandingkan dengan  $F_{0,05;27;29}$  sebesar 1,875. Perbandingan ini menghasilkan p-value sebesar 0,000 (bilangan yang sangat kecil), kurang dari tingkat signifikansi  $\alpha = 5\%$ . Kedua model berbeda signifikan dimana model binomial negatif bivariat lebih baik daripada model Poisson, terutama dalam mengatasi over-dispersi. Ini selaras dengan Putera, Wahyunita, dan Yusup [9] dan Simoes, Schmaltz, dan Jackson-Thompson [13] yang juga menyatakan bahwa regresi binomial negatif lebih baik daripada regresi Poisson dalam mengatasi over-dispersi pada data konfirmasi Covid-19 dan data kematian akibat Covid-19.

#### 4.6 Interpretasi Model Terbaik

Model terbaik untuk respon bivariat, kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19, adalah model binomial negatif bivariat. Persamaan 4.1 menunjukkan model untuk kasus konfirmasi Covid-19 di kabupaten/kota di dua provinsi Kalimantan dengan mempertimbangkan seluruh parameter, terkecuali parameter yang mengalami multikolinieritas.

$$\hat{\mu}_1 = \exp(-1,22 + 0,05x_1 + 0,16x_2 - 0,09x_3 + 0,09x_4 - 0,01x_5 + 0,04x_6 - 0,08x_9 + 0,08x_{10} + 0,07x_{11} + 0,0001x_{12} + 0,24x_{13} - 0,41x_{14}) \quad (4.1)$$

Dari persamaan 4.1, kenaikan prevalensi komorbid, seperti ISPA, pneumonia dan hipertensi, berpengaruh positif pada peningkatan kasus konfirmasi Covid-19. Jika variabel lain diasumsikan konstan, 1% peningkatan prevalensi pneumonia akan meningkatkan kasus Covid-19 sebesar  $\exp(0,16) \approx 1$  kasus. Disamping itu, kenaikan jumlah fasyankes, tingkat partisipasi angkatan kerja, tingkat pengangguran, pendapatan per kapita, dan jumlah penduduk cenderung diikuti oleh kenaikan jumlah konfirmasi Covid-19 di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Hal ini sebagaimana dalam Putera, Wahyunita, dan Yusup [9] dan Yulida dan Karim [16] yang memperoleh prevalensi ISPA, tingkat partisipasi angkatan kerja, tingkat pengangguran, dan pendapatan per kapita berpengaruh positif terhadap jumlah kasus Covid-19.

Sebaliknya, perilaku mencuci tangan yang benar berpengaruh negatif terhadap jumlah kasus konfirmasi Covid-19. Jika variabel lain diasumsikan konstan, 1% peningkatan perilaku mencuci tangan yang benar akan menurunkan kasus Covid-19 sebesar  $\exp(0,01) \approx 1$  kasus. Selain itu, kenaikan rasio jenis kelamin, tingkat partisipasi angkatan kerja, dan persentase lansia cenderung berpengaruh negatif terhadap jumlah konfirmasi Covid-19 di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Hasil ini selaras dengan Putera, Wahyunita, dan Yusup [9] yang mendapati bahwa perilaku cuci tangan yang benar, rasio jenis kelamin dan persentase lansia berpengaruh negatif terhadap kasus Covid-19.

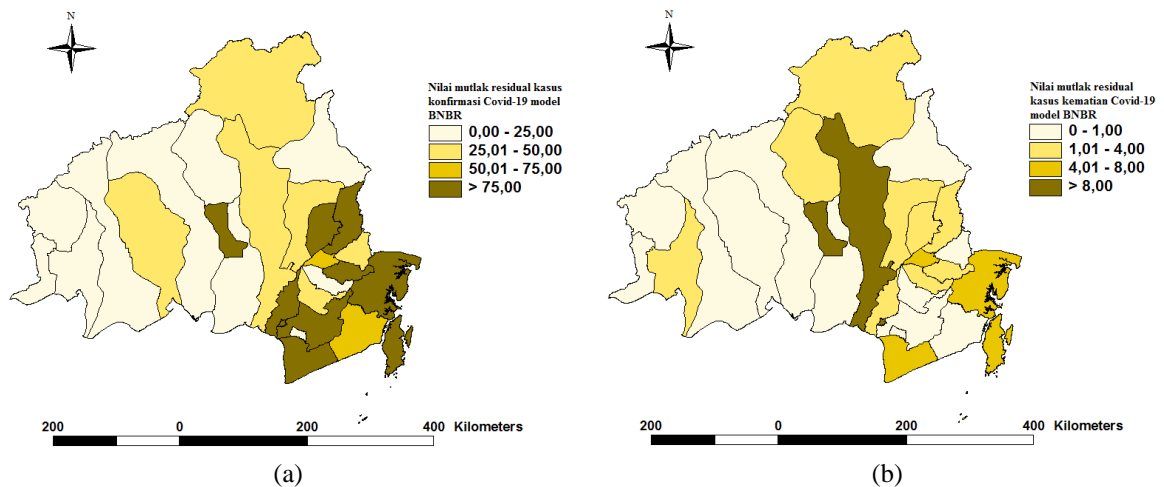
Adapun persamaan 4.2 menunjukkan model kasus kematian Covid-19 di kabupaten/kota di dua provinsi Kalimantan dengan mempertimbangkan seluruh parameter, terkecuali parameter yang mengalami multikolinieritas.

