

Pendugaan Koefisien Parameter Regresi Spasial Kekar (Kasus Jumlah Kunjungan Wisatawan Mancanegara Asal Eurasia di Indonesia Tahun 2015)

Resti Cahyati*, Anik Djuraidah*, Septian Rahardiantoro*

*Departemen Statistika Institut Pertanian Bogor

Abstrak—Model regresi spasial merupakan pemodelan yang digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara satu peubah dengan beberapa peubah lain dengan mempertimbangkan adanya efek spasial pada tiap wilayah. Salah satu penyebab ketidaktepatan model regresi spasial dalam memprediksi adalah adanya amatan pencilan. Keberadaan amatan pencilan mampu mempengaruhi nilai koefisien penduga parameter regresi spasial. Namun membuang amatan pencilan dalam analisis spasial, dapat mengubah komposisi efek spasial pada data. Data jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 memiliki keragaman yang besar diakibatkan oleh adanya amatan pencilan. Oleh karena itu, pada penelitian ini diperlukan suatu pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap amatan pencilan. Penerapan prinsip penduga S dilakukan dalam pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap amatan pencilan. Hasil pemodelan dengan menerapkan prinsip metode penduga S pada pendugaan parameter regresi spasial kekar mampu mengakomodasi keberadaan amatan pencilan pada model regresi spasial dengan cukup efektif. Hal ini ditunjukkan oleh terjadinya perubahan yang cukup besar pada nilai koefisien penduga parameter regresi spasial kekar yang mampu menurunkan nilai MAPE dan MAD yang dihasilkan oleh pemodelan regresi spasial kekar.

Kata kunci—pencilan, penduga S, regresi spasial kekar, wisatawan mancanegara

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Analisis regresi spasial merupakan suatu analisis statistik yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara variabel respon dan variabel penjelas ke dalam suatu bentuk model regresi spasial dengan mempertimbangkan adanya pengaruh spasial

pada tiap amatan. Salah satu tujuan dari analisis regresi spasial adalah untuk memprediksi nilai peubah respon berdasarkan beberapa peubah penjelas dan efek spasialnya. Pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang tepat penting dilakukan sebagai upaya meningkatkan kebaikan model dalam prediksi. Salah satu penyebab ketidaktepatan pada pendugaan koefisien parameter regresi spasial adalah adanya amatan pencilan. Pencilan merupakan nilai amatan yang terletak jauh dari pusat data dan mungkin berpengaruh terhadap koefisien regresi (Sembiring 1995). Namun demikian, tindakan membuang begitu saja suatu amatan pencilan bukanlah tindakan yang bijaksana karena ada kalanya amatan pencilan memberikan informasi yang bermakna. Terlebih dalam analisis spasial, menghilangkan begitu saja suatu amatan pencilan dapat mengubah komposisi efek spasial pada data. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap pencilan.

Penduga S merupakan suatu metode pendugaan koefisien parameter regresi yang digunakan pada data yang memuat pencilan (Chen 2002). Penduga S merupakan suatu metode yang dikenal mampu mengakomodasi data pencilan dengan proporsi mencapai 50% (Montgomery et al. 2006). Selain itu, Penduga S mampu mengakomodasi pencilan yang berasal dari peubah bebas maupun peubah tak bebas pada data. Pada penelitian ini, pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap pencilan dilakukan dengan mencoba menerapkan prinsip penduga S untuk menduga koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar ter-

hadap data pencilan. Hal tersebut dilakukan dengan harapan dapat memberikan alternatif yang lebih sederhana dalam melakukan pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap amatan pencilan.

Penelitian ini diaplikasikan pada data jumlah kunjungan wisatawan mancanegara (wisman) asal Eurasia di Indonesia tahun 2015. Hal tersebut didasari dengan penelitian yang dilakukan oleh Arifatin (2018) menggunakan analisis regresi data panel spasial. Penelitian tersebut menyatakan bahwa data jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia memiliki keragaman yang besar diakibatkan oleh adanya amatan pencilan. Wilayah Eurasia dipilih sebagai objek amatan karena Asia dan Eropa merupakan dua wilayah yang paling banyak kontribusinya dalam hal kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia pada tahun 2015, yakni mencapai 82.25% dari total kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia dengan komposisi 14.05% asal Eropa dan 68.2% asal Asia (Kemenpar 2016).

