

Pemodelan Risiko Penyebaran COVID-19 di Surabaya Raya Menggunakan Model Cauchy Cluster Process

Prajna Pramita Izati¹, dan Achmad Choiruddin²

¹Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember

²Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember
email: pramitaprajna22@gmail.com¹, choiruddin@its.ac.id²

Received: 13 February 2022

Accepted: 30 March 2022

Published: 31 March 2022

ABSTRACT – COVID-19 merupakan penyakit yang menyerang alat pernapasan. Jumlah kasus COVID-19 di Jawa Timur terus mengalami peningkatan tiap harinya khususnya wilayah Surabaya Raya meliputi Kota Surabaya, Kabupaten Gresik, dan Kabupaten Sidoarjo yang memiliki jumlah pasien terkonfirmasi positif tertinggi dibandingkan kabupaten/kota lainnya di Jawa Timur. Kota Surabaya menjadi penyumbang terbesar kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya yaitu sebesar 60,1 %. Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan risiko penyebaran COVID-19 di Surabaya Raya dengan melibatkan beberapa kovariat dimana kriteria pembandingnya yaitu nilai BIC terkecil dan *envelope K-function*. Hasil uji homogenitas menunjukkan penyebaran data kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya tidak homogen dan untuk korelasi spasial dengan *Inhomogeneous K-function* diperoleh bahwa data cenderung membentuk kelompok atau kluster. Hasil pemodelan didapatkan bahwa model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* setelah eliminasi merupakan model terbaik, dimana kovariat kepadatan penduduk dan kepadatan lokasi kerumunan yaitu pusat perindustrian dan tempat ibadah berpengaruh secara signifikan terhadap risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya. Sementara itu, kepadatan pusat perbelanjaan tidak berpengaruh signifikan. Hasil prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya menunjukkan risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di wilayah Kota Surabaya lebih tinggi jika dibandingkan dengan wilayah Kabupaten Sidoarjo maupun Gresik.

Keywords – COVID-19, *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process*, Pemodelan, Surabaya Raya.

I. PENDAHULUAN

COVID-19 merupakan jenis penyakit menular yang disebabkan oleh *Coronavirus* yaitu virus SARS-Cov-2. Virus ini menyebabkan gangguan pernapasan di mana orang yang terinfeksi COVID-19 sebenarnya memiliki peluang sembuh yang besar namun pada orang yang memiliki penyakit kormobid atau penyakit bawaan dapat memperparah penyakit [1]. Kasus COVID-19 ini pertama kali muncul di daerah Wuhan, Provinsi Hubei, China pada akhir Desember yang telah memberikan dampak pada lini aspek kehidupan. Kasusnya terus menyebar luas dengan cepat seluruh dunia termasuk Indonesia. Provinsi di Indonesia yang menjadi episenter COVID-19 salah satunya merupakan Provinsi Jawa Timur.

Berdasarkan data tanggal 2 November 2021 tercatat kasus COVID-19 di Jawa Timur sebanyak 398.299 kasus. Jumlah kasus COVID-19 tersebut menjadikan Jawa Timur sebagai provinsi dengan jumlah kasus COVID-19 tertinggi di Indonesia [2]. Surabaya Raya yang terdiri dari Kota Surabaya, Gresik, dan Sidoarjo menyumbang kasus COVID-19 di Jawa Timur sekitar 28.9 persen. Hal ini menunjukkan bahwa Surabaya Raya sehingga menjadi episentrum penyebaran COVID-19 di Jawa Timur. Oleh sebab itu diperlukan langkah untuk menekan tingginya kasus COVID-19 di Jawa Timur dengan memahami pola penyebaran atau risiko transmisi COVID-19 salah satunya dengan pola spasial. Analisis yang paling akurat dalam memahami transmisi COVID-19 adalah *model point process* karena pasien terkonfirmasi COVID-19 merupakan kejadian yang bersifat acak. Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19 di Jawa Timur sebagai gugus yang bertugas melaksanakan percepatan penanganan COVID-19 dan meningkatkan antisipasi perkembangan eskalasi penyebaran COVID-19, telah mengelola laman website berisi dashboard perkembangan kasus dan vaksinasi. Selain itu Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19 di Jawa Timur juga mengelola *database* COVID-19 di Jawa Timur. Database tersebut dapat dimanfaatkan dengan baik dengan melakukan analisa statistika seperti peramalan atau memprediksi jumlah kasus COVID-19 untuk beberapa waktu ke depan maupun melakukan analisis terhadap penyebaran kasus COVID-19 di suatu wilayah tertentu menggunakan metode statistika spasial seperti *Spatial Point Process*.

Untuk menangkap pola spasial terdapat pendekatan yang dilakukan yaitu spasial agregat yang memperhatikan jumlah kejadian per wilayah administrasi yang dibagi berdasarkan wilayah kecamatan/kabupaten. Selain itu spasial agregat yang memperhatikan data dengan resolusi tinggi. Namun pada penelitian ini hanya berfokus pada data dengan resolusi tinggi yaitu spasial point process yang melibatkan titik koordinat pasien terkonfirmasi positif COVID-19 yang mempertimbangkan dua efek yaitu efek cluster yang dilihat dari cara penularan COVID-19 yang akan menimbulkan pengelompokan dan efek eksternal yang diduga mempengaruhi meningkatnya jumlah kasus COVID-19. Beberapa faktor eksternal diduga menjadi penyebab tingginya kasus COVID-19 karena mempunyai risiko transmisi yang tinggi seperti faktor demografi, ekonomi, dan sosio-religi. Tingginya kasus COVID-19 di Surabaya Raya diindikasikan oleh jumlah penduduk yang tinggi di Surabaya Raya di mana Kota Surabaya memiliki jumlah penduduk sebanyak 2.874.314 jiwa, Kabupaten Sidoarjo 2.082.801 jiwa dan Kabupaten Gresik sebanyak 1.311.215 jiwa [3]. Jumlah penduduk yang banyak di wilayah Surabaya Raya menyebabkan kepadatan penduduk yang tinggi dikarenakan luas wilayahnya yang kecil. Padatnya penduduk diduga menjadi faktor pemicu tingginya kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya.

Kepadatan penduduk ini disinyalir menyebabkan terjadinya interaksi antar masyarakat semakin sering dan dapat memperbesar risiko penularan atau penyebaran COVID-19 di ruang publik. Selain kepadatan penduduk, berdasarkan Keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia HK.01.07/MENKES/413/2020 menyatakan bahwa beberapa fasilitas umum dan pusat transportasi misalnya pasar, toko, tempat ibadah, lembaga pendidikan, stasiun kereta atau bus dapat memicu tumbuhnya klaster baru ataupun memicu tingginya kasus COVID-19 karena menimbulkan kerumunan masyarakat.

Penelitian sebelumnya mengenai COVID-19 telah dilakukan menggunakan metode *Spatial Point Process* oleh [4]-[5] diperoleh bahwa kepadatan penduduk berpengaruh terhadap jumlah kasus COVID-19. Penelitian lain menambahkan bahwa jaringan transportasi dan fasilitas umum juga berpengaruh signifikan pada jumlah kasus COVID-19 [6]. Sementara itu penelitian yang dilakukan oleh [7] diketahui bahwa kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah memiliki hubungan positif yang signifikan terhadap jumlah kasus COVID-19 di suatu wilayah namun kepadatan penduduk dan kepadatan pusat perbelanjaan tidak signifikan terhadap jumlah kasus COVID-19. Penelitian yang sama dilakukan oleh [8] diperoleh bahwa kepadatan penduduk per kecamatan, kepadatan pusat perindustrian dan kepadatan tempat ibadah berpengaruh signifikan pada risiko terjadinya kasus terkonfirmasi positif COVID-19, sedangkan kepadatan pusat perbelanjaan tidak berpengaruh signifikan. Kepadatan pusat perbelanjaan yang tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah kasus COVID-19 diindikasikan karena jumlah data yang kecil sehingga pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data koordinat lokasi pusat perbelanjaan kembali agar didapatkan data yang lebih banyak.

Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis risiko penyebaran kasus pasien positif COVID-19 di Surabaya, Gresik, dan Sidoarjo dengan model *spatial point process* yang memperhatikan efek *cluster* yaitu model *Cauchy Cluster Process* dihubungkan dengan beberapa kovariat seperti kepadatan penduduk per kecamatan dan kepadatan lokasi kerumunan meliputi pusat perbelanjaan, pusat industri, dan tempat ibadah. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan tambahan informasi bagi masyarakat luas dan pemerintah, selain itu juga sebagai referensi bagi penelitian mengenai topik atau metode yang sejenis. Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah tidak dimasukkan pulau Bawean sebagai wilayah observasi, variabel kovariat yang digunakan pada penelitian adalah lokasi kerumunan dan kepadatan penduduk, dan metode estimasi yang digunakan adalah metode *Maximum Composite Likelihood*.

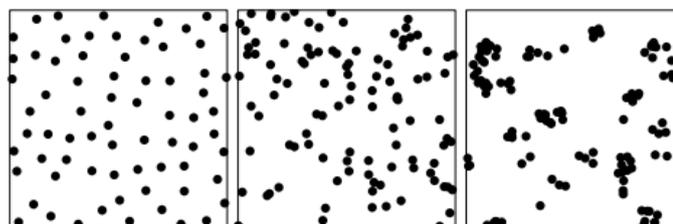
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. *Spatial Point Process*

Spatial point process adalah proses stokastik yang masing-masing realisasinya terdiri dari satu atau kumpulan titik yang tak terhitung jumlahnya di *plane* [9]. Di bidang terkait Statistik Spasial, *point process* digunakan langsung sebagai model statistik dari pola titik atau objek seperti titik [10].