$$\hat{\mu}_2 = \exp(-0,72 + 0,06x_1 + 0,73x_2 + 0,37x_3 + 0,04x_4 - 0,02x_5 + 0,07x_6 - 0,07x_9 - 0,01x_{10} + 0,02x_{11} + 0,0001x_{12} + 0,50x_{13} - 0,18x_{14}) \quad (4.2)$$

Berdasarkan persamaan 4.2, kenaikan prevalensi komorbid, seperti ISPA, pneumonia, diabetes, dan hipertensi, berpengaruh positif pada peningkatan kasus kematian Covid-19. Jika variabel lain diasumsikan konstan, 1% peningkatan prevalensi pneumonia akan meningkatkan kasus kematian Covid-19 sebesar  $\exp(0,73) \approx 2$  kasus. Disamping itu, kenaikan jumlah fasyankes, tingkat pengangguran, pendapatan per kapita, dan jumlah penduduk cenderung diikuti oleh kenaikan jumlah kematian Covid-19 di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan. Hasil ini sebagaimana diperoleh Böttcher, D'Orsogna, dan Chou [3] yang mendapati bahwa jumlah penduduk yang tinggi dapat berpengaruh pada peningkatan kasus kematian Covid-19.

Sebaliknya, perilaku mencuci tangan yang benar berpengaruh negatif terhadap jumlah kasus kematian Covid-19. Jika variabel lain diasumsikan konstan, 1% peningkatan perilaku mencuci tangan yang benar akan menurunkan kasus kematian Covid-19 sebesar  $\exp(0,02) \approx 1$  kasus. Hasil ini selaras dengan penelitian Nurmansyah dkk.[7] bahwa perilaku mencuci tangan yang benar berpengaruh negatif terhadap kematian akibat Covid-19. Selain itu, kenaikan prevalensi diabetes, rasio jenis kelamin, dan persentase lansia cenderung berpengaruh negatif terhadap jumlah kematian Covid-19 di Kalimantan Tengah dan Kalimantan Selatan.

Gambar 4.2 menunjukkan sebaran nilai mutlak sisaan (residual) model binomial negatif bivariat untuk kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 di 27 kabupaten/kota.



**Gambar 4.2** a) Sebaran nilai mutlak residual model binomial negatif bivariat untuk kasus konfirmasi Covid-19 ; b) Sebaran nilai mutlak residual model binomial negatif bivariat untuk kasus kematian Covid-19

Berdasarkan Gambar 4.2 a) dan Gambar 4.2 b), didapati bahwa model bivariat negatif mampu menghasilkan estimasi kasus konfirmasi Covid-19 dan estimasi kasus kematian Covid-19 yang cukup akurat. Hal ini terlihat dari cukup banyaknya wilayah, terutama di sebagian besar kabupaten/kota di Kalimantan Tengah, yang berada pada gradasi warna yang lebih pucat. Untuk kasus konfirmasi Covid-19, model binomial negatif bivariat masih menghasilkan sisaan yang cukup tinggi, khususnya di beberapa kabupaten/kota di Kalimantan Selatan. Untuk kasus kematian Covid-19 sisaan yang dihasilkan model binomial negatif bivariat relatif rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa akurasi model bivariat yang relatif tinggi dalam mengestimasi kasus kematian Covid-19. Dengan demikian, hal ini mendukung penelitian Simoes, Schmaltz, dan Jackson-Thompson [13] yang turut mendapati bahwa model regresi binomial negatif bivariat cenderung menghasilkan prediksi yang lebih akurat daripada model lainnya, seperti model Poisson bivariat.