Beberapa penelitian terdahulu memberikan informasi mengenai peubah yang digunakan dalam penelitian ini. Penelitian tentang identifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi permintaan pariwisata Internasional pernah dilakukan oleh Surugiu et al. (2011) di Romania. Penelitian tersebut menyatakan bahwa perdagangan bilateral dan populasi berpengaruh signifikan terhadap permintaan pariwisata Romania. Kiang et al. (2015) dalam penelitiannya menyatakan bahwa nilai tukar memiliki pengaruh negatif terhadap permintaan pariwisata di Thailand. Selain itu, Jumlah Tenaga Kerja Indonesia (TKI) di berbagai negara di dunia juga diharapkan dapat menjadi duta Indonesia di negara bersangkutan dan meningkatkan kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia (BNP2TKI 2013).

B. Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji pengaruh pencilan terhadap koefisien parameter regresi spasial dan mengakomodasinya dengan menerapkan prinsip penduga S pada regresi kekar dalam penduga nilai koefisien parameter pada regresi spasial kekar pada data jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Model Regresi Spasial

Model regresi spasial adalah pemodelan yang mengevaluasi hubungan antara satu peubah dengan beberapa peubah lain dengan mempertimbangkan adanya efek spasial pada beberapa lokasi. Model umum regresi spasial dengan efek dependensi spasial, dapat ditulis sebagai berikut (Anselin (1998)):

$$\mathbf{y} = \rho \mathbf{W}\mathbf{y} + \mathbf{X}\boldsymbol{\beta} + \mathbf{u} \quad (1)$$

$$\mathbf{u} = \lambda \mathbf{W}\mathbf{u} + \boldsymbol{\varepsilon} \quad (2)$$

dengan asumsi $\boldsymbol{\varepsilon} \sim N(\mathbf{0}, \sigma^2 \mathbf{I})$, \mathbf{y} adalah vektor peubah respon, \mathbf{X} adalah matriks peubah penjelas, $\boldsymbol{\beta}$ adalah vektor koefisien parameter regresi, \mathbf{W} adalah matriks pembobot spasial, \mathbf{u} adalah vektor galat yang diasumsikan mengandung otokorelasi, $\boldsymbol{\varepsilon}$ adalah vektor galat yang bebas otokorelasi, ρ adalah koefisien otoregresi lag spasial, λ adalah koefisien otoregresi galat spasial, dan \mathbf{I} adalah matriks identitas.

- 1) Model umum spasial atau General Spatial Model (GSM) Model dapat dikatakan sebagai model umum spasial apabila pada persamaan model (12) dan (13) nilai $\rho \neq 0$ dan $\lambda \neq 0$.
- 2) Model Autoregresif Spasial atau *Spatial Autoregressive Model* (SAR) Model dapat dikatakan sebagai model otoregresif spasial apabila pada persamaan (12) dan (13) nilai $\rho \neq 0$ dan $\lambda = 0$. Hal ini menunjukkan bahwa model tersebut memiliki peubah respon yang berkorelasi spasial.
- 3) Model Galat Spasial atau Spatial Error Model (SEM) Model dapat dikatakan sebagai model galat spasial apabila pada persamaan (12) dan (13) nilai $\rho = 0$ dan $\lambda \neq 0$. Hal ini berarti bahwa model tersebut memiliki peubah galat yang berkorelasi spasial.