Spatial point process adalah himpunan titik yang tidak berurutan, sehingga urutan di mana data dicatat diabaikan pada metode tersebut. *Spatial point process* X merupakan himpunan bagian acak berasal dari suatu batasan tertentu $W \subseteq \mathbb{R}^2$. Bentuk realisasi dari *spatial point process* adalah *spatial point pattern* $x = \{x_1, \dots, x_n\}$ dari $n \geq 0$ titik yang berada pada suatu *observation window* W . Di mana x_i merupakan lokasi dari obyek penelitian yang diwakili oleh titik koordinat *cartesian* yaitu $u = (longitude, latitude)$, dengan $u \in W, W \subseteq \mathbb{R}^2$ [11].

Menurut korelasi spasial, terdapat 3 pola dasar dalam *point pattern* [10]. Ketiga pola tersebut dapat ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Pola Dasar *Point Pattern Regular* (Kiri), *Independen* (Tengah), dan *Kelompok* (Kanan). Ketiga Pola dalam Satuan Persegi

Salah satu model untuk *spatial point pattern* yang memiliki pola acak keacakan spasial lengkap adalah *Poisson Processes*. Sebuah *poisson process* X pada \mathbb{R}^2 dengan fungsi intensitas λ dan *observation window* $W \subseteq \mathbb{R}^2$ dengan $\mu(W) > 0$ [10], maka:

1. Banyaknya poin atau sejumlah objek di W berdistribusi Poisson dengan mean $\mu(W)$.
2. Apabila daerah saling independen, maka poin di X_w juga saling independen dengan fungsi intensitas $\lambda(u)$, di mana $u \in W$.

B. *Neyman-Scott Cox Processes*

Dalam model *Neyman-Scott*, titik induk yang tidak teramati mengikuti proses *Poisson* dengan beberapa intensitas λ_c . Setiap titik induk menghasilkan sejumlah titik keturunan yang mungkin acak, tersebar secara acak di sekitar titik induk. Sebuah realisasi dari *Neyman-Scott Processes* terdiri dari himpunan semua titik keturunan. Dalam definisi yang

lebih teknis, misalkan C adalah proses *Poisson* stasioner dengan intensitas $\kappa > 0$. Diketahui C , misalkan $X_c, c \in C$, merupakan proses *Poisson* independen dengan fungsi intensitas yang ditunjukkan Persamaan 1 berikut.

$$\lambda_c(u; \beta) = \exp(\zeta + \beta^T Z(u))k(u - c; \omega) \tag{1}$$

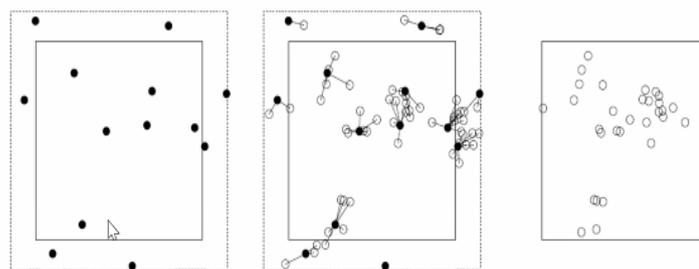
di mana k adalah fungsi kepadatan probabilitas yang menentukan distribusi titik keturunan sekitar induk. Maka $X = \cup_{c \in C} X_c$ adalah *inhomogeneous Neyman-Scott point process* dengan *Mother Process* C dan *offspring processes* $X_c, c \in C$ [12]. Proses titik X adalah *Cox process* dengan fungsi intensitas seperti Persamaan 2.

$$\lambda(u; \beta) = \kappa \exp(\zeta + \beta^T Z(u)) \tag{2}$$

didorong oleh intensitas acak pada Persamaan 3 berikut.

$$\Lambda(u) = \exp(\zeta + \beta^T Z(u)) \sum_{c \in C} k(u - c, \omega) \tag{3}$$

di mana $\beta_0 = \zeta + \log \kappa$ mewakili parameter intersep, $Z(u) = \{Z_1(u), \dots, Z_p(u)\}^T$ adalah sebuah vektor kovariat dan $\beta = \{\beta_1, \dots, \beta_p\}^T$ merupakan parameter dimensi- p yang sesuai. Perhatikan bahwa komponen tambahan $\exp(\zeta + \beta^T Z(u))$ pada Persamaan 2 menjelaskan pengaruh variabel kovariat. Untuk menentukan sebaran titik keturunan di sekitar induk, pada penelitian ini dilakukan dengan 4 model NSCP antara lain *Thomas*, *Cauchy*, *Matern*, dan *Variance Gamma cluster process*. Gambar 2 menunjukkan ilustrasi terkait hasil prediksi model *Neyman-Scott Cox Processes*.



Gambar 2 Ilustrasi Model *Neyman-Scott Cox Processes* di Surabaya Raya

1) *Matern Cluster Process*

Dalam *Matern cluster process*, keturunan dari setiap titik induk terdistribusi secara seragam (*uniform*) dalam piringan berjari-jari R yang berpusat di sekitar induknya. Jadi *cluster* keturunannya adalah proses *Poisson* dengan intensitas $\mu / (\pi R^2)$ di dalam lingkaran berjari-jari R berpusat pada titik induk, dan intensitas 0 di luar lingkaran. *Matern cluster process* intensitas *driving* ditulis seperti Persamaan 4.

$$\Lambda(u) = \sum_i k(u - y_i) \tag{4}$$

dimana $k(z) = \mu / (\pi R^2)$ jika $\|z\| \leq R$ dan $k(z) = 0$ jika $\|z\| > R$ [10].

2) *Thomas Cluster Process*

Dalam *Thomas cluster process*, kepadatan probabilitas lokasi keturunan adalah *isotropic Gaussian density*. Setiap keturunan secara acak dipindahkan dari induknya dengan vektor perpindahan yang memiliki distribusi Gaussian isotropik $N(0, \omega^2 I_2)$ dengan standar deviasi sepanjang sumbu koordinat [10]. Fungsi densitas k pada *Thomas Cluster Process* ditunjukkan pada Persamaan 5 [11].

$$k(u; \omega) = (2\pi\omega^2)^{-1} \exp(-\|u\|^2 / (2\omega^2)) \tag{5}$$

Nilai yang lebih kecil dari ω sesuai untuk *tighter cluster* dan nilai yang lebih kecil dari κ sesuai untuk jumlah *mother* yang lebih sedikit. Hal tersebut berlaku dengan kondisi ketika induk berada di c , maka anak biasanya juga didistribusikan sekitar c . Jika nilai ω semakin kecil maka *cluster* yang terbentuk semakin rapat dan jika nilai κ semakin kecil, maka *number of parents* juga akan lebih sedikit [13]. Vektor parameter $(\kappa, \omega)^T$ disebut sebagai parameter interaksi. Parameter interaksi ψ dapat diwakili oleh *pair correlation* dan *K-functions*. Fungsi *pair correlation* dari *Thomas cluster process* seperti ditunjukkan oleh Persamaan 6 berikut.

$$g(r; \psi) = \pi r^2 + \frac{1}{4\pi\kappa\omega^2} \exp\left(-\frac{r^2}{4\omega^2}\right), r = \|u - v\| \tag{6}$$

Untuk persamaan *K-function* dituliskan sebagai berikut pada Persamaan 7.

$$K(r; \psi) = r^2 + \frac{1}{\kappa} \left\{ 1 - \exp\left(-\frac{r^2}{4\omega^2}\right) \right\} \tag{7}$$

3) *Cauchy Cluster Process*

Dalam *Cauchy cluster process*, kepadatan probabilitas keturunannya adalah distribusi *Cauchy* [14]. Fungsi densitas k ditunjukkan pada Persamaan 8 sebagai berikut.

$$k(\mathbf{u}; \omega) = \frac{1}{2\pi\omega^2} \left(1 + \frac{\|\mathbf{u}\|^2}{\omega^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \tag{8}$$

di mana ω adalah parameter skala, memainkan peran yang pada dasarnya sama dengan untuk *Thomas process*. Luas spasial suatu cluster sebanding dengan ω . Densitas *Cauchy* sangat *heavy-tailed*, jadi keturunannya bisa sangat jauh dari induknya [15].

Fungsi *pair correlation* dan *K-function* dari *Cauchy cluster process* masing-masing ditunjukkan pada Persamaan 9 dan 10 berikut [16].

$$g(r; \psi) = 1 + \frac{1}{8\pi\kappa\omega^2} \left(1 + \frac{\|r\|^2}{4\omega^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \tag{9}$$

$$K(r; \psi) = \pi r^2 + \frac{1}{\kappa} \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{r^2}{4\omega^2}}} \right) \tag{10}$$

4) *Variance Gamma Cluster Process*

Dalam *Variance Gamma cluster process*, fungsi densitas k ditunjukkan pada Persamaan 11 sebagai berikut.

$$k(\mathbf{u}; \omega) = \frac{1}{2^{q+1}\pi\omega^2\Gamma(q+1)} \left(\frac{\|\mathbf{u}\|}{\omega} \right)^q B_q \left(\frac{\|\mathbf{u}\|}{\omega} \right) \tag{11}$$

di mana Γ adalah fungsi Gamma, B adalah fungsi Bessel yang dimodifikasi dari jenis orde kedua q dan $q > -1/2$ [10].

Fungsi *pair correlation* dan *K-function* dari *Cauchy cluster process* masing-masing ditunjukkan pada Persamaan 12 dan 13 berikut.

$$g(r; \psi) = 1 + \frac{1}{4\pi\kappa\omega^2 q} \frac{(\|r\|/\omega)^2 B_q(\|r\|/\omega)}{2^{q-1}\Gamma(q)} \tag{12}$$

$$K(r; \psi) = \int_0^r 2\pi s g(s; \psi) ds \tag{13}$$

C. Analisis Eksplorasi Data

1) *Intensitas*

Intensitas ini merupakan karakteristik deskriptif dasar dari suatu *point process* yang merupakan rata-rata (ekspektasi atau *first order properties*) yang sama dengan rata-rata jumlah titik. Setiap *point process* \mathbf{X} , karakteristik intensitas dijelaskan sepenuhnya jika diketahui ekspektasi jumlah titik yang dapat dituliskan seperti pada Persamaan 14.

$$\mu(W) = E(n(\mathbf{X} \cap W)) \tag{14}$$

Fungsi intensitas $\lambda(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta})$ merupakan fungsi non negatif yang dapat memodelkan *first order properties* sehingga apabila ditulis seperti pada Persamaan 15.

$$\mu(W) = \int_W \lambda(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta}) du \tag{15}$$

di mana \mathbf{u} adalah lokasi daerah spasial, intensitas dilambangkan $\lambda(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta})$, di mana $\lambda(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta})$ merupakan sebuah fungsi yang menyatakan peluang mengobservasi sebuah titik di suatu daerah yang sangat kecil dengan luas du dan pusat \mathbf{u} . Sebelum melakukan pengujian homogenitas dari data maka *observation window* W yang ada dibagi menjadi *quadrat* A_1, A_2, \dots, A_m dimana jumlah titik di setiap *quadrat*, yaitu $n_j = n(\mathbf{x} \cap B_j)$, untuk $j = 1, \dots, m$. Pengujian homogenitas digunakan uji *Chi-Squared* dengan hipotesis pengujian sebagai berikut.

$$H_0 : \lambda(\mathbf{u}) = \lambda(\mathbf{v}) \text{ (homogen)}$$

$$H_1 : \lambda(\mathbf{u}) \neq \lambda(\mathbf{v}) \text{ (inhomogen)}$$

$$\mathbf{u}, \mathbf{v} \in W$$

Statistik uji yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 16 berikut.

$$\chi_{hit}^2 = \sum_{j=1}^m \frac{(n_j - e_j)^2}{e_j} = \sum_{j=1}^m \frac{(n_j - \frac{n}{m})^2}{n/m} \tag{16}$$

dimana

n_j : jumlah titik di *quadrat count* ke- j

e_j : ekspektasi banyaknya titik di *quadrat count* ke- j

m : jumlah quadrature

Hasil pengujian Tolak H_0 jika $\chi_{hit}^2 > \chi_{(\alpha,df)}^2$ dengan $df=m-1$ atau $p-value < \alpha$ [10].

2) *K-Function*

Pada analisis *spatial point process* teknik yang sangat populer digunakan untuk menganalisis korelasi dalam *point pattern* adalah *K-Function* [17]. Konsep *K-Function* yaitu menghitung jarak $d_{ij} = \|\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j\|$ antar semua pasangan titik berbeda \mathbf{u}_i dan \mathbf{u}_j dalam suatu *point pattern* x . Dengan jarak ini akan diketahui pola spasial yang terbentuk. Jika intensitas *inhomogen*, maka ditambahkan bobot untuk \mathbf{u}_i sebesar $b_i = 1/\lambda(\mathbf{u}_i)$. b_i merupakan intensitas proporsional pada poin \mathbf{u}_i . Sedangkan pasangan \mathbf{u}_i dan \mathbf{u}_j akan ditambahkan bobot sebesar $b_{ij} = b_i b_j = 1/(\lambda(\mathbf{u}_i)\lambda(\mathbf{u}_j))$, sehingga untuk rumus *K-Function* empiris dengan intensitas *inhomogen* dapat ditulis seperti pada Persamaan 17.

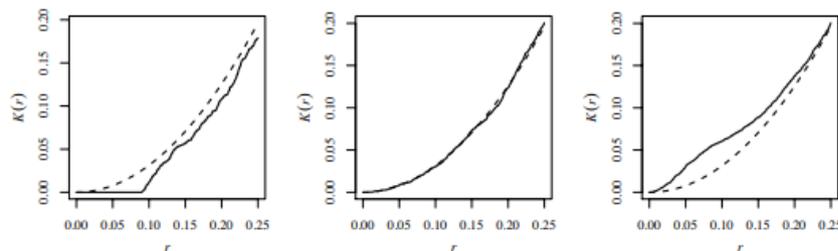
$$\hat{K}_{inhom}(r) = \frac{1}{D^p |W|} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mathbf{I} \left\{ \frac{\|\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j\|}{\hat{\lambda}(\mathbf{u}_i)\hat{\lambda}(\mathbf{u}_j)} \right\} h_{ij}(\mathbf{u}_i; \mathbf{u}_j; r) \tag{17}$$

dengan $D = \frac{1}{|W|} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\hat{\lambda}(\mathbf{u}_i)}$.

Keterangan:

- $h_{ij}(\mathbf{u}_i; \mathbf{u}_j; r)$: Bobot *edge correction*
- $|W|$: Luas daerah *observation window*
- $\hat{\lambda}(\mathbf{u}_i)$: Nilai estimasi dari $\lambda(\mathbf{u}_i)$
- $\hat{\lambda}(\mathbf{u}_j)$: Nilai estimasi dari $\lambda(\mathbf{u}_j)$

Berdasarkan hasil *K-Function empiris* $\hat{K}(r)$ yang telah dihitung dengan menggunakan rumus Persamaan 17, maka dapat dilakukan gambaran secara visual terhadap *K-Function empiris* $\hat{K}(r)$ bersama dengan *K-Function teoritis* dari *poisson process* $K_{pois}(r) = \pi r^2$, sehingga didapatkan plot seperti pada Gambar 3.



Gambar 3 Plot *K-function* empiris (garis padat) dan *K-function* untuk proses *Poisson* (garis putus-putus)

Berdasarkan Gambar 3 dapat diketahui mengenai keberadaan dan jenis korelasi antara *point pattern*. Ada tiga tipe plot yang terbentuk, gambar kiri menunjukkan garis *K-Function* empiris berada di bawah garis *K-Function* teoritis $\hat{K}(r) < K_{pois}(r)$ mengindikasikan bahwa tipe titik dalam pola tersebut memiliki *neighbour* lebih sedikit daripada yang diharapkan jika pola tersebut benar-benar acak. Pola ini konsisten membentuk pola regular. Gambar tengah menunjukkan *K-Function* empiris bertumpukan dengan garis *K-Function* teoritis $\hat{K}(r) = K_{pois}(r)$. Hal ini mengindikasikan tipe titik dalam pola ini memiliki *neighbour* telah sesuai dengan yang diharapkan. Gambar kanan menunjukkan *K-Function* empiris berada di atas garis *K-Function* teoritis $\hat{K}(r) > K_{pois}(r)$ yang artinya jenis titik dalam pola ini memiliki tetangga *neighbour* lebih banyak daripada yang diharapkan. Pola ini konsisten membentuk pola kelompok (*cluster*) [10].

D. Estimasi Parameter

Penaksiran parameter dilakukan pada penelitian ini untuk menaksir nilai parameter β dan juga parameter model *cluster* yaitu ω dan κ .

1) *Maximum Composite Likelihood Orde 1*

Pada model *Inhomogeneous Poisson Process* dengan intensitas $\lambda(\mathbf{u}; \beta)$ terdapat parameter yang dinotasikan dengan β . Fungsi *likelihood* yang digunakan untuk mengestimasi β dapat dituliskan seperti pada Persamaan 18.

$$L(\beta) = L(\beta; \mathbf{u}) = \lambda(\beta; \mathbf{u}_1) \dots \lambda(\beta; \mathbf{u}_n) \exp \left(\int_W (1 - \lambda(\beta; \mathbf{u}) du) \right) \tag{18}$$

Dari Persamaan 18 maka diperoleh fungsi *log-likelihood* seperti pada Persamaan 19.

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^n \log \lambda(\beta; \mathbf{u}_i) - \int_W \lambda(\beta; \mathbf{u}) du \tag{19}$$

Berdasarkan Persamaan 19 dapat diketahui bahwa fungsi *log-likelihood* dari *inhomogeneous poisson process* melibatkan integral dari *observation window* W . Oleh karena itu, penaksiran parameter dengan fungsi *likelihood* tersebut tidak dapat dihitung dengan tepat, sehingga dibutuhkan perhitungan secara numerik. Metode *numerical quadrature* dikembangkan untuk *inhomogeneous Poisson Point Process* agar fungsi *likelihood* nya mendekati fungsi *likelihood* dari *Generalized Linear Model Poisson*. Menggunakan pendekatan *numerical quadrature*, maka $\int_W \lambda(\beta; \mathbf{u}) d\mathbf{u}$ dapat didekati oleh $\sum_{i=1}^{n+q} \lambda(\mathbf{u}_i; \beta) w_i$ yang mana w_i merupakan bobot *quadrature* dan q merupakan banyaknya *dummy point* sehingga Persamaan 19 dapat ditulis menjadi Persamaan 20.

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^n \log \lambda(\beta; \mathbf{u}_i) - \sum_{i=1}^{n+q} \lambda(\mathbf{u}_i; \beta) w_i \tag{20}$$

Bentuk sederhana dari Persamaan 20 dapat ditulis seperti pada Persamaan 21.

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^{n+q} (I_i \log \lambda(\beta; \mathbf{u}_i) - \lambda(\mathbf{u}_i; \beta) w_i) \tag{21}$$

Nilai I_i bernilai 1 jika \mathbf{u}_i merupakan sebuah data poin, sedangkan untuk \mathbf{u}_i yang merupakan *dummy point* I_i bernilai 0. Persamaan 21 juga dapat ditulis seperti pada Persamaan 22 [18].

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^{n+q} (y_i \log \lambda(\beta; \mathbf{u}_i) - \lambda(\mathbf{u}_i; \beta) w_i) \tag{22}$$

Dimana $y_i = I_i / w_i$, Persamaan 22 ekuivalen dengan fungsi *likelihood Weighted Poisson* yang diberi bobot w_i .

2) *Maximum Composite Likelihood Orde 2*

Maximum Composite Likelihood Orde 2 merupakan salah satu metode penaksiran parameter model *clustered point process* $\theta = (\kappa, \omega)^T$. Pada Persamaan 23 dituliskan fungsi *Composite Likelihood Orde 2* yang dibangun dari semua titik data $\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j$ [10].

$$\log CL(\theta) = \sum_i \sum_{j \neq i} w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) \left[\log \lambda^{(2)}(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta) - \log \int_W \int_W w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) \lambda^{(2)}(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta) d\mathbf{u}_i d\mathbf{u}_j \right] \tag{23}$$

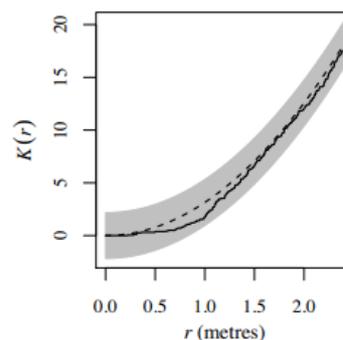
Nilai w pada Persamaan 23 merupakan fungsi pembobot, untuk memudahkan perhitungan maka nilai $w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) = 1 \{ \|\mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j\| \leq R \}$ dengan $R > 0$ merupakan batas atas korelasi dari model. Fungsi *composite score* yang merupakan turunan pertama fungsi *likelihood* terhadap θ , dapat dituliskan seperti pada Persamaan 24.

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \log CL(\theta) = \sum_i \sum_{j \neq i} w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) \frac{\kappa_2(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta)}{\lambda^{(2)}(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta)} - \sum_i \sum_{j \neq i} w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) \frac{(\kappa_2, w)}{\lambda^{(2)}, w} \tag{24}$$

dimana $\kappa_2(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta) = \frac{\partial}{(\partial \theta) \lambda^{(2)}(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta)}$ dan $(l, w) = \int_W \int_W w(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j) l(\mathbf{u}_i, \mathbf{u}_j; \theta) d\mathbf{u}_i d\mathbf{u}_j$.

E. Kebaikan Model

Kebaikan model yang dihasilkan dapat dicek dengan menggunakan plot *envelope K-Function* dan nilai BIC. Dalam pengecekan dengan visualisasi digunakan *envelope K-Function*, di mana plot *K-Function* dari data titik asli akan dibandingkan dengan hasil dari simulasi model-model *Neyman-Scott Cox Processes*. Model akan dikatakan baik dalam memodelkan data tertentu apabila plot *K-Function* data titik asli berada pada data interval *envelope K-Function*. Ilustrasi dari plot *envelope K-Function* untuk data *Swedish pines* di mana area berwarna abu-abu menunjukkan area interval *envelope* disajikan pada Gambar 4 [10].



Gambar 3 Plot *envelope K-Function* untuk Data *Swedish pines*

Pengecekan model terbaik juga dipilih berdasarkan nilai BIC terkecil. Kriteria BIC dapat didefinisikan seperti pada Persamaan 25 [19].

$$-2\ell_n(\hat{\beta}) + p \log(\mu(W)) \tag{25}$$

Di mana p adalah banyaknya parameter yang ditaksir ($\hat{\beta}$). Pada prakteknya, nilai $\mu(W)$ tidak diketahui sehingga dapat didekati dengan $n(W)$, sehingga kriteria BIC dapat juga didefinisikan seperti pada Persamaan 26.

$$BIC = -2\ell_n(\hat{\beta}) + p \log \{n(W)\} \tag{26}$$

Di mana $\ell_n(\hat{\beta})$ merupakan *Maximum Composite Likelihood* orde 2 seperti pada Persamaan 22, $n(W)$ merupakan jumlah titik yang ada dalam sebuah *observation window* W dan p merupakan jumlah parameter yang ada dalam model.

F. COVID-19

Virus corona atau *severe acute respiratory syndrome coronavirus 2* (SARS-CoV-2) adalah virus yang menyerang sistem pernapasan. Penyakit yang disebabkan karena infeksi virus ini disebut COVID-19 [1]. Virus Corona bisa menyebabkan gangguan ringan pada sistem pernapasan, infeksi paru-paru yang berat, kerusakan pada paru-paru secara permanen, hingga kematian. Untuk mencegah penyebarannya, beberapa negara menerapkan kebijakan untuk memberlakukan *lockdown* atau Pembatasan Sosial Berskala Besar (PSBB) untuk di Indonesia.

G. Faktor yang Diduga Berpengaruh

Sebuah kovariat spasial (*spatial covariates*) adalah fungsi $Z(u)$ yang diamati (berpotensi) di setiap lokasi spasial $u \in W$. Untuk kovariat spasial numerik $Z(u)$, dapat mengasumsikan bahwa intensitas dari *point process* bergantung pada Z dengan hubungan $\lambda(u) = \rho(Z(u))$ di mana ρ adalah fungsi untuk diestimasi [10]. Pada penelitian risiko penyebaran kasus COVID-19 digunakan beberapa kovariat yang diduga berpengaruh terhadap jumlah kasus COVID-19 yaitu kovariat kepadatan penduduk dan kovariat kepadatan lokasi kerumunan. Variabel kovariat ini akan dimaknai sebagai fungsi $Z(u)$ yang diamati (berpotensi) di setiap lokasi spasial $u \in W$.

1) *Kepadatan Penduduk*

Kepadatan penduduk adalah banyaknya penduduk per satuan luas. Kegunaannya adalah sebagai dasar kebijakan pemerataan penduduk dalam program transmigrasi. Kepadatan penduduk kasar atau *crude population density* (CPD) menunjukkan jumlah penduduk untuk setiap kilometer persegi luas wilayah. Luas wilayah yang dimaksud adalah luas seluruh daratan pada suatu wilayah administrasi [20].

Kepadatan penduduk dapat dihitung dengan rumus pada Persamaan 27 sebagai berikut.

$$KP = \frac{P}{A} \tag{27}$$

dimana:

- KP : Kepadatan penduduk
- P : Jumlah penduduk
- A : Luas wilayah (km²)

2) *Kepadatan Kerumunan*

Menteri Kesehatan Republik Indonesia mengeluarkan Surat Keputusan Nomor HK.01.07/ MENKES/382/2020 mengenai Protokol Kesehatan Bagi Masyarakat di Tempat Fasilitas Umum dalam Rangka Pencegahan dan Pengendalian *Corona Virus Disease* (COVID-19). Terdapat beberapa tempat yang disinyalir menimbulkan kerumunan menurut Kemenkes RI yaitu pusat perindustrian, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah, terminal/bandara/stasiun /pelabuhan, tempat wisata. Dalam penelitian ini lokasi kerumunan yang digunakan adalah pusat perindustrian, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah.

Variabel kovariat lokasi kerumunan digunakan dalam analisis adalah hasil transformasi u data koordinat lokasi kerumunan menjadi bentuk $Z(u)$ menjadi kepadatan lokasi kerumunan di mana kepadatan lokasi kerumunan dihitung dengan menggunakan *estimator kernel* pada Persamaan 28.

$$Z(u) = \frac{1}{e(u)} \sum_{i=1}^n k(u - x_i) \tag{28}$$

Di mana $k(u - x_i)$ adalah fungsi *isotropic Gaussian kernel* ditunjukkan pada Persamaan 30, x_i merupakan sebuah data titik sebanyak n , dan kernel k merupakan sebuah *probability density function*, serta $e(u)$ adalah *edge correction* yang didefinisikan oleh Persamaan 29.

$$e(u) = \int_B \kappa(u - v) dv \tag{29}$$

$$k(u) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{u^2}{\sigma^2}} \tag{30}$$

dimana σ merupakan skala dari Gaussian dan biasanya σ bernilai 1.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Sumber Data

Data yang dianalisis dalam penelitian ini merupakan data sekunder yaitu data koordinat alamat pasien terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya diperoleh dari Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19 Provinsi Jawa Timur dalam periode 18 Maret 2020 hingga 4 April 2021 dengan unit observasi sebanyak 29.870 kasus. Data koordinat lokasi kerumunan yaitu pusat perbelanjaan dan tempat ibadah diperoleh dari situs web *OpenStreetMap API* dengan bantuan *software* Python menggunakan *package Geopy Geocoder*. Sementara itu, data koordinat pabrik di Surabaya Raya diperoleh dengan bantuan fitur *Geocode by Awesome Table* pada *Google Sheets* dengan alamat pabrik didapatkan dari website Kementerian Perindustrian Republik Indonesia yang diakses melalui *kemenprin.go.id*. Untuk variabel kepadatan penduduk didapatkan pada buku “Kabupaten/Kota dalam Angka 2020” yang dipublikasi oleh Badan Pusat Statistik pada masing-masing kabupaten/kota di wilayah Surabaya Raya. Unit observasi pada penelitian ini yaitu alamat pasien terkonfirmasi COVID-19 di wilayah Surabaya Raya dengan *observation window* yaitu $[112.37, 112.87361] \times [-7.574321, -6.85]$.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini diuraikan dalam Tabel 1.

Table 1 Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan
u_1	Himpunan titik koordinat lintang dan bujur dari alamat pasien terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya
u_2	Himpunan titik koordinat lintang dan bujur dari lokasi pusat perindustrian di Surabaya Raya
u_3	Himpunan titik koordinat lintang dan bujur dari lokasi pusat perbelanjaan di Surabaya Raya
u_4	Himpunan titik koordinat lintang dan bujur dari lokasi tempat ibadah di Surabaya Raya
$Z_4(u)$	Kepadatan penduduk setiap kecamatan di Surabaya Raya

C. Langkah Analisis

Langkah-langkah analisis yang dilakukan pada penelitian risiko penyebaran kasus COVID-19 diuraikan sebagai berikut.

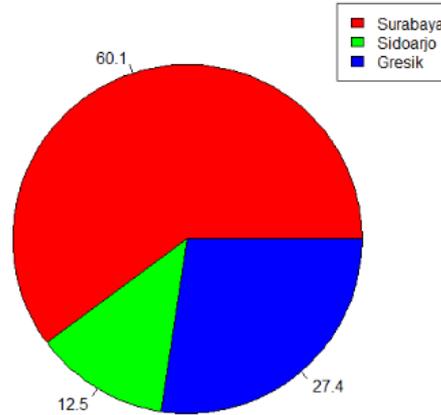
1. Mengumpulkan data penelitian berupa data koordinat alamat pasien terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya, data koordinat lokasi kerumunan meliputi lokasi pusat perindustrian, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah, serta data kepadatan penduduk tiap kecamatan di wilayah Surabaya Raya.
2. Melakukan *pre-processing* data penelitian meliputi melakukan *cleaning* data, melakukan *rejected* data yang tidak sesuai dengan *observation window*, dan melakukan tracing data kasus COVID-19 per tanggal kejadian kasus.
3. Menentukan batas wilayah (*observation window*) dalam pengamatan.
4. Menghitung kepadatan kovariat lokasi kerumunan dengan mentrans-formasikan variabel lokasi kerumunan dengan Persamaan 28 ke dalam fungsi kepadatan.
5. Untuk menjawab tujuan pertama maka langkah-langkah analisis yang dilakukan sebagai berikut.
 - a. Melakukan statistika deskriptif data jumlah kasus terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya.
 - b. Membuat *point pattern* jumlah kasus terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya.
 - c. Membuat *density plot* data kepadatan lokasi kerumunan dan kepadatan penduduk.
6. Untuk menjawab tujuan kedua maka langkah-langkah analisis yang dilakukan sebagai berikut.
 - a. Melakukan analisis eksplorasi data yaitu uji *Chi-Squared* untuk mengidentifikasi homogenitas data penelitian dan analisis korelasi spasial menggunakan plot *K-Function*.
 - b. Memodelkan data penelitian dengan menggunakan model *Cauchy Cluster Processes* dengan bentuk pemodelan ditunjukkan pada Persamaan 2.
 - c. Mengestimasi parameter model-model tersebut dengan menggunakan *Maximum Composite Likelihood* Orde 1 dan *Maximum Composite Likelihood* Orde 2.
 - d. Mengevaluasi kebaikan model menggunakan plot *envelope K-Function* dan nilai BIC untuk mendapatkan model terbaik.
7. Untuk menjawab tujuan ketiga maka langkah-langkah analisis yang dilakukan sebagai berikut.
 - a. Memprediksi jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya menggunakan model terbaik dan memetakan hasil prediksi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya.
 - b. Melakukan interpretasi hasil analisis.
8. Menarik kesimpulan dan saran.

IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Karakteristik Data dan Analisis Eksplorasi Data Spasial

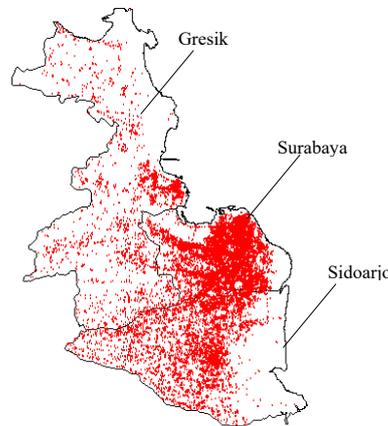
1) *Karakteristik Penyebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19, Kepadatan Penduduk, dan Kepadatan Lokasi Kerumunan di Surabaya Raya*

Jumlah kumulatif kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya pada tanggal 4 April 2021 tercatat telah mencapai 29.870 kasus. Diperoleh bahwa Kota Surabaya menjadi penyumbang terbesar kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya, diikuti oleh Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik. Untuk persentase jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19 tiap wilayah di Surabaya Raya ditunjukkan oleh Gambar 5.

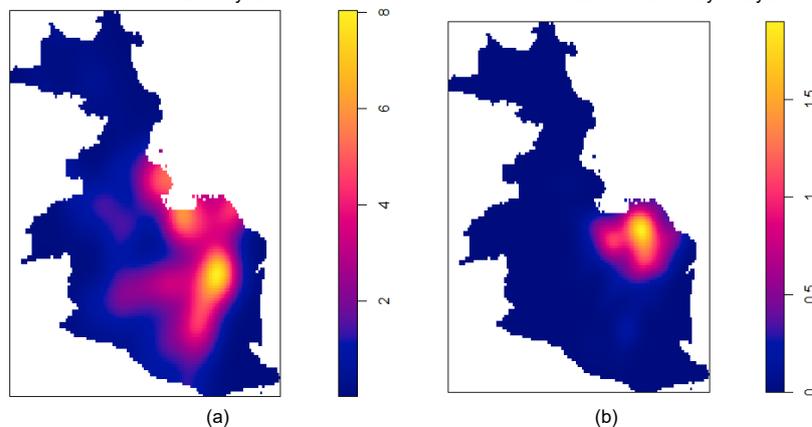


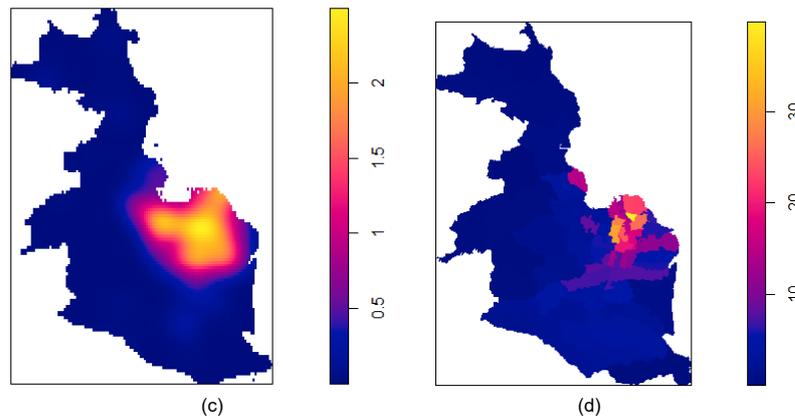
Gambar 5 Persentase Jumlah Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Tiap Wilayah Surabaya Raya

Selain itu pada Gambar 6 menunjukkan bahwa Kota Surabaya memiliki penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 yang tinggi dimana titik-titik lokasi alamat terkonfirmasi positif COVID-19 cenderung berpusat dan mengelompok di sekitar wilayah Kota Surabaya.



Gambar 6 Peta Penyebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya





Gambar 7 *Density Plot* dari Kepadatan Kovariat Spasial a) Pusat Perindustrian b) Pusat Perbelanjaan c) Tempat Ibadah d) Kepadatan Penduduk di Surabaya Raya

Untuk menggambarkan kepadatan kovariat spasial dapat digunakan *density plot*. Di mana ketika *density plot* menunjukkan warna yang semakin cerah maka pada tempat atau wilayah tersebut memiliki intensitas atau kepadatan yang tinggi. Sementara itu, ketika *density plot* menunjukkan warna yang semakin gelap maka tempat atau wilayah tersebut memiliki intensitas atau kepadatan yang rendah.

Gambar 7 menunjukkan *density plot* untuk kepadatan lokasi kerumunan dan kepadatan penduduk di Surabaya Raya. Berdasarkan Gambar 7, dapat dilihat bahwa kepadatan lokasi pusat perindustrian memiliki intensitas yang tinggi di wilayah Kota Surabaya begitu pula kepadatan lokasi tempat ibadah yang ditunjukkan Gambar 7 (c) juga memiliki intensitas yang paling tinggi di wilayah Kota Surabaya. Untuk kepadatan lokasi pusat perindustrian yang ditunjukkan oleh Gambar 7. (a), terlihat bahwa memiliki intensitas yang tinggi di Kabupaten Sidoarjo dan Kota Surabaya. Selain kepadatan lokasi kerumunan diduga faktor lain yang mempengaruhi dapat meningkatkan jumlah kasus positif COVID-19 adalah kepadatan penduduk. Berdasarkan Gambar 7 (d), dapat dilihat bahwa kepadatan penduduk tertinggi berada di wilayah Surabaya jika dibandingkan dengan kedua wilayah lainnya di Surabaya Raya. Hal ini disebabkan Kota Surabaya sebagai kota metropolitan yang menyebabkan padatnya penduduk di wilayah tersebut. Hal ini juga diduga menjadi penyebab tingginya kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya.

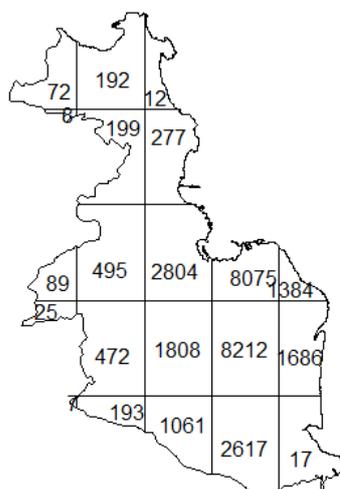
2) *Uji Homogenitas Data Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya*

Setelah diketahui karakteristik dari data, langkah selanjutnya yaitu uji homogenitas data. Untuk mengetahui data kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya mengikuti pola yang homogen atau tidak maka dilakukan uji homogenitas dengan menggunakan uji *Chi-Squared* yang telah dipaparkan pada Bab 2. Uji *Chi-Squared* dengan data kasus terkonfirmasi positif COVID-19 diperoleh nilai statistik uji seperti pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2 *Chi Squared Test Data Kasus Positif COVID-19*

Chi-squared Test	
χ^2	60206
<i>df</i>	20
<i>p-value</i>	$< 2.2 \times 10^{-16}$

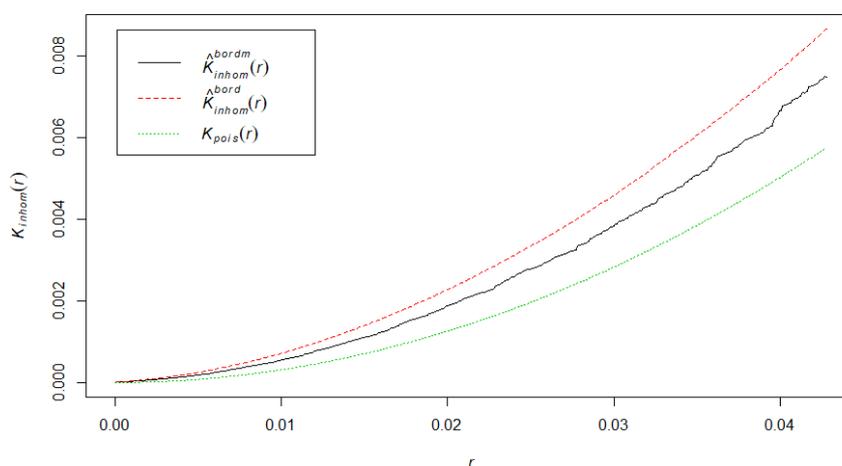
Hasil pengujian diperoleh keputusan Tolak H_0 dengan menggunakan taraf signifikansi $\alpha = 0,05$, karena nilai *p-value* yang didapatkan kurang dari $\alpha = 0,05$. Hal ini menunjukkan bahwa data kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya cenderung tidak homogen (*inhomogen*) dengan selang kepercayaan 95%. Artinya terdapat kemungkinan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perbedaan jumlah kasus positif COVID-19 di berbagai daerah di wilayah Surabaya Raya. Hal tersebut diperjelas oleh Gambar 8, di mana ditunjukkan bahwa jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di setiap *quadrat count* cenderung tidak sama besar. Akibatnya terdapat wilayah dengan jumlah kasus terkonfirmasi positif banyak namun di wilayah lain terdapat kasus positif yang kecil yaitu di daerah pinggiran Surabaya Raya.



Gambar 8 *Quadrat Count Plot* Penyebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya

3) Analisis Korelasi Spasial Data Kasus Positif COVID-19 di Surabaya Raya

Selain pengujian homogenitas dilakukan juga pengujian korelasi. Untuk lebih lengkapnya dipaparkan di Bab 2. Dalam menentukan korelasi spasial dari data dapat dilakukan dengan melihat plot *K-function*. Plot *K-function* yang digunakan yaitu *Inhomogeneous K-function Plot* dikarenakan hasil uji *Chi-Squared* menunjukkan data *inhomogen*, kemudian plot disajikan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9 *Inhomogeneous K-Function Plot* Data Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya

Berdasarkan Gambar 9 diperoleh bahwa dari pengujian dengan plot *K-Function* menunjukkan penyebaran data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya ini cenderung membentuk kelompok atau kluster. Hal ini dikarenakan *K-Function* empiris dengan *border edge correction* berada di atas *K-Function* teoritis dari proses *Poisson* seperti $\hat{K}(r) > K_{pois}(r)$.

B. Pemodelan Risiko Penyebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya dengan Model Cauchy Cluster Process

1) Estimasi Parameter Model Cauchy Cluster Process

Pemodelan risiko terkonfirmasi positif COVID-19 dengan menggunakan model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process*. Nilai estimasi parameternya ditunjukkan oleh Tabel 3.

Tabel 3 Estimasi Parameter Model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process*

Parameter	Estimasi	Exp(koef)	Z-value	Ztest
$\hat{\kappa}$	4,56232			
$\hat{\omega}$	0,06129			
$\hat{\beta}_0$	1,35128	3,86236	57,0766	***
$\hat{\beta}_1$ (kepadatan pusat perindustrian)	0,25271	1,28751	19,1499	***
$\hat{\beta}_2$ (kepadatan pusat perbelanjaan)	0,10769	1,11370	0,9806	
$\hat{\beta}_3$ (kepadatan tempat ibadah)	0,74613	2,10882	12,3764	***
$\hat{\beta}_4$ (kepadatan penduduk)	0,03368	1,03425	8,7419	***

***Signifikan pada taraf signifikansi $\alpha=0,001$

Dikarenakan pada model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* masih terdapat variabel yang tidak signifikan berpengaruh maka dilakukan pengeliminasian pada variabel kepadatan pusat perbelanjaan (Z_2), Oleh karena itu, diperoleh hasil estimasi dan pengujian signifikansi parameter model seperti pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4 Estimasi Parameter Model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* Setelah Eliminasi

Parameter	Estimasi	Exp(koef)	Z-value	Ztest
$\hat{\kappa}$	4,51919			
$\hat{\omega}$	0,06137			
$\hat{\beta}_0$	1,34425	3,83531	57,9622	***
$\hat{\beta}_1$ (kepadatan pusat perindustrian)	0,25020	1,28428	18,9197	***
$\hat{\beta}_3$ (kepadatan tempat ibadah)	0,79994	2,22540	22,1329	***
$\hat{\beta}_4$ (kepadatan penduduk)	0,03493	1,03554	9,5998	***

***Signifikan pada taraf signifikansi $\alpha=0,001$

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh bahwa pemodelan kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya dengan taraf signifikansi 5 % menunjukkan bahwa semua variabel telah berpengaruh secara signifikan terhadap risiko penyebaran kasus terkonfirmasi COVID-19 di Surabaya Raya dengan tingkat kepercayaan 95%. Variabel tersebut yaitu variabel kepadatan pusat perbelanjaan, kepadatan tempat ibadah, dan kepadatan penduduk. Risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 dapat dimodelkan sebagai berikut.

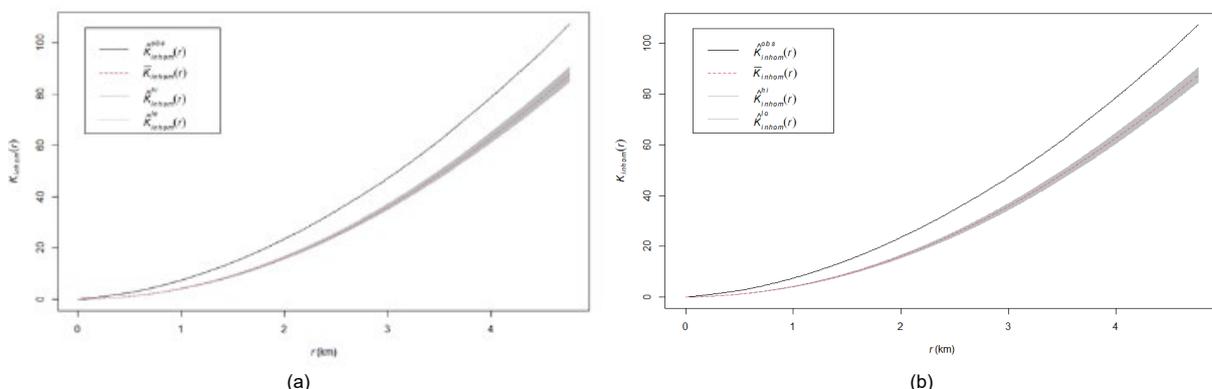
$$\hat{\lambda}(u) = 4,51919 \times \exp(1,34425 + 0,25020Z_1(u) + 0,79994Z_3(u) + 0,03493Z_4(u))$$

Besarnya risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya dapat dinyatakan dengan nilai *Exp(koef)*. Dimana setiap peningkatan kepadatan pusat perindustrian dan kepadatan tempat ibadah sebesar 1 objek per km², maka akan meningkatkan risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya sebesar Di mana jika kepadatan pusat perindustrian dan tempat ibadah meningkat sebesar 1 objek per km², maka risiko persebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 masing-masing meningkat sebesar 1,28 dan 2,22 kali lipat apabila dibandingkan dengan tidak terjadi penambahan objek pabrik dan objek tempat ibadah. Selain itu, setiap peningkatan kepadatan penduduk per kecamatan sebesar 1000 penduduk per km², maka akan meningkatkan risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya sebesar 1,03554 kali lipat jika dibandingkan dengan tidak ada peningkatan kepadatan penduduk.

Nilai parameter cluster $\hat{\kappa}$ dan $\hat{\omega}$ yang diperoleh dari pemodelan pada Tabel 4.7, masing-masing sebesar 4,51919 dan 0,06137. Diketahui luas *observation window* pada penelitian ini sebesar 2.118,34 km². Oleh karena itu, nilai parameter cluster tersebut dapat diartikan bahwa estimasi jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19 baru di Surabaya Raya sebesar 9.574 kasus dengan standar deviasi penyebaran kasus terkonfirmasi COVID-19 baru di sekitarnya sebesar 0,06137 km.

2) *Kebaikan Model Inhomogeneous Cauchy Cluster Process*

Pada pengevaluasian kebaikan dari model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* dilakukan dengan menggunakan plot *envelope K-function* dan nilai BIC. Pengevaluasian ini dilakukan untuk melihat data poin asli telah sesuai dengan hasil dari simulasi model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process*.



Gambar 10 Plot *Envelope K-Function* Model (a) *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* (b) *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* Setelah Eliminasi

Pada Gambar 10 menunjukkan bahwa plot *K-function* pada data kasus terkonfirmasi COVID-19 tidak berada pada interval plot *envelope K-function*. Plot *K-function* empiris pada semua model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* cenderung berada di luar daerah interval kepercayaan plot *envelope K-function*, sehingga secara keseluruhan model tersebut belum cukup baik. Selain menggunakan plot *envelope K-function*, pengevaluasian model terbaik dapat dilakukan dengan menggunakan penentuan nilai BIC yang terkecil yang ditunjukkan pada Tabel 5.

Tabel 5 Nilai BIC pada Pemodelan dengan Menggunakan *Cauchy Cluster Process*

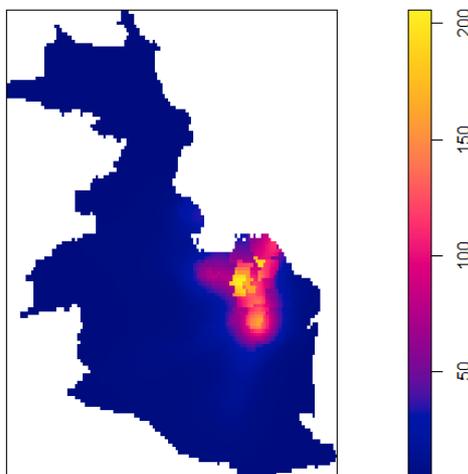
Model	BIC
Model <i>Cauchy Cluster Process</i>	$-4,4282 \times 10^8$

Model *Cauchy Cluster Process* Setelah Eliminasi $-4,4397 \times 10^8$

Tabel 5 menunjukkan bahwa nilai BIC pada model *Cauchy Cluster Process* setelah eliminasi memiliki nilai paling kecil dibandingkan model sebelum eliminasi. Artinya model *Cauchy Cluster Process* setelah eliminasi lebih baik daripada model *Cauchy Cluster Process* sebelum eliminasi untuk menjelaskan pengaruh kovariat terhadap risiko penyebaran kasus pasien terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya.

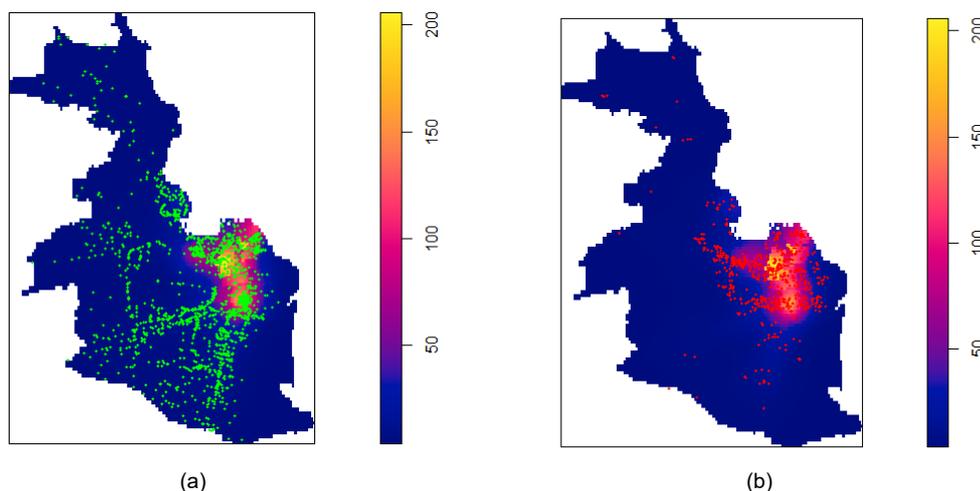
C. Prediksi Risiko Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya

Hasil prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya dengan menggunakan model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* disajikan pada Gambar 11 berikut.



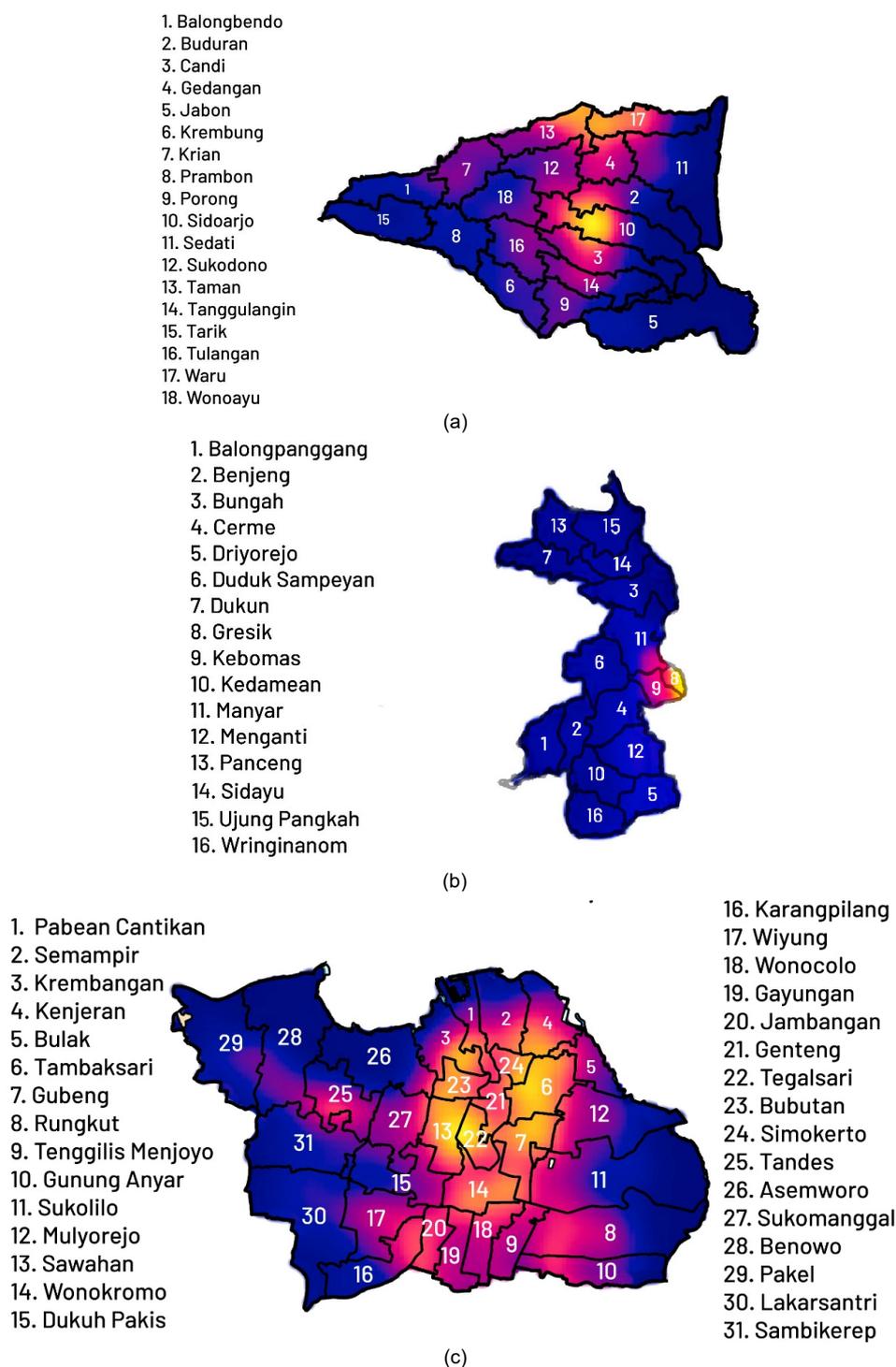
Gambar 11 Peta Prediksi Risiko Penyebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya Raya

Prediksi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya yang ditunjukkan oleh Gambar 11 menjelaskan bahwa episenter kasus terkonfirmasi positif COVID-19 terdapat di sekitar wilayah Kota Surabaya. Terlihat bahwa hasil prediksi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di wilayah Kota Surabaya lebih tinggi jika dibandingkan dengan wilayah Kabupaten Sidoarjo maupun Gresik. Di mana prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 paling tinggi mencapai sekitar 200 kasus per km².



Gambar 12 Peta Penyebaran Risiko Penyebaran Kasus COVID-19 dengan a) Titik Alamat Pusat Perindustrian b) Titik Alamat Tempat Ibadah

Hasil prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 yang tinggi di Kota Surabaya diimbangi dengan jumlah pabrik dan tempat ibadah yang cukup banyak di daerah tersebut yang ditunjukkan oleh Gambar 12. Selain itu kepadatan penduduk yang cukup tinggi juga menjadi alasan hasil prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 cukup tinggi di Kota Surabaya. Oleh karena itu, mobilitas masyarakat yang bekerja di pabrik maupun tempat ibadah dan kepadatan penduduk yang tinggi berpengaruh signifikan pada penambahan jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19.



Gambar 13 Peta Penyebaran Risiko Penyebaran Kasus COVID-19 pada a) Kabupaten Sidoarjo b) Kabupaten Gresik c) Kota Surabaya

Hasil prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 yang tinggi di Kabupaten Sidoarjo terletak di Kecamatan Buduran, Candi, Gedangan, Sidoarjo, Sukodono, Taman, Tanggulangin, dan Waru. Sementara itu, prediksi risiko kasus terkonfirmasi positif COVID-19 yang tinggi di Kabupaten Sidoarjo terletak di Kecamatan Kebomas. Di Kota Surabaya, daerah di wilayah pusat di prediksi memiliki risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 yang tinggi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan di atas, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan data kumulatif jumlah kasus pada tanggal 4 April 2021, Kota Surabaya menjadi penyumbang kasus terkonfirmasi positif COVID-19 tertinggi di Surabaya Raya apabila dibandingkan dengan 2 wilayah lainnya yaitu Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik. Selain itu, Kota Surabaya juga memiliki kepadatan penduduk, kepadatan pusat perindutrian, kepadatan pusat perbelanjaan, dan kepadatan tempat ibadah yang tinggi dibandingkan Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik. Hasil pengujian homogenitas didapatkan data kasus

terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya mengikuti pola inhomogen dan hasil pengujian korelasi spasial menunjukkan data cenderung membentuk kelompok.

- Hasil pemodelan dengan model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* diperoleh bahwa model yang terbaik yaitu model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* setelah dilakukan eliminasi pusat perbelanjaan. Hal ini dikarenakan model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* setelah eliminasi memiliki nilai BIC yang terkecil untuk memodelkan risiko penyebaran COVID-19 di Surabaya Raya. Untuk hasil estimasi parameter dan persamaan yang didapatkan dari model *Inhomogeneous Cauchy Cluster Process* tersebut sebagai berikut.

$$\hat{\lambda}(\mathbf{u}) = 4,51919 \times \exp(1,34425 + 0,25020Z_1(\mathbf{u}) + 0,79994Z_3(\mathbf{u}) + 0,03493Z_4(\mathbf{u}))$$

Pada persamaan model di atas menunjukkan bahwa variabel yang mempengaruhi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 adalah variabel kepadatan pusat perindustrian, tempat ibadah, dan kepadatan penduduk.

- Hasil prediksi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 dengan model *Cauchy Cluster Process* diperoleh bahwa hasil prediksi risiko penyebaran kasus terkonfirmasi positif COVID-19 di wilayah Kota Surabaya lebih tinggi jika dibandingkan dengan wilayah Kabupaten Sidoarjo maupun Gresik. Dimana di Kota Surabaya memiliki jumlah pabrik dan tempat ibadah yang cukup banyak dan padat, serta kepadatan penduduk di daerah tersebut juga cukup tinggi. Oleh karena itu, mobilitas masyarakat yang bekerja di pabrik maupun tempat ibadah dan kepadatan penduduk yang tinggi berpengaruh signifikan pada penambahan jumlah kasus terkonfirmasi positif COVID-19.

B. Saran

Adapun saran yang peneliti dapat berikan sebagai berikut.

- Pada penelitian selanjutnya dapat melakukan pengumpulan data-data yang lebih *update* dan dapat menambahkan kovariat lain yang diduga berpengaruh pada peningkatan jumlah kasus COVID-19 seperti tempat pemberhentian transportasi umum dan tempat hiburan lainnya yang diduga menimbulkan banyak kerumunan masyarakat.
- Untuk pemerintah kecamatan yang telah diprediksi memiliki risiko penyebaran kasus COVID-19 yang tinggi, diharapkan dapat terus menggalakan pentingnya menerapkan protokol kesehatan 5 M di tempat-tempat yang menimbulkan kerumunan massa dan dapat meluncurkan strategi-strategi baru dapat mengoptimalkan upaya dalam menekan jumlah kasus COVID-19 baru di Surabaya Raya.
- Pada penelitian ini dihasilkan plot *envelope K-function* yang kurang baik, sehingga peneliti menyarankan untuk menggunakan metode estimasi lain yang menghasilkan nilai interval yang jauh lebih besar, salah satunya yaitu *Palm Likelihood*.

REFERENSI

- WHO, "W. H. O.," 2020. [Online]. Available: https://www.who.int/health-topics/coronavirus#tab=tab_1. [Accessed 27 Agustus 2021].
- S. C.-1. Jatim, "Jatim Tanggap Covid-19," 2021. [Online]. Available: <https://infocovid19.jatimprov.go.id/>. [Accessed 28 Agustus 2021].
- BPS, "Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Timur," 2019. [Online]. Available: <https://jatim/bps/go.id>. [Accessed 9 September 2021].
- N. Kadi and M. Khelfaoui, "Population density, a factor in the spread of COVID-19 in Algeria: statistic study," *Bulletin of the National Research Center*, vol. 44, no. 1, p. 138, 20 Agustus 2020.
- Y. Feng, Q. Li and X. Tong, "Spatiotemporal spread pattern of the COVID-19 cases in China," *PLoS ONE*, vol. 15, no. 22, pp. 1-15, 2020.
- S. Dahlia, "Analisis Pola Spasial Pesebaran Kasus Covid-19 Menggunakan Sistem Informasi Geografis Di DKI Jakarta," Universitas Muhammadiyah Prof. Dr. Hamka, Jakarta, 2021.
- T. A. Virania, A. Choiruddin and V. Ratnasari, "Analisis Risiko Penyebaran Covid-19 di Surabaya Raya Menggunakan Model Inhomogeneous Thomas Cluster Process," *Inferensi*, vol. 4, no. 1, pp. 57-67, 2021.
- P. Wahyuni, "Pemodelan Risiko Persebaran Kasus Terkonfirmasi Positif COVID-19 di Surabaya, Gresik, dan Sidoarjo Menggunakan Model Multitype Poisson Point Process," Surabaya, 2021.
- M.-C. v. Lieshout, *Handbook of Spatial Statistics*, Boca Raton: CRC Press, 2010.
- A. Baddeley, E. Rubak and R. Turner, *Spatial Point Patterns Methodology and Applications with R*, Boca Raton: CRC Press, 2015.
- J. Møller and R. Waagepetersen, "Modern Statistics for Spatial Point Processes," *Scandinavian Journal of Statistics*, vol. 4, no. 34, pp. 634-684, 2007.
- R. P. Waagepetersen, "An estimating function approach to inference for inhomogeneous Neyman-Scott process," *Biometrics*, vol. 32, no. 1, pp. 252-258, 2007.
- A. C. J. & L. F. Choiruddin, "Convex and non convex regularization methods for spatial point processes," *Electronic Journal of Statistics*, vol. 12, no. 1, p. 1210-1255, 2018.
- A. Jalilian, Y. Guan and R. P. Waagepetersen, "Decomposition of variance for spatial cox processes," *Scandinavian Journal of Statistics*, vol. 40, no. 1, pp. 119-137, 2013.
- A. Choiruddin, T. Y. Susanto and R. Metrikasari, "Two-Step Estimation for Modeling the Earthquake Occurrences in Sumatra by Neyman-Scott Cox Point Processes," *Soft Computing in Data Science*, vol. 1489, pp. 146-159, 2021.
- A. Choiruddin, A. F. Trisnisa and N. Iriawan, "Quantifying effect of geological factor on distribution of earthquake occurrences by inhomogeneous Cox processes," *Pure and Applied Geophysics*, vol. 178, p. 1579-1592, 2021.

- [17] B. Ripley, "Modelling Spatial Patterns," *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)*, vol. 2, no. 39, pp. 172-192, 1977.
- [18] M. Berman and T. Turner, "Approximating point process likelihood with GLIM," *Journal of the Royal Statistical Society :Series C (Applied Statistics)*, vol. 1, no. 41, pp. 31-38, 1992.
- [19] A. Choiruddin, J. Coeurjolly and R. Waagepetersen, "Information criteria for inhomogeneous spatial," *Australian & New Zealand Journal of Statistics*, vol. 63, pp. 119-143, 2021.
- [20] BPS. 2021. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/istilah/index.html?Istilah_page=22&Istilah_sort=deskripsi_ind. [Accessed 30 September 2021].