## 5. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan, model terbaik untuk kasus konfirmasi Covid-19 dan kasus kematian Covid-19 adalah regresi binomial negatif bivariat. Terdapat beberapa parameter yang signifikan berpengaruh terhadap kasus konfirmasi dan kasus kematian, antara lain prevalensi pneumonia dan pendapatan per kapita. Model binomial negatif bivariat untuk kasus konfirmasi Covid-19 adalah

$$\hat{\mu}_1 = \exp(-1,22 + 0,05x_1 + 0,16x_2 - 0,09x_3 + 0,09x_4 - 0,01x_5 + 0,04x_6 - 0,08x_9 + 0,08x_{10} + 0,07x_{11} + 0,0001x_{12} + 0,24x_{13} - 0,41x_{14}).$$

Adapun model binomial negatif untuk kasus kematian Covid-19 adalah

$$\hat{\mu}_2 = \exp(-0,72 + 0,06x_1 + 0,73x_2 + 0,37x_3 + 0,04x_4 - 0,02x_5 + 0,07x_6 - 0,07x_9 - 0,01x_{10} + 0,02x_{11} + 0,0001x_{12} + 0,50x_{13} - 0,18x_{14}).$$

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Amaliah, O. N., Sukmawaty, Y., & Susanti, D. S. (2021, November). Spatial autocorrelation analysis of Covid-19 cases in South Kalimantan, Indonesia. *In Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 2106, No. 1, p. 012005). IOP Publishing.
- [2] Ariawan, I., & Jusril, H. (2020). COVID-19 in Indonesia: where are we?. *Acta Medica Indonesiana*, 52(3), 193.
- [3] Böttcher, L., D'Orsogna, M. R., & Chou, T. (2021). Using excess deaths and testing statistics to determine COVID-19 mortalities. *European journal of epidemiology*, 36(5), 545-558.
- [4] Cifuentes-Faura, J. (2021). COVID-19 Mortality Rate and Its Incidence in Latin America: Dependence on Demographic and Economic Variables. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(13), 6900.
- [5] Dinas Kesehatan Provinsi Kalimantan Selatan. (2020). <http://dinkes.kalselprov.go.id/berita/informasi-terbaru-covid-19-di-kalimantan-selatan-22-desember-2020.html>. [17 Desember 2021].
- [6] Famoye, F. (2010). On the bivariate negative binomial regression model. *Journal of Applied Statistics*, 37(6), 969-981.
- [7] Nurmansyah, M. I., Musniati, N., Ayunin, E. N., Rosidati, C., & Koire, I. I. (2021). Sociodemographic and Health-related Determinants of COVID-19 Prevalence and Case Fatality Rate in Indonesia. *Populasi*, 29(1), 19-32.
- [8] Paramita, S., Isnuwardana, R., Rahmadi, A., Rafshodia, O., & Kusasih, I. (2020). Epidemiological characteristics of COVID-19 patients in Samarinda, East Kalimantan, Indonesia. *medRxiv*.
- [9] Putera, M. L. S., Wahyunita, L., & Yusup, F. (2021). Spatial Modelling of Covid-19 Confirmed Cases in Kalimantan, Indonesia: How Neighborhood Matters?. *Walailak Journal of Science and Technology (WJST)*, 18(15), 22120-17.
- [10] Saffari, S. E., & Allen, J. C. (2020). Bivariate negative binomial regression model with excess zeros and right censoring: an application to Indonesian data. *Journal of Applied Statistics*, 47(10), 1901-1914.
- [11] Saidi, S., Herawati, N., & Nisa, K. (2021). Modeling with generalized linear model on covid-19: Cases in Indonesia. *International Journal of Electronics and Communications System*, 1(1), 25-33.
- [12] Satuan Tugas Covid 19 Kalimantan Tengah. (2020). <https://mmc.kalteng.go.id/berita/read/31654/perkembangan-terbaru-kasus-covid-19-di-kalteng-semuh-165-orang-dan-konfirmasi-baru-142-orang>. [14 Desember 2021].

- [13] Simoes, E. J., Schmaltz, C. L., & Jackson-Thompson, J. (2021). Predicting coronavirus disease (COVID-19) outcomes in the United States early in the epidemic. *Preventive Medicine Reports*, 24, 101624.
- [14] Tohari, A., & Chamidah, N. (2019, June). Modeling of HIV and AIDS in Indonesia Using Bivariate Negative Binomial Regression. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 546, No. 5, p. 052079). IOP Publishing.
- [15] Umar, A. M., & Abd Shukor, M. Y. (2020). Predictive Mathematical Modelling of the Total Number of COVID-19 Cases for Indonesia. *Journal of Environmental Microbiology and Toxicology*, 8(1), 27-31.
- [16] Yulida, Y., & Karim, M. A. (2020). Pemodelan Matematika Penyebaran COVID-19 di Provinsi Kalimantan Selatan. *Media Bina Ilmiah*, 14(10), 3257-3264.