B. Penduga S

Penduga S pertama kali diperkenalkan oleh Rousseeuw dan Yohai (1984). Penduga ini disebut penduga S karena melakukan pendugaan berdasarkan skala, yaitu skala simpangan baku sisiaan. Penduga S didefinisikan sebagai:

$$\hat{\beta}_s = \underset{\beta}{\operatorname{argmin}} \hat{\sigma}_s(e_1, e_2, \dots, e_n) \quad (3)$$

dengan menentukan nilai penduga skala kekar ($\hat{\sigma}_s$) yang minimum dan memenuhi:

$$\min \sum_{i=1}^n \rho\left(\frac{y_i - \sum_{j=0}^k x_{ij}\beta_j}{\hat{\sigma}_s}\right) \quad (4)$$

dengan

$$\hat{\sigma}_s = \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^n w_i e_i^2} \quad (5)$$

ρ merupakan fungsi objektif yang digunakan untuk mencari fungsi pembobot pada regresi kekar, $K=0.199$, dan $w_i = w_\sigma(u_i) = \frac{\rho(u_i)}{(u_i)}$, dan dipilih estimasi awal:

$$\hat{\sigma}_s = \frac{\text{median}|e_i - \text{median}(e_i)|}{0.6745} \quad (6)$$

Fungsi objektif yang dapat digunakan antara adalah:

$$\rho(u_i) = \begin{cases} \frac{u_i^2}{2} - \frac{u_i^4}{2c^2} - \frac{u_i^6}{6c^4}, & |u_i| \leq c \\ \frac{c^2}{6}, & |u_i| > c \end{cases} \quad (7)$$

penyelesaian persamaan (16) adalah dengan mencari turunannya terhadap $\hat{\beta}$ sehingga diperoleh:

$$\sum_{i=1}^n \rho'\left(\frac{y_i - \sum_{j=0}^k x_{ij}\hat{\beta}_j}{\hat{\sigma}_s}\right) = 0 \quad (8)$$

dan

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}\psi\left(\frac{y_i - \sum_{j=0}^k x_{ij}\hat{\beta}_j}{\hat{\sigma}_s}\right) = 0 \quad (9)$$

dengan ψ disebut fungsi pengaruh yang merupakan turunan dari ρ . Sehingga bisa dituliskan $\rho' = \psi$. Fungsi pengaruh dari kedua pembobot tersebut di atas adalah:

$$\psi(u_i) = \rho'(u_i) = \begin{cases} u_i \left(1 - \left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right)^2, & |u_i| \leq c \\ 0, & |u_i| > c \end{cases} \quad (10)$$

lalu didapatkan fungsi pembobot *Iterative Reweighted Least Square* (IRLS), w_i , Tukeys Biweight:

$$w_i(u_i) = \begin{cases} \left[1 - \left(\frac{u_i}{c}\right)^2\right]^2, & |u_i| \leq c \\ 0, & |u_i| > c \end{cases} \quad (11)$$

dengan $w_i(u_i) = \frac{\psi(u_i)}{u_i}$ dan $u_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_s}$, $c=1.547$ merupakan konstanta yang menghasilkan efisiensi tinggi dan memberikan perlindungan terhadap pencilan.

Persamaan (12) dapat diselesaikan dengan *Weight Least Square* (WLS) dengan fungsi pembobot w_i secara iterasi yang disebut IRLS hingga didapatkan kekonvergenan $\hat{\beta}_{0,s}, \hat{\beta}_{1,s}, \dots, \hat{\beta}_{p,s}$ yang merupakan penduga S dengan p adalah banyaknya parameter yang diduga.

III. METODOLOGI

A. Data

Cakupan data dalam penelitian adalah data dari 36 negara asal Eurasia, yaitu Qatar, Laos, Irak, Iran, Kamboja, Pakistan, Kuwait, Yaman, Uni Emirat Arab, Bangladesh, Brunei Darussalam, Norwegia, Finlandia, Polandia, Portugal, Austria, Denmark, Swedia, Belgia, Burma, Vietnam, Swiss, Spanyol, Italia, Rusia, Hong Kong, Thailand, Arab Saudi, Belanda, Jerman, Prancis, India, Korea Selatan, Tiongkok, Malaysia, dan Singapura. Pemilihan negara didasarkan pada kontribusi jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia terbesar serta ketersediaan pada peubah penjelas dengan tetap memperhatikan keterwakilan antar kawasan Eropa dan Asia. Penelitian ini menggunakan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia asal 36 negara terpilih pada tahun 2015 sebagai peubah tak bebas dan lima peubah bebas yang diduga mempengaruhi besarnya kontribusi jumlah kunjungan wisatawan mancanegara dari 36 negara terpilih yang berkunjung ke Indonesia tahun 2015. Penjelasan peubah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel I
DAFTAR PEUBAH PENJELAS DAN DEFINISINYA

No	Peubah	Definisi operasional	Sumber
1	Y	Jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015	Kemenpar
2	X1	Jumlah Tenaga Kerja Indonesia (TKI) legal melalui BNP2TKI di negara asal wisatawan mancanegara	BNP2TKI
3	X2	Kepadatan penduduk negara asal wisatawan mancanegara	World Bank
4	X3	Total ekspor Indonesia ke negara asal wisatawan mancanegara	Kemendag
5	X4	Nilai tukar mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah	Bank Indonesia

B. Prosedur Analisis Data

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini dapat dijelaskan secara rinci sebagai berikut:

- 1) Melakukan eksplorasi data dengan analisis statistika deskriptif pada peubah tak bebas dan peubah bebas yang diduga mempengaruhinya serta membuat peta tematik peubah tak bebas.
- 2) Membuat matriks pembobot spasial (W) dengan fungsi pembobot queen contiguity.
- 3) Melakukan uji indeks moran untuk mendeteksi adanya asosiasi spasial pada peubah jumlah kunjungan wisatawan mancanegara ke Indonesia tahun 2015.

$H_0 : I = 0$ (Tidak terdapat otokorelasi spasial)

$H_1 : I \neq 0$ (Terdapat otokorelasi spasial)

Statistik uji Indeks Moran (Ward dan Gleditsch 2008):

$$I^* = \frac{I - E(I)}{\sqrt{Var(I)}} \quad (12)$$

dengan :

I adalah Indeks Moran, dengan I^* adalah nilai statistik uji dari Indeks Moran. $E(I)$ nilai harapan Indeks Moran, dan $Var(I)$ merupakan ragam dari Indeks Moran dan n banyaknya area. Statistik I^* mengikuti sebaran $N(0,1)$.

- 4) Menguji efek kehomogenan ragam spasial dengan Breusch-Pagan.

$H_0 : \alpha_1^2 = \alpha_2^2 = \dots = \alpha_n^2$

H_1 : minimal ada 1 $\alpha_i^2 \neq 0$

dengan

$f_i = \left(\frac{\hat{\epsilon}_i}{\hat{\sigma}} - 1\right)$, $\hat{\epsilon}_i = (y_i - \hat{\beta}'x_i)$, dan

$\hat{\sigma}^2 = \sum_{i=1}^n \hat{\epsilon}_i^2$

Statistik uji Breusch-Pagan (BP) (LeSage 2009):

$$BP = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^n x_i f_i \right) \left(\sum_{i=1}^n x_i x_i' \right)^{-1} \left(\sum_{i=1}^n x_i f_i \right) \quad (13)$$

Statistik BP mengikuti sebaran $\chi_{(p-1)}^2$ dengan p adalah banyaknya parameter regresi dan $\hat{\beta}$ merupakan vektor penduga persamaan regresi yang dihasilkan dengan metode *Ordinary Least Square* (OLS).

- 5) Menguji efek ketergantungan spasial dengan Pengganda *Lagrange*

- a) Uji pengaruh spasial pada lag
 $H_0 : \rho = 0$ (Tidak ada ketergantungan spasial lag)

$H_1 : \rho \neq 0$ (Ada ketergantungan spasial lag)

Statistik uji LM (LeSage 2009):

$$LM_{galat} = \frac{\left[\frac{\epsilon' W \epsilon}{\epsilon' \epsilon / n} \right]^2}{D} \quad (14)$$

dengan persamaan $D =$

$$\left[\frac{(WX\hat{\beta})' \left(I - X(X'X)^{-1} X' \right) (WX\hat{\beta})}{\hat{\sigma}^2} \right] + \text{tr} (W'W + WW)$$

Statistik LM_{lag} mengikuti sebaran $\chi_{(1)}^2$

- b) Uji pengaruh spasial pada galat
 $H_0 : \lambda = 0$ (Tidak ada ketergantungan spasial galat)

$H_1 : \lambda \neq 0$ (Ada ketergantungan spasial galat)

Statistik uji LM (LeSage 2009):

$$LM_{galat} = \frac{\left[\frac{\epsilon' W \epsilon}{\epsilon' \epsilon / n} \right]^2}{\text{tr} (W^2 + W'W)} \quad (15)$$

Statistik LM_{galat} mengikuti sebaran $\chi_{(1)}^2$

- c) Uji pengaruh spasial gabungan

$H_0 : \rho$ dan atau $\lambda = 0$

$H_1 : \rho$ dan atau $\lambda \neq 0$

Statistik uji (LeSage 2009):

$$LM_{gab} = E^{-1} [R_y^2 T - 2R_y R_\epsilon T + (D + T)] \quad (16)$$

dengan

$$R_y = \epsilon' W y / \sigma^2 \quad (17)$$

$$R_\epsilon = \epsilon' W \epsilon / \sigma^2 \quad (18)$$

$$M = I - X (X' X)^{-1} X' \quad (19)$$

$$D = \sigma^{-2} (WXB)' M (WXB) \quad (20)$$

$$E = (D + T) T - T^2 \quad (21)$$

$$T = \text{tr} (W_2 + W'W) \quad (22)$$

Statistik LM_{gab} mengikuti sebaran $\chi_{(1)}^2$

- 6) Melakukan pemodelan regresi spasial yang sesuai dengan hasil uji Indeks Moran, Breusch-Pagan, dan Lagrange Multiplier (LM).
- 7) Menghitung nilai kebaikan model dalam memprediksi berdasarkan nilai AIC, MAD, MAPE, dan RMSE.
- 8) Mendeteksi adanya pencilaan sisaan model regresi spasial dengan boxplot.
- 9) Menguji asumsi kenormalan sisaan model regresi spasial dengan uji Kolmogorov-Smirnov.
- 10) Melakukan pemodelan regresi spasial kekar dengan menerapkan prinsip penduga S pada regresi kekar dalam menduga nilai koefisien parameter pada regresi spasial kekar.
 - a) Menentukan nilai $\hat{\beta}$ awal sebagai inisiasi berdasarkan hasil penduga parameter model regresi spasial terbentuk.
 - b) Menghitung nilai sisaan awal (e_i)
 - c) Menghitung standar deviasi sisaan

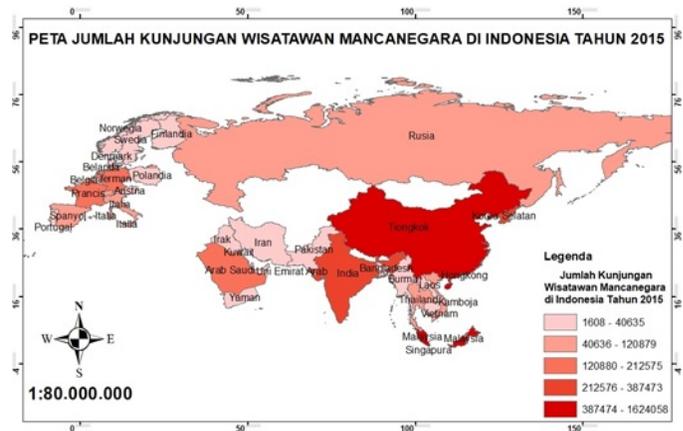
$$\hat{\sigma}_s \begin{cases} \frac{\text{median}|e_i - \text{median}(e_i)|}{0.6745}, \text{iterasi} = 1 \\ \sqrt{\frac{1}{nK} \sum_{i=1}^n w_i e_i^2}, \text{iterasi} > 1 \end{cases} \quad (23)$$
 - d) Menghitung nilai $u_i = \frac{e_i}{\hat{\sigma}_s}$
 - e) Menghitung nilai pembobot

$$w_i(u_i) = \begin{cases} \left[\left(1 - \left(\frac{u_i}{1.547} \right)^2 \right) \right]^2, & |u_i| \leq 1.547 \\ 0, & |u_i| > 1.547 \end{cases} \quad (24)$$
 - f) Menentukan nilai $\hat{\beta}_s$ dengan metode *Weight Least Square* (WLS)
 - g) Mengulangi langkah (ii)-(v) hingga diperoleh nilai $\hat{\beta}_s$ yang konvergen
- 11) Menghitung nilai kebaikan model regresi spasial kekar dalam memprediksi berdasarkan nilai MAD, MAPE, dan RMSE.
- 12) Melakukan interpretasi hasil pemodelan regresi spasial dan regresi spasial kekar.
- 13) Menarik kesimpulan.

IV. HASIL PEMBAHASAN

A. Eksplorasi Data

Eksplorasi data dilakukan untuk melihat karakteristik umum mengenai data yang digunakan dengan



Gambar 1. Peta tematik penyebaran jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 berdasarkan negara asal wisatawan

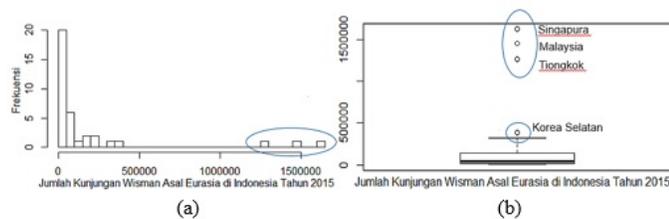
statistika deskriptif, melihat ada atau tidaknya multikolinearitas pada peubah penjelas, dan melihat efek dan pengaruh spasial pada data.

Penyebaran jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia untuk tiap negara asal disajikan melalui peta tematik pada Gambar 1. Peta tematik pada penelitian ini dibuat dengan mengelompokkan negara-negara yang menjadi wilayah amatan ke dalam 5 kelompok berdasarkan besarnya jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal negara tersebut di Indonesia. Wilayah dengan warna gelap menunjukkan negara dengan sumbangan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara yang tinggi. Semakin terang warna suatu wilayah pada peta menunjukkan sumbangan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara di Indonesia yang semakin rendah. Penyebaran kontribusi jumlah wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 cenderung mengelompok berdasarkan kedekatan wilayah negara asal wisatawan.

Tabel 2 menunjukkan daftar negara berdasarkan masing-masing interval sesuai dengan peta tematik pada Gambar 1. Melalui Tabel 2 dapat dilihat bahwa negara yang berada pada interval kontribusi jumlah kunjungan wisatawan mancanegara tertinggi pertama di Indonesia yaitu diantara 387474 hingga 1624058 adalah Tiongkok, Malaysia, dan Singapura. Ketiga negara tersebut terpaut cukup besar nilainya dari negara lainnya. Perbedaan nilai yang cukup besar tersebut mengindikasikan suatu amatan pencilaan seperti digambarkan dengan histogram dan

Tabel II
JUMLAH KUNJUNGAN WISMAN ASAL EURASIA DI INDONESIA
TAHUN 2015 BERDASARKAN NEGARA ASAL WISMAN DALAM
INTERVAL

Interval	Negara
1608-40635	Qatar, Laos, Irak, Iran, Kamboja, Pakistan, Kuwait, Yaman, Uni Emirat Arab, Burma, Brunei Darussalam, Norwegia, Finlandia, Polandia, Portugal, Austria, Denmark, Swedia, Belgia, dan Bangladesh
40636-120879	Vietnam, Swiss, Spanyol, Italia, Rusia, Hongkong, dan Thailand
120880-212575	Arab Saudi, Belanda, Jerman, dan Prancis
212576-387473	India dan Korea Selatan
387474-1624058	Tiongkok, Malaysia, dan Singapura

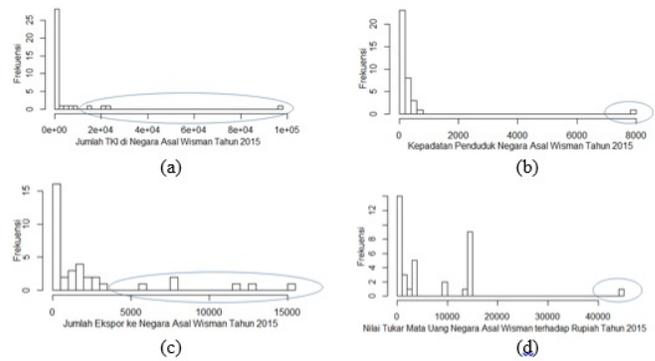


Gambar 2. Histogram (a) dan Boxplot (b) Jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 berdasarkan negara asal wisatawan

boxplot pada Gambar 2. Berdasarkan gambar histogram dan boxplot dari data, terlihat bahwa data menjulur kanan dan terdapat empat titik pencilan, yaitu negara Singapura, Malaysia, Tiongkok, dan Korea Selatan dengan nilai amatan yang sangat besar dibandingkan nilai amatan lainnya

Karakteristik umum masing-masing peubah penjelas tersebut digambarkan dengan histogram pada Gambar 3. Berdasarkan gambar tersebut terlihat sebaran data untuk ke empat peubah tersebut menjulur kanan dengan amatan yang terletak diujung-ujung histogram diindikasikan sebagai amatan pencilan. Keberadaan amatan-amatan yang diindikasikan sebagai pencilan pada peubah bebas dan peubah tak bebas dapat mengakibatkan ketidaktepatan pada pendugaan nilai intersep dan koefisien parameter regresi. Sehingga pendugaan nilai koefisien parameter regresi yang kekar terhadap data pencilan diperlukan dalam penelitian ini.

Pemeriksaan multikolinearitas peubah penjelas pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan korelasi Pearson. Besar korelasi antar peubah penjelas



Gambar 3. Boxplot (a) jumlah TKI di negara asal wisatawan mancanegara (X_1), (b) kepadatan penduduk negara asal wisatawan mancanegara (X_2), (c) jumlah nilai ekspor ke negara asal wisatawan mancanegara (X_3), dan (d) nilai tukar mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah (X_4)

yang digunakan pada model diberikan pada Tabel 3. Marcus et al. (2012) menyatakan bahwa dua peubah dikatakan memiliki hubungan yang kuat, jika memiliki nilai mutlak korelasi lebih dari atau sama dengan 0.75. Tabel 3 menunjukkan bahwa antar peubah bebas yang digunakan tidak memiliki nilai korelasi lebih dari 0.75, sehingga dapat dikatakan bahwa tidak terdapat hubungan yang kuat pada peubah-peubah bebas yang digunakan.

Tabel III
NILAI KORELASI PEARSON UNTUK TIAP PEUBAH BEBAS

	X1	X2	X3
X2	0.155		
X3	0.310	0.494	
X4	-0.064	0.077	-0.159

B. Uji Asosiasi Spasial dan Efek Spasial

Langkah yang harus dilakukan sebelum melakukan uji Indeks Moran adalah menentukan matriks pembobot spasial yang akan digunakan. Matriks pembobot spasial yang digunakan pada penelitian ini adalah matriks pembobot spasial berdasarkan konsep persinggungan queen contiguity yang disajikan pada Lampiran 1. Matriks pembobot spasial yang akan digunakan pada analisis spasial adalah matriks pembobot spasial yang sudah dilakukan normalisasi baris yang disajikan pada Lampiran 2. Nilai Indeks Moran yang dihasilkan adalah sