

# Analisis Risiko Penyebaran Kasus COVID-19 di Surabaya Raya Menggunakan Thomas Cluster Process

Tiza Ayu Virania<sup>1</sup>, Achmad Choiruddin<sup>2</sup>, Vita Ratnasari<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Departemen Statistika, Fakultas Sains dan Analitika Data, Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
email: tiza.ayu99@gmail.com<sup>1</sup>, choiruddin@its.ac.id<sup>2</sup>, vita\_ratnasari@statistika.its.ac.id<sup>3</sup>

Received: 7 March 2021  
Accepted: 27 March 2021  
Published: 31 March 2021

**ABSTRAK**– COVID-19 menyebar cepat di Jawa Timur khususnya daerah Surabaya Raya yang memiliki jumlah pasien terkonfirmasi positif tertinggi dibandingkan kota/kabupaten lainnya di Jawa Timur. Kota Surabaya merupakan kota dengan jumlah pasien terkonfirmasi positif terbanyak dibandingkan Kabupaten Sidoarjo dan Gresik, dimana pada tanggal 20 Maret hingga 9 Juli 2020 68% dari jumlah kasus di Surabaya Raya merupakan kasus COVID-19 di Kota Surabaya. Hasil eksplorasi data menunjukkan bahwa data COVID-19 di Surabaya Raya tidak homogen dan cenderung membentuk kelompok. Pemodelan kasus COVID-19 dengan *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* menunjukkan kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah secara signifikan mempengaruhi persebaran COVID-19 di Surabaya Raya, dimana setiap penambahan 1 pabrik dalam 1 km<sup>2</sup> akan meningkatkan risiko COVID-19 sebanyak 2 kali lipat. Sedangkan jika dalam 1 km<sup>2</sup> terjadi penambahan sebanyak 1 tempat ibadah maka risiko meningkatnya kasus COVID-19 di Surabaya Raya sebesar 4 kali lipat jika dibandingkan dengan tidak ada penambahan tempat ibadah. Estimasi jumlah kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya adalah sebesar 161 kasus dengan standar deviasi kasus positif COVID-19 baru tersebar disekitar lokasi early case adalah sebesar 1,21 km. Validasi model dengan *plot envelope K-Function* menunjukkan bahwa *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* baik digunakan untuk memodelkan data COVID-19 di Surabaya Raya pada 20 Maret 2020 hingga 9 Juli 2020.

**Keywords**– COVID-19, *Inhomogeneous Thomas Cluster Process*, *Spatial Point Process*, Surabaya Raya

## I. PENDAHULUAN

Sejak 16 Maret 2020 pandemi COVID-19 mulai menyebar di Provinsi Jawa Timur, dimana COVID-19 (*Corona Virus Disease 2019*) merupakan penyakit menular yang disebabkan oleh jenis coronavirus yang baru ditemukan. *Coronavirus* adalah suatu kelompok virus yang dapat menyebabkan penyakit pada hewan atau manusia [1] Gejala awal infeksi virus corona atau COVID-19 bisa menyerupai gejala flu, yaitu demam, pilek, batuk kering, sakit tenggorokan, dan sakit kepala. Penambahan kasus positif di Jawa Timur dari hari ke hari memiliki angka yang cukup tinggi, hingga pada tanggal 2 Desember 2020 jumlah terkonfirmasi positif ada sebanyak 62,773 [2]. Dari 38 kabupaten/kota di Jawa Timur, Surabaya Raya yaitu Surabaya, Sidoarjo dan Gresik merupakan kabupaten/kota penyumbang jumlah pasien positif COVID-19 terbanyak. Hal ini terjadi karena Surabaya Raya merupakan kawasan metropolitan terbesar kedua yang memiliki penduduk terbanyak kedua setelah Jabodetabek. Kota Surabaya memiliki kepadatan penduduk sebesar 9,497 jiwa per km<sup>2</sup> [3]. Banyaknya jumlah penduduk di Surabaya ini dikarenakan Surabaya memiliki posisi strategis sebagai pusat kegiatan ekonomi masyarakat. Padatnya penduduk di Surabaya Raya ini memicu seringnya interaksi antar manusia yang dapat memperbesar resiko penularan COVID-19 ini.

Upaya pemerintah Provinsi Jawa Timur terkait analisis statistika diantaranya berupa statistika deskriptif yang ditampilkan dalam bentuk dashboard dan ditampilkan di website Pemerintah Provinsi Jawa Timur mengenai COVID-19. Selain itu juga telah dilakukan analisis time series yang meramalkan jumlah kasus positif COVID-19 pada beberapa hari kedepan [2]. Namun belum ada analisis yang menggunakan *Geo References* yang memuat lokasi alamat penderita COVID-19 di Jawa Timur. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis persebaran spasial kasus positif COVID-19 dengan model *Thomas Cluster Process*. Persebaran kasus positif COVID-19 ini perlu diketahui untuk menekan angka kejadian positif COVID-19 di Jawa Timur melihat cara penyebarannya yang cukup cepat. Cara penyebaran COVID-19 adalah melalui tetesan air liur (*droplets*) atau muntah (*fomites*) dalam kontak dekat tanpa pelindung. Transmisi virus corona terjadi antara yang telah terinfeksi dengan orang tanpa patogen penyakit [1]. Analisis persebaran COVID-19 disesuaikan dengan epidemiologi. Pemanfaatan spasial dalam bidang epidemiologi diantaranya yaitu pemetaan penyakit, studi korelasi geografi, studi sumber titik, dan garis, serta deteksi dan pengelompokan penyakit [4].

Beberapa penelitian sebelumnya mengenai COVID-19 diantaranya mobilitas penduduk dan efek spasial penyebaran COVID-19 di DKI Jakarta oleh Chotib Hasan [5], juga telah melakukan penelitian mengenai risiko penyebaran COVID-19 di Indonesia dengan Analisis Spasial. Diantara beberapa penelitian sebelumnya, belum ada analisis yang menggunakan *Geo References* yang memuat lokasi alamat penderita COVID-19. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan analisis persebaran spasial kasus positif COVID-19 dengan *Spatial Point Process*.

Beberapa penelitian yang menggunakan metode *Spatial Point Process* telah dilakukan oleh Trisnisa & Choiruddin [6] yang meneliti mengenai pemodelan gempa bumi di Maluku dan Sulawesi dengan menggunakan *inhomogeneous Cox Point Processes*. Penelitian serupa juga pernah dilakukan oleh Mertiksari & Choiruddin [7] yang juga meneliti mengenai pemodelan gempa bumi di Sumatra.

Penelitian ini diharapkan mampu menghasilkan informasi mengenai karakteristik penyebaran COVID-19 di Surabaya Raya, mengetahui model kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya dengan menggunakan *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* dan juga mengetahui prediksi risiko persebaran kasus pasien terkonfirmasi positif COVID-19 di

Surabaya Raya yang dikaitkan dengan beberapa kovariat seperti kepadatan lokasi keumunan seperti pabrik, pusat perbelanjaan dan tempat ibadah serta kepadatan penduduk per kecamatan.

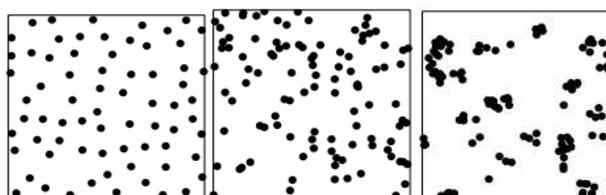
Adapun batasan masalah dalam penelitian ini adalah kasus pasien positif COVID-19 di Surabaya Raya pada tanggal 20 Maret sampai dengan 9 Juli 2020. Selain itu, dalam penelitian ini Pulau Bawean tidak disertakan dalam analisis karena transmisi terjadinya kasus COVID-19 ditempat itu sangat kecil. Pulau bawean merupakan pulau yang terletak di Laut Jawa dan jaraknya dari Kabupaten Gresik sekitar 140 kilometer namun pulau ini secara administratif masih masuk kedalam Wilayah Gresik. Sedangkan untuk variabel kovariat yang digunakan pada penelitian ini adalah tempat kerumunan yaitu pusat perbelanjaan, pabrik dan tempat ibadah.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Spatial Point Process

Spatial point process  $X$  adalah himpunan bagian acak yang berasal dari suatu batasan tertentu  $W \subset \mathbb{R}^2$ . Bentuk realisasi dari spatial point process adalah spatial point pattern  $\mathbf{x} = \{x_1, \dots, x_n\}$  dari  $n \geq 0$  poin yang berada pada suatu observation window  $W$  [8].

Berdasarkan korelasi spasial, terdapat 3 pola dasar dalam point pattern yang dapat divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Pola Dasar dalam Point Pattern Regular (Kiri), Independen (Tengah), dan Cluster (Kanan)

Pola regular pada Gambar 1 menunjukkan bahwa titik-titik dalam wilayah pengamatan cenderung menjauh satu sama lain. Pada pola independen (random), titik-titik cenderung menunjukkan pola yang acak (complete spatial randomness). Sedangkan pada pola kelompok (cluster) titik-titik cenderung berdekatan satu dan lainnya.

#### 1). Poisson Process

Poisson process merupakan salah satu model untuk spatial point pattern yang memiliki pola acak (complete spatial randomness). Sebuah poisson process  $X$  pada  $\mathbb{R}^2$  dengan fungsi intensitas  $\rho$  dan observation window  $W \subseteq \mathbb{R}^2$  dengan  $\mu(W) > 0$ , maka: [9]

$n(W)$  atau jumlah objek atau kejadian di  $W$  berdistribusi Poisson dengan mean  $\mu(W)$

Poin di  $X_w$  merupakan independen dengan fungsi intensitas  $\rho(\mathbf{u}), \mathbf{u} \in W$

#### 2). Thomas Cluster Process

Thomas Cluster process terbentuk dari dua tahapan yang pertama yaitu mother process. Mother Process ( $C$ ) merupakan suatu Poisson Process dengan intensitas  $\kappa$ . Selanjutnya akan muncul proses baru  $X_c, c \in C$  yang dinamakan offspring processes yang tersebar disekitar mother process dengan fungsi intensitas seperti pada persamaan 1.

$$\rho_c(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta}) = \exp(\zeta + \boldsymbol{\beta}^T z(\mathbf{u}))k(\mathbf{u} - \mathbf{c}; \omega) \tag{1}$$

dengan  $k$  merupakan probability density function (pdf) dari distribusi jarak antara offspring dan mother process dengan parameter  $\omega$ .  $X = \bigcup_{c \in C} X_c$  merupakan kasus khusus pada Inhomogeneous Neyman-Scott Cox process dengan induk  $C$  dan offspring  $X_c, c \in C$ . Fungsi densitas  $f$  pada Thomas Cluster Process yang ditulis pada persamaan 2 [8].

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

Pada Thomas Cluster Process, fungsi kepadatan peluang jarak antara mother dan offspring process saling independen dan berdistribusi Normal bivariate  $N_d(0, \omega^2 I_d)$ . Hal tersebut berlaku dengan kondisi ketika induk berada di  $c$ , maka anak biasanya juga didistribusikan sekitar  $c$ . Fungsi intensitas Thomas Cluster Process dapat ditulis seperti pada persamaan 3.

$$\rho(\mathbf{u}; \boldsymbol{\beta}) = \kappa \exp(\boldsymbol{\beta}^T z(\mathbf{u})) \tag{3}$$

$K$ -function pada Thomas cluster process ditulis pada persamaan 4 [8].

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

Jika nilai  $\omega$  semakin kecil maka cluster yang terbentuk semakin rapat dan jika nilai  $\kappa$  semakin kecil, maka number of parents juga akan lebih sedikit [10].

**B. Analisis Eksplorasi Data**

Analisis eksplorasi data pada *point process* digunakan untuk mengetahui homogenitas suatu data dan mengetahui pola persebaran data dengan menggunakan analisis korelasi spasial. Homogenitas suatu data dapat diketahui dari *first order properties* sedangkan pola persebaran data dapat diketahui dari *second order properties*.

1). *Intensitas*

Uji *Chi-Squared* dilakukan untuk menguji apakah data pengamatan yang digunakan dalam penelitian mengikuti pola yang homogen atau tidak. Sebelum melakukan pengujian homogenitas dari data maka *observation window* yang ada dibagi menjadi *quadrat count* dimana  $n_1, n_2, \dots, n_m$  merupakan jumlah poin disetiap kotak bagian. Uji yang digunakan ialah uji *Chi-Squared* dengan hipotesis pengujian sebagai berikut.

$$H_0 : \rho(\mathbf{u}) = \rho(\mathbf{v}); \mathbf{u}, \mathbf{v} \in W(\text{intensitas homogen})$$

$$H_1 : \rho(\mathbf{u}) \neq \rho(\mathbf{v}); \mathbf{u}, \mathbf{v} \in W(\text{intensitas tidak homogen})$$

Statistik uji yang digunakan dapat ditulis seperti pada persamaan 5.

$$\chi^2_{hit} = \sum_{j=1}^m \frac{(n_j - e_j)^2}{e_j} = \sum_{j=1}^m \frac{(n_j - n/m)^2}{n/m} \tag{5}$$

dengan,

$n_j$  : banyaknya *point* di *quadrat count* ke- $j$

$e_j$  : ekspektasi banyaknya *point* di *quadrat count* ke- $j$

$m$  : jumlah kotak bagian/ *quadrature*

Hasil pengujian akan menolak hipotesis nol jika  $\chi^2_{hit} > \chi^2_{(\alpha, df)}$  dengan  $df=m-1$  atau *P-value* <  $\alpha$  [9].

2). *K-Function*

Pada analisis *Spatial Point Process* teknik yang paling populer untuk menganalisis korelasi spasial adalah *K-Function* yang diusulkan oleh Ripley [11]. Rumus *K-Function* dengan intensitas inhomogen dapat ditulis seperti pada persamaan 6.

$$\hat{K}_{m \text{ hom}}(r) = \frac{1}{D^p |W|} \sum_{i=1}^n \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \mathbf{I} \left\{ \frac{\| \mathbf{u}_i - \mathbf{u}_j \|}{\hat{\rho}(\mathbf{u}_i) \hat{\rho}(\mathbf{u}_j)} \right\} h_{ij}(\mathbf{u}_i; \mathbf{u}_j; r) \tag{6}$$

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

Keterangan :

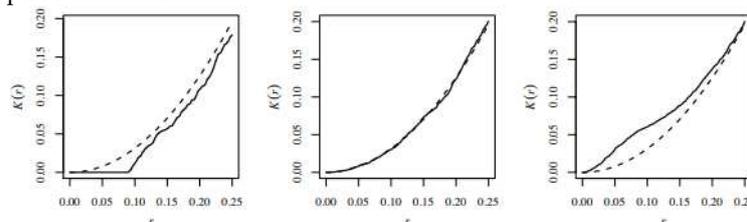
$h_{ij}(\mathbf{u}_i; \mathbf{u}_j; r)$  : bobot *edge correction*

$|W|$  : Luas area *observation window*

$\hat{\rho}(\mathbf{u}_i)$  : Nilai estimasi dari  $\rho(\mathbf{u}_i)$

$\hat{\rho}(\mathbf{u}_j)$  : Nilai estimasi dari  $\rho(\mathbf{u}_j)$

Berdasarkan hasil *K-Function*  $\hat{K}(r)$  yang telah dihitung dengan menggunakan persamaan 6, maka dapat dilakukan visualisasi terhadap *K-Function* empiris  $\hat{K}(r)$  bersama dengan *K-Function* teoritis dari *poisson process*  $K_{\text{poi}}(r) = \pi r^2$ , sehingga didapatkan plot seperti pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *K-Function Plot Regular* (Kiri), *Independent* (Tengah), dan *Cluster* (Kanan)

Ilustrasi pada Gambar 2 menggambarkan plot antara *K-Function* empiris  $\hat{K}(r)$  bersama dengan *K-Function* teoritis dari *poisson process*. Kurva dengan garis putus-putus merupakan plot dari *K-Function* teoritis dari *poisson process* sedangkan *K-Function* empiris dilambangkan dengan *solid line*. Ada tiga tipe plot yang terbentuk, dimana pada kondisi pertama garis *K-Function* empiris berada dibawah garis *K-Function* teoritis  $\hat{K}(r) < K_{\text{poi}}(r)$ . Kondisi tersebut menunjukkan bahwa jenis titik dalam pola ini memiliki tetangga (*neighbour*) lebih sedikit daripada yang diharapkan jika

pola tersebut benar-benar acak. Pola ini konsisten membentuk pola *regular*. Kondisi kedua dimana *K-Function* empiris bertumpukan dengan garis *K-Function* teoritis  $\hat{K}(r) = K_{\text{pois}}(r)$  yang artinya jenis titik dalam pola ini memiliki tetangga (*neighbour*) sesuai dengan yang diharapkan. Kondisi ketiga dimana *K-Function* empiris berada diatas garis *K-Function* teoritis  $\hat{K}(r) > K_{\text{pois}}(r)$  yang artinya jenis titik dalam pola ini memiliki tetangga (*neighbour*) lebih banyak daripada yang diharapkan. Kondisi ini konsisten membentuk pola kelompok (*cluster*) [9].

**C. Estimasi Parameter**

Penaksiran parameter dilakukan pada penelitian ini untuk menaksir nilai parameter  $\beta$  dan juga parameter model *cluster* yaitu  $\omega$  dan  $\kappa$ . Pada penelitian ini, penaksiran parameter  $\beta$  di *first order* menggunakan metode *Maximum Composite Likelihood* Orde 1. Sedangkan penaksiran parameter model *cluster* digunakan metode *Maximum Composite Likelihood* Orde 2.

1). *Maximum Composite Likelihood* Orde 1

Pada model *Inhomogeneous Poisson Process* dengan intensitas  $\rho(u; \beta)$  terdapat parameter yang dinotasikan dengan  $\beta$ . Fungsi *log-likelihood* yang digunakan untuk mengestimasi  $\beta$  ditunjukkan pada persamaan 7.

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^n \log \rho(\beta; u_i) - \int_w \rho(u; \beta) du \tag{7}$$

Berdasarkan persamaan 7 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  $\int_w \rho(u; \beta) du$  dapat didekati oleh  $\sum_{i=1}^{n+q} \rho(u_i; \beta) w_i$ , yang mana  $w_i$  merupakan bobot *quadrature* dan  $q$  merupakan banyaknya *dummy point* sehingga persamaan 7 dapat ditulis menjadi persamaan 8.

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^{n+q} (I_i \log \rho(\beta; u_i) - \rho(u_i; \beta) w_i) \tag{8}$$

Nilai  $I_i$  bernilai 1 jika  $u_i$  merupakan sebuah data poin, sedangkan untuk  $u_i$  yang merupakan *dummy point*  $I_i$  bernilai 0. Persamaan 8 juga dapat ditulis seperti pada persamaan 9 [12].

$$\log L(\beta) = \sum_{i=1}^{n+q} (y_i \log \rho(\beta; u_i) - \rho(u_i; \beta) w_i) \tag{9}$$

Dimana  $y_i = I_i / w_i$ , persamaan 9 ekuivalen dengan fungsi *likelihood Weighted Poisson* yang diberi bobot  $w_i$ . Estimasi  $\beta$  dapat dicari dengan menggunakan *Maximum Likelihood Estimation* (MLE).

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 10 dituliskan fungsi *Composite Likelihood* Orde 2 yang dibangun dari semua titik data  $u_i, u_j$  [9].

$$\log CL(\theta) = \sum_i \sum_{j \neq i} w(u_i, u_j) \left[ \log \rho^{(2)}(u_i, u_j; \theta) - \log \int_w \int_w w(u, u_j) \rho^{(2)}(u, u_j; \theta) du_i du_j \right] \tag{10}$$

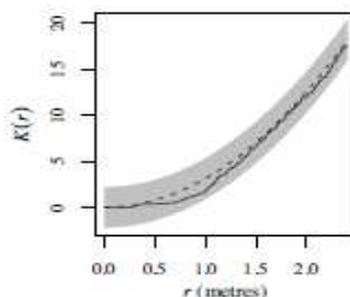
Nilai  $w$  pada persamaan 10 merupakan fungsi pembobot, untuk memudahkan perhitungan maka nilai  $w(u_i, u_j) = 1 \{ \|u_i - u_j\| \leq R \}$  dengan  $R > 0$  merupakan batas atas korelasi dari model. Fungsi *composite score* yang merupakan turunan pertama fungsi *likelihood* terhadap  $\theta$ , dapat dituliskan seperti pada persamaan 11 [13].

$$\frac{\partial}{\partial \theta} \log CL(\theta) = \sum_i \sum_{j \neq i} w(u_i, u_j) \frac{\kappa_2(u_i, u_j; \theta)}{\rho^{(2)}(u_i, u_j; \theta)} - \sum_i \sum_{j \neq i} w(u_i, u_j) \frac{(\kappa_2, w)}{(\rho^{(2)}, w)} \tag{11}$$

dimana  $\kappa_2(u_i, u_j; \theta) = \frac{\partial}{(\partial \theta) \rho^{(2)}(u_i, u_j; \theta)}$  dan  $(l, w) = \int_w \int_w w(u, u_j) l(u_i, u_j; \theta) du_i du_j$ .

**D. Kebaikan Model**

Kebaikan model pada penelitian ini dicek menggunakan plot *envelope K-Function*. Suatu model dikatakan baik untuk memodelkan data jika plot nilai *K-function* data asli berada pada interval *envelope K-Function*. Gambar 3 menunjukkan contoh visualisasi dari plot *envelope K-Function* data Swedishpines dimana area abu-abu merupakan area interval *envelope* [9].



**Gambar 3.** Plot *Envelope K-Function* Data Swedishpines

Selain menggunakan plot *envelope K-Function*, model terbaik dipilih berdasarkan nilai BIC terkecil. Kriteria BIC dapat didefinisikan seperti pada persamaan 10 [14].

$$BIC = -2\ell_n(\hat{\beta}) + p \log \{n(W)\} \tag{10}$$

Dimana  $\ell_n(\hat{\beta})$  merupakan *Maximum Composite Likelihood* orde 1 seperti pada persamaan 9,  $n(W)$  merupakan jumlah titik yang ada dalam sebuah *observation window*  $W$  dan  $p$  merupakan jumlah parameter yang ada dalam model.

**E. Kovariat Spasial**

1). *Kepadatan Lokasi Kerumunan*

Data lokasi kerumunan yang terdiri dari *longitude* dan *latitude* akan dikonversi menjadi sebuah variabel kovariat  $Z(u)$  yang bernilai kepadatan lokasi kerumunan ( pabrik, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah) di lokasi  $u$ . Kepadatan lokasi kerumunan ( pabrik, pusat perbelanjaan, dan tempat ibadah) di setiap wilayah  $u$  yang berada dalam *observation windows*  $W$  dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 13 [9].

$$Z(u) = \frac{1}{h(u)} \sum_{i=1}^n k(u-x_i) \tag{13}$$

dimana  $k$  merupakan *Gaussian Smoothing Kernel* dan

$$h(u) = \int_w k(u-v)dv$$

merupakan sebuah koreksi untuk bias karena adanya suatu *edge correction*. Suatu kernel  $k$  merupakan sebuah *probability density function*, yang dimana  $k(u) > 0$  untuk semua lokasi  $u$  dan  $\int_{\mathbb{R}^2} k(u)du = 1$ . Kepadatan yang didapatkan akan

divisualisasikan menjadi sebuah *pixel image*.

2). *Kepadatan Penduduk*

Kepadatan penduduk adalah perbandingan antara jumlah penduduk dengan luas wilayah yang dihuni [15]. 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. Kepadatan penduduk dapat dihitung menggunakan persamaan 14.

$$KP = \frac{\text{Jumlah penduduk suatu wilayah}}{\text{luas suatu wilayah}} \tag{14}$$

**III. METODOLOGI PENELITIAN**

**A. Sumber Data**

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data skunder berupa koordinat lokasi pasien terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya (Surabaya, Sidoarjo dan Gresik) yang didapat dari Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19 Pemerintah Provinsi Jawa Timur mulai tanggal 20 Maret hingga 9 Juli 2020. Sedangkan untuk variabel kovariat, koordinat lokasi kerumunan seperti pusat perbelanjaan dan tempat ibadah didapatkan dari *OpenStreetMap API* yang terdapat pada *package Geopy dan Geocoder* di *Software Python*.

Koordinat pabrik di Surabaya Raya didapatkan dengan bantuan fitur *Geocode by Awesome Table* pada *Google Sheets* dengan alamat pabrik didapatkan dari *website* Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (*kemenprin.go.id*). *Observation Window* pada penelitian ini berbentuk *polygon* yaitu wilayah Surabaya Raya. Variabel kepadatan penduduk diperoleh dari buku “Kabupaten/Kota dalam Angka 2020” yang dipublikasi oleh Badan Pusat Statistik masing-masing Kabupaten/Kota di Jawa Timur. Unit eksperimen yang digunakan adalah titik lokasi alamat pasien terkonfirmasi positif COVID-19 dan kepadatan masing-masing kovariat per satuan luas.

**B. Variabel Penelitian**

Variabel penelitian yang digunakan pada penelitian ini dijelaskan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Variabel Penelitian

Variabel	Keterangan
$x$	Koordinat alamat pasien terkonfirmasi positif COVID-19
$Z_1(u)$	Kepadatan lokasi pabrik di Surabaya Raya
$Z_2(u)$	Kepadatan lokasi pusat perbelanjaan di Surabaya Raya
$Z_3(u)$	Kepadatan lokasi tempat ibadah di Surabaya Raya
$Z_4(u)$	Kepadatan Penduduk per Kecamatan Surabaya Raya

**C. Langkah Analisis**

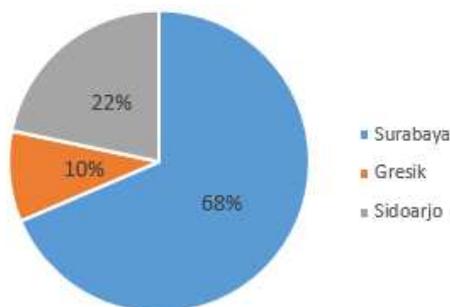
Adapun langkah-langkah analisis yang dilakukan pada penelitian adalah sebagai berikut.

1. Mengumpulkan data kasus positif COVID-19 dan data lokasi pusat perbelanjaan, pabrik dan tempat ibadah, dimana lokasi pusat perbelanjaan dan tempat ibadah didapatkan dari situs *OpenStreetMap* yang diambil dengan menggunakan bantuan *software python*. Sedangkan lokasi pabrik didapatkan dengan bantuan fitur *Geocode by Awesome* pada *software Google Sheets*. Data yang didapat nantinya berupa *longitude* dan *latitude* dari masing-masing lokasi tempat kerumunan dan lokasi pasien terkonfirmasi positif COVID-19 di Surabaya Raya.
2. Melakukan *preprocessing* data dengan tidak memasukkan data Pulau Bawean karena daerah tersebut tidak diikuti dalam analisis sesuai batasan masalah yang telah ditentukan.
3. Menentukan *observation window* yang akan diamati.
4. Mengubah koordinat *longitude* dan *latitude* lokasi positif COVID-19 serta lokasi kerumunan (pusat perbelanjaan, pabrik dan tempat ibadah) menjadi sebuah objek yang merepresentasikan sebuah *point pattern* dalam bidang dua dimensi menggunakan *function ppp* pada *package spatstat* di *software R*.
5. Menghitung kepadatan masing-masing lokasi kerumunan (pusat perbelanjaan, pabrik dan tempat ibadah).
6. Melakukan visualisasi kepadatan penduduk Surabaya Raya dengan *Choropleth Map*.
7. Mengubah *Choropleth Map* kepadatan penduduk Surabaya Raya yang telah terbentuk menjadi sebuah *pixel image* dengan menggunakan *function im* pada *software R*.
8. Melakukan analisis eksplorasi data dengan langkah-langkah sebagai berikut.
9. Melakukan identifikasi homogenitas/ stasioner data dengan menggunakan uji *Chi-Squared*.
10. Jika hasil uji *Chi-Squared* menyatakan intensitas *inhomogen*, maka dilakukan visualisasi dengan menggunakan grafik *inhomogen K-Function* untuk mengetahui korelasi spasial data.
11. Memodelkan kasus positif COVID-19 dengan kovariatnya menggunakan *Inhomogeneous Thomas Cluster Process*.
12. Estimasi parameter dilakukan dengan menggunakan *Maximum Composite Likelihood* Orde 1 dan *Maximum Composite Likelihood* Orde 2.
13. Melakukan pengecekan kebaikan model dengan menggunakan plot *envelope K-Function* dan BIC
14. Memprediksi kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya menggunakan model yang didapat dan memetakan hasil prediksi kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya
15. Menarik kesimpulan dan saran

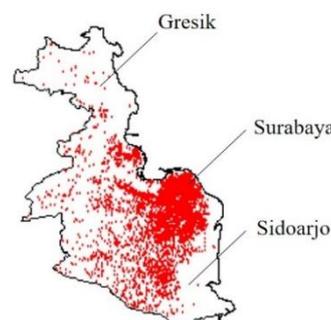
**IV. ANALISIS DAN PEMBAHASAN**

**A. Karakteristik COVID-19 dan Variabel Kovariat (Kepadatan Lokasi Kerumunan dan Kepadatan Penduduk di Surabaya Raya)**

Sejak tanggal 20 Maret hingga 9 Juli 2020 tercatat ada sebanyak 9433 kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya. Gambar 4 menunjukkan persentase jumlah kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya dan Gambar 5 menunjukkan Persebaran titik pasien positif COVID-19 yang terjadi di Surabaya Raya.



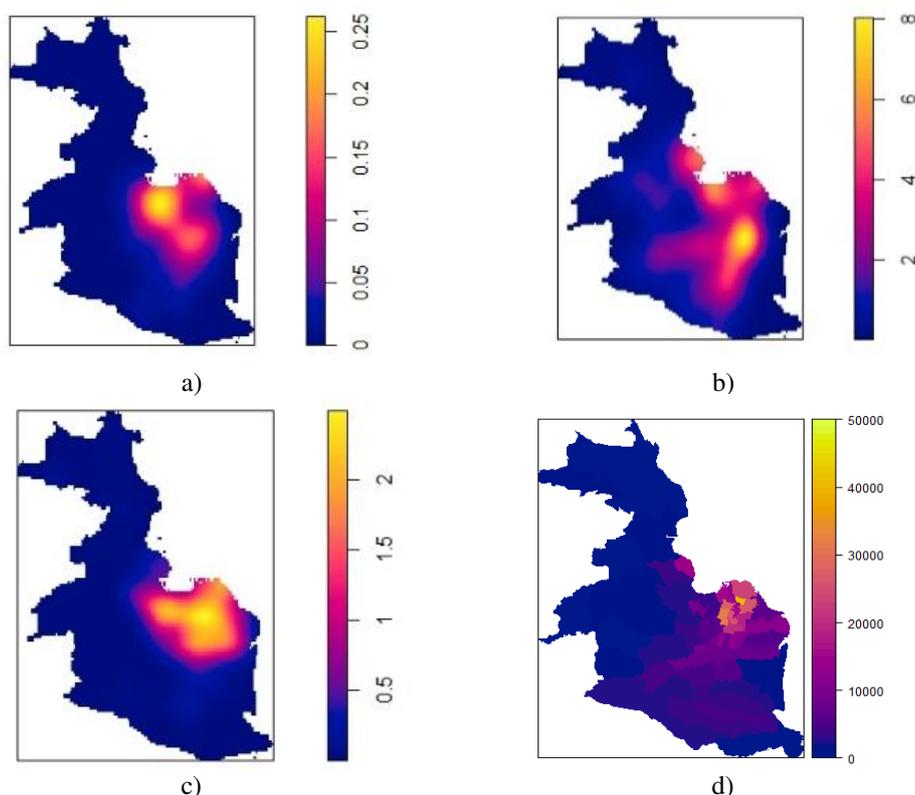
**Gambar 5.** Persentase Kasus Positif COVID-19 di Surabaya Raya Pada Tanggal 20 Maret-9 Juli



**Gambar 4.** Persebaran Titik Pasien COVID-19 di Surabaya Raya Pada Tanggal 20 Maret-9 Juli 2020

Berdasarkan Gambar 4, dapat dilihat bahwa pada tanggal 20 Maret 2020- 9 Juli 2020 Kota Surabaya menjadi episenter kasus positif COVID-19 jika dibandingkan dengan 2 daerah lainnya yaitu Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik. Hal tersebut juga dapat dilihat pada persentase kasus positif COVID-19 pada masing-masing kota/ kabupaten yang ada pada Gambar 4 dimana terdapat sebanyak 68 % kasus positif COVID-19 terjadi di Kota Surabaya, sedangkan Kabupaten Gresik terdapat 10% kasus dan Kabupaten Sidoarjo terdapat 22% kasus.

Beberapa faktor eksternal yang berpotensi menyebabkan tingginya angka positif COVID-19 di Surabaya Raya ini diantaranya kepadatan penduduk dan mobilitas penduduk itu sendiri. Mobilitas penduduk yang tinggi ini disebabkan oleh masih adanya masyarakat yang masih beraktivitas diluar seperti ditempat kerumunan untuk bekerja, beribadah ataupun berbelanja untuk kebutuhan sehari-hari. Kepadatan masing- masing kovariat lokasi kerumunan ditunjukkan oleh Gambar 6, dimana *density plot* menjelaskan bahwa jika warna semakin cerah (mendekati kekuningan) maka tempat kerumunan seperti pusat perbelanjaan, pabrik atau tempat ibadah yang ada ditempat itu semakin padat.



**Gambar 6.** Kepadatan a) Pusat Perbelanjaan, b) Pabrik, c) Tempat Ibadah d) Penduduk Per Kecamatan di Surabaya Raya

Gambar 6 menunjukkan bahwa pada kepadatan lokasi pusat perbelanjaan dan tempat ibadah, wilayah disekitar Kotas Surabaya memiliki intensitas yang cukup tinggi dibandingkan dengan Kabupaten Sidoarjo ataupun Kabupaten Gresik. Sedangkan kepadatan pabrik pada Gambar 6 menunjukkan bahwa intensitas paling tinggi ada di Wilayah Kabupaten Sidoarjo yang kemudian disusul dengan wilayah Kota Surabaya. Selain mobilitas masyarakat hal lain yang berpotensi dapat meninggikan angka positif COVID-19 adalah kepadatan penduduk. Gambar 6 bagian d) menunjukkan gambaran mengenai kepadatan penduduk per kecamatan di Surabaya Raya. Rata-rata kepadatan penduduk di Surabaya Raya adalah sebesar 7586,587 jiwa/ km<sup>2</sup>. Intensitas kepadatan penduduk di Surabaya Raya cenderung tinggi di wilayah Kota Surabaya jika dibandingkan dengan kecamatan di Kabupaten Sidoarjo dan Gresik.

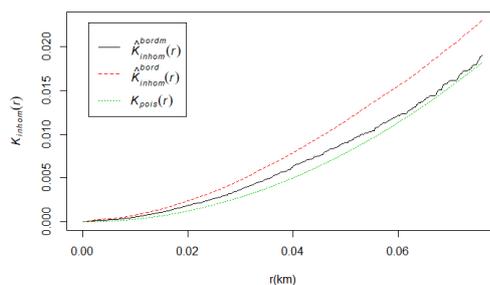
**B. Uji Chi-Squared**

Uji *Chi-Squared* dilakukan untuk mengetahui apakah data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya homogen atau tidak. Sebelum dilakukan pengujian, *observation window* terlebih dahulu dibagi menjadi *quadrat count*. Uji homogenitas dilakukan dengan menggunakan *chi-squared* dan didapatkan statistik ujinya sebesar 31.172 dengan derajat bebas sebesar 20 dan *P-Value* sebesar  $< 2,2 \times 10^{-6}$ . Pengujian dilakukan dengan menggunakan taraf signifikansi  $\alpha = 0,05$ , sehingga akan didapatkan keputusan Tolak  $H_0$ , karena nilai  $P-Value < \alpha = 0,05$ . Artinya data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya ini mengikuti pola yang tidak homogen atau stasioner, artinya dimungkinkan terdapat faktor-faktor yang secara signifikan mempengaruhi jumlah terjadinya kasus positif COVID-19 yang menyebabkan banyaknya kejadian kasus positif COVID-19 di tiap daerah Surabaya Raya berbeda.

**A. Analisis Korelasi Spasial**

Pengujian korelasi spasial diperlukan untuk mengetahui korelasi spasial dari data apakah termasuk *reguler*, independen atau membentuk klaster. Korelasi spasial dilakukan dengan melihat plot *Inhomogeneous K-function* karena hasil pengujian menggunakan uji *Chi-Squared* menyimpulkan bahwa data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya

mengikuti pola yang tidak homogen. Plot *inhomogeneous K-function* data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Plot *Inhomogeneous K-Function* Data Kasus Positif COVID-19 di Surabaya Raya

Gambar 7 menunjukkan bahwa dari pengujian secara visual yang dilakukan dengan menggunakan grafik *K-Function*, sebaran data yang digunakan dalam penelitian ini cenderung membentuk kelompok atau mengklaster. Hal ini ditunjukkan dengan garis merah putus-putus yang merupakan *K-function* dengan *edge correction* berada di atas garis hijau putus-putus yang merupakan *K-function* untuk *Poisson process*.

**C. Pemodelan Kasus Positif COVID-19 di Surabaya Raya**

Setelah melakukan eksplorasi data dengan uji *Chi-squared* dan grafik *K-Function*, langkah selanjutnya adalah melakukan pemodelan. Pada Tabel 3 disajikan nilai estimator untuk parameter  $\kappa, \beta$  dan  $\omega$  hasil pemodelan kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya menggunakan model *Inhomogeneous Thomas Cluster Process*.

Tabel 2. Nilai Estimasi dari  $\hat{\kappa}, \hat{\beta}$  dan  $\hat{\omega}$  Model dengan Variabel Kepadatan Pabrik, Pusat Perbelanjaan, Tempat Ibadah dan Penduduk Per Kecamatan di Surabaya Raya

Koefisien	Estimasi	Exp(Koef)	Z-value	Ztest
$\hat{\kappa}$	0,07614			
$\hat{\omega}$	1,21500			
$\hat{\beta}_0$	-0,16487	0,84800	-1,05418	
$\hat{\beta}_1$ (Kepadatan Pabrik)	0,30820	1,36097	2,99191	**
$\hat{\beta}_2$ (Kepadatan Pusat Perbelanjaan)	-3,24267	0,03905	-0,77253	
$\hat{\beta}_3$ (Kepadatan Tempat Ibadah)	1,12766	3,08842	2,98882	**
$\hat{\beta}_4$ (Kepadatan Penduduk)	0,00003	1,00003	1,88556	

\*\* Signifikan pada taraf signifikansi  $\alpha=0,01$

Hasil pemodelan kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya menggunakan model *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* dengan taraf signifikansi 5% menyimpulkan bahwa lokasi kerumunan yaitu pabrik dan tempat ibadah mempengaruhi risiko kasus COVID-19 di Surabaya Raya, sedangkan kepadatan pusat perbelanjaan dan kepadatan penduduk tidak signifikan mempengaruhi risiko terjadinya kasus COVID-19 di Surabaya Raya. Artinya, risiko kasus COVID-19 tiap daerah di Surabaya Raya berbeda-beda, tergantung pada kepadatan lokasi pabrik dan lokasi tempat ibadah. Karena variabel kepadatan lokasi pusat perbelanjaan dan kepadatan penduduk tidak signifikan, maka dilakukan pemodelan ulang tanpa memasukkan variabel tersebut dan diperoleh nilai estimator untuk parameter  $\kappa, \beta$  dan  $\omega$  yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai Estimasi dari  $\hat{\kappa}, \hat{\beta}$  dan  $\hat{\omega}$  Model dengan Variabel Kepadatan Pabrik dan Tempat Ibadah

Parameter	Estimasi	Exp (Koef)	Z-value	Ztest
$\hat{\kappa}$	0,07614			
$\hat{\omega}$	1,21500			
$\hat{\beta}_0$	-0,11237	0,89371	-0,6934	
$\hat{\beta}_1$ (Kepadatan Pabrik)	0,24529	1,27799	2,5574	*
$\hat{\beta}_3$ (Kepadatan Tempat Ibadah)	1,32389	3,75801	6,01843	***

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

\* Signifikan pada taraf signifikansi  $\alpha=0,05$

Berdasarkan hasil estimasi parameter pada Tabel 3, maka diperoleh model sebagai berikut.

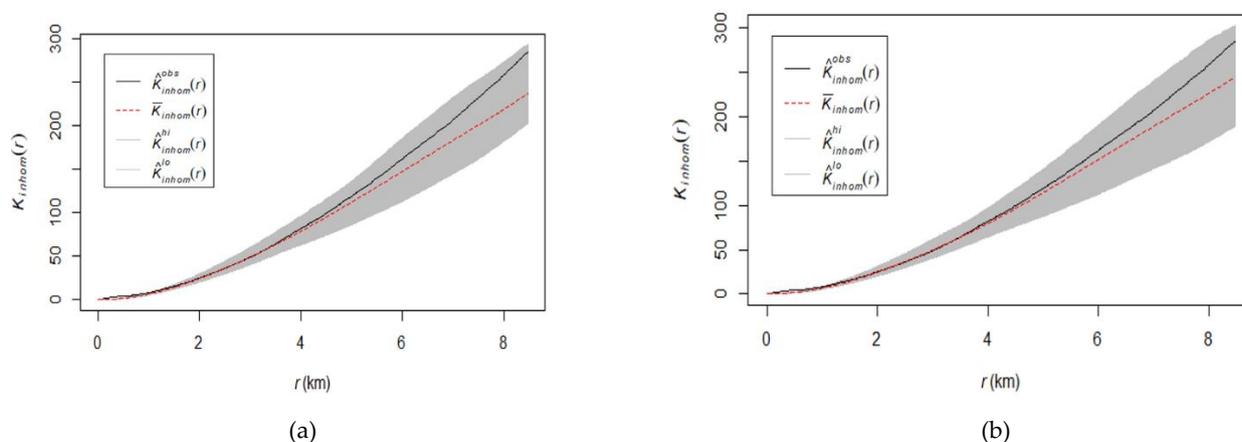
$$\hat{\rho}(\mathbf{u}) = 0,07614 \times \exp(-0,11237 + 0,24529Z_1(\mathbf{u}) + 1,32389Z_3(\mathbf{u}))$$

Persamaan model yang didapat menunjukkan bahwa risiko terjadinya COVID-19 di suatu lokasi dipengaruhi oleh kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah, yang artinya setiap penambahan 1 objek pabrik dalam 1 km<sup>2</sup> akan meningkatkan risiko COVID-19 sebanyak 2 kali lipat. Sedangkan jika dalam 1 km<sup>2</sup> terjadi penambahan sebanyak 1 objek tempat ibadah maka risiko meningkatnya kasus COVID-19 di Surabaya Raya sebesar 4 kali lipat jika dibandingkan dengan tidak ada penambahan tempat ibadah, sehingga diantara kedua variabel tersebut yang memberikan pengaruh besar terhadap risiko peningkatan kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya adalah kepadatan tempat ibadah.

Luas *observation window* atau area penelitian yang digunakan adalah sebesar 2118,34 km<sup>2</sup>. Berdasarkan Tabel 4.4 juga dapat diketahui nilai  $\hat{K}$  adalah sebesar 0,07614 dan  $\hat{\omega}$  sebesar 1,21500 yang artinya estimasi jumlah kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya (*early case*) adalah sebesar 161 kasus dengan standar deviasi kasus positif COVID-19 baru tersebar disekitarnya adalah sebesar 1,21 km. Nilai estimasi  $\kappa$  dan  $\omega$  dengan menggunakan variabel kepadatan pabrik dan tempat ibadah memiliki nilai yang sama dengan model menggunakan variabel kepadatan pabrik, pusat perbelanjaan, tempat ibadah dan juga kepadatan penduduk per kecamatan di Surabaya Raya. Sedangkan untuk nilai estimasi  $\beta$  pada variabel kepadatan pabrik dan tempat ibadah memiliki nilai yang tidak jauh berbeda jika dibandingkan dengan nilai estimasi  $\beta$  menggunakan variabel kepadatan pabrik, pusat perbelanjaan, tempat ibadah dan kepadatan penduduk.

**D. Pengecekan Keباikan Model**

Setelah didapatkan model kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya. Tahap selanjutnya adalah validasi model untuk mengetahui seberapa baik model dalam menggambarkan intensitas kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya. Validasi model pada penelitian ini menggunakan *envelope K-function* dan BIC. Hasil dari model *Inhomogeneous Thomas Process* akan dibandingkan dengan *plot K-function data poin*. *Plot envelope K-function* pada model dengan semua variabel dan model dengan variabel yang signifikan saja dapat dilihat pada Gambar 8.



**Gambar 8.** *Envelope K-Function Model Inhomogeneous Thomas Cluster Process* a) Variabel Kepadatan Pabrik, Pusat Perbelanjaan, Tempat Ibadah dan Kepadatan Penduduk b) Variabel Kepadatan Pabrik dan Tempat Ibadah

Gambar 8 menunjukkan *plot K-Function data COVID-19* berada pada interval *envelope K-Function*. Pada kedua plot tersebut garis lurus berada pada area yang diarsir, artinya *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* baik digunakan untuk memodelkan data COVID-19 di Surabaya Raya tanggal 20 Maret 2020- 9 Juli 2020. Perlu diperhatikan bahwa pada *envelope K-Function* model dengan variabel kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah lebih presisi jika dibandingkan model dengan semua variabel. Hal tersebut juga ditunjukkan berdasarkan nilai BIC pada kedua model tersebut yang disajikan pada Tabel 4.

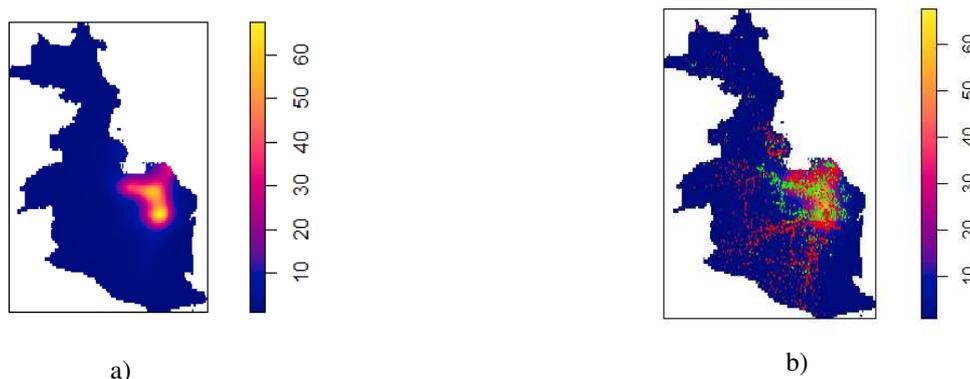
**Tabel 4.** Nilai BIC Model Kasus Positif COVID-19 dengan *Inhomogeneous Thomas Process*

Model	BIC
Semua Variabel	-97780523
Tanpa Variabel Kepadatan Pusat Perbelanjaan dan Kepadatan Penduduk	-102750988

Berdasarkan Tabel 5 ditunjukkan bahwa nilai BIC pada model tanpa variabel kepadatan pusat perbelanjaan dan kepadatan penduduk bernilai lebih kecil yang artinya model pada model tanpa variabel kepadatan pusat perbelanjaan dan kepadatan penduduk lebih baik daripada model dengan semua variabel seperti yang telah ditunjukkan pada *envelope K-Function* pada Gambar 8.

**E. Prediksi Risiko COVID-19 di Surabaya Raya**

Prediksi risiko positif COVID-19 di Surabaya Raya menggunakan model *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* ditunjukkan pada Gambar 9.



**Gambar 9.** a) Plot Hasil Prediksi Intesnistas COVID-19 di Surabaya Raya b) Plot Hasil Prediksi Intensitas COVID-19, dengan Titik Lokasi Pabrik dan Lokasi Tempat Ibadah di Surabaya Raya

Prediksi risiko positif COVID-19 di Surabaya Raya dijabarkan pada Gambar 9 a) merupakan prediksi dalam bentuk intensitas positif COVID-19 di Surabaya Raya berdasarkan variabel kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah. Terlihat bahwa intensitas positif COVID-19 di bagian Kota Surabaya cenderung tinggi jika dibandingkan dengan Kabupaten Sidoarjo ataupun Kabupaten Gresik, dimana pada daerah tersebut lokasi pabrik dan tempat ibadah cukup padat, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 9 b).

**V. KESIMPULAN DAN SARAN**

**A. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil analisis pada data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya pada 20 Maret 2020- 9 Juli 2020 didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Pada tanggal 20 Maret 2020- 9 Juli 2020 Kota Surabaya menjadi episenter kasus positif jika dibandingkan dengan 2 daerah lainnya yaitu Kabupaten Sidoarjo dan Kabupaten Gresik. Hal tersebut juga dapat dilihat pada persentase kasus positif COVID-19 pada masing-masing kota/ kabupaten, dimana terdapat sebanyak 68 % kasus positif COVID-19 terjadi di Kota Surabaya, sedangkan Kabupaten Gresik terdapat 10% kasus dan Kabupaten Sidoarjo terdapat 22% kasus. Data kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya ini mengikuti pola yang tidak homogen atau stasioner. Berdasarkan analisis korelasi spasial data kasus positif COVID-19 cenderung membentuk kelompok atau mengklaster.
2. Berdasarkan hasil estimasi parameter diperoleh model sebagai berikut.

$$\hat{\rho}(u) = 0,07614 \times \exp(-0,11237 + 0,24529Z_1(u) + 1,32389Z_3(u))$$

Persamaan model yang didapat menunjukkan bahwa risiko terjadinya COVID-19 di suatu lokasi dipengaruhi oleh kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah, dimana setiap penambahan 1 objek pabrik dalam 1 km<sup>2</sup> akan meningkatkan risiko COVID-19 sebanyak 2 kali lipat. Sedangkan jika dalam 1 km<sup>2</sup> terjadi penambahan sebanyak 1 objek tempat ibadah maka risiko meningkatnya kasus COVID-19 di Surabaya Raya sebesar 4 kali lipat jika dibandingkan dengan tidak ada penambahan tempat ibadah, sehingga diantara kedua variabel tersebut yang memberikan pengaruh besar terhadap risiko peningkatan kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya adalah kepadatan tempat ibadah.

Luas *observation window* atau area penelitian yang digunakan adalah sebesar 2118,34 km<sup>2</sup>. Berdasarkan Tabel 4.4 juga dapat diketahui nilai  $\hat{K}$  adalah sebesar 0,07614 dan  $\hat{\theta}$  sebesar 1,21500 yang artinya estimasi jumlah kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya (*early case*) adalah sebesar 161 kasus dengan standar deviasi kasus positif COVID-19 baru tersebar disekitarnya adalah sebesar 1,21 km.

3. Berdasarkan hasil prediksi model *Inhomogeneous Thomas Cluster Process* menggunakan variabel kepadatan pabrik dan kepadatan tempat ibadah didapatkan hasil bahwa intensitas positif COVID-19 di Surabaya Raya cenderung tinggi di bagian Kota Surabaya, dimana pada daerah tersebut lokasi pabrik dan tempat ibadah cukup padat, sehingga mobilitas masyarakat yang bekerja dipabrik dan beraktifitas di tempat ibadah berpengaruh signifikan terhadap peningkatan jumlah kasus positif COVID-19 di Surabaya Raya.

**B. Saran**

Berdasarkan hasil analisis serta kesimpulan yang diperoleh, terdapat saran untuk penelitian selanjutnya dapat melakukan penelitian dengan menggunakan variabel seperti stasiun, terminal dan kovariat lokasi kerumunan lainnya, ataupun menggunakan metode yang lain seperti *Inhomogeneous Mattern Cluster* sehingga didapatkan lebih banyak informasi mengenai risiko persebaran COVID-19 di Surabaya Raya.

Sedangkan untuk Pemerintah diharapkan memberikan perhatian khusus kepada daerah dengan risiko penambahan kasus COVID-19 yang tinggi seperti menerapkan strategi khusus untuk mengendalikan masyarakat yang masih beraktifitas di lokasi kerumunan dan tidak menerapkan protokol kesehatan.

**REFERENSI**

- [1] World Health Organization (WHO), "Novel Corona Virus," 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/indonesia/news/novel-coronavirus>. [Accessed 23 July 2020].
- [2] Gugus Tugas Percepatan Penanganan COVID-19, "Informasi Terbaru Seputar Penanganan COVID-19," 2020. [Online]. Available: <https://covid19.go.id>. [Accessed 23 July 2020].
- [3] Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Timur "Jumlah Penduduk Provinsi Jawa Timur," 2019. [Online]. Available: <https://jatim.bps.go.id>. [Accessed 13 11 2020].
- [4] P. Eliot, J. Wakefield, N. Best and D. Briggs, *Spatial epidemiology: methods and applications*, Oxford Univerisity Press, 2000.
- [5] C. Hasan, "Mobilitas Penduduk dan Efek Spasial Penyebaran COVID-19 di DKI Jakarta," in *Indonesian Enviromental Scientists Association (IESA)*, Jakarta, 2020.
- [6] F. Trisnisa and A. Choiruddin, "Analisis Risiko Gempabumi di Sulawesi-Maluku Menggunakan Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Processes," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2020.
- [7] R. Mertikasari and A. Choiruddin, "Pemodelan Risiko Bencana Gempa Bumi di Pulau Sumatera Menggunakan Model Inhomogeneous Neyman-Scott Cox Processes," *Jurnal Sains dan Seni ITS*, 2020.
- [8] J. Møller and R. Waagepetersen, "Modern Statistics for Spatial Point Processes," *Scandinavian Journal of Statistics*, vol. 4, no. 34, pp. 634-684, 2007.
- [9] A. Baddeley, E. Rubak and R. Turner, *Spatial point patterns: methodology and application with R*, CRC Press, 2015.
- [10] A. Choiruddin, J. Coeurjolly and F. Letué, "Convex and non-convex regularization methods for spatial point processes intensity estimation," *Electronic Journal of Statistics*, vol. 1, no. 12, pp. 1210-1255, 2018.
- [11] B. Ripley, "Modelling spatial patterns," *Journal of the Royal Statistical Society :Series B (Methodological)*, vol. 2, no. 39, pp. 172-192, 1977.
- [12] M. Berman and T. Turner, "Approximating point process likelihood with GLIM," *Journal od the Royal Statistical Society :Series C (Applied Statistics)*, vol. 1, no. 41, pp. 31-38, 1992.
- [13] F. Trisnisa, R. Mertikasari, R. Rabbanie, K. Sakdiyah and A. Choiruddin, "Model Inhomogeneous Spatial Cox Processes untuk Pemetaan Risiko Gempabumi di Pula Jawa," *Jurnal Inferensi*, vol. 2, no. 2, 2019.
- [14] A. Choiruddin, J.-F. Coeurjolly and . R. Waagepetersen, "Information criteria for inhomogeneous spatial," *arXiv preprint arXiv:2003.03880*, 2020. To appear in *Australian and New Zaeland Journal od Statistics*, 2021.
- [15] I. B. Mantra, *Demografi Umum*, 2 ed., Yogyakarta: Penerbit Pustaka, 2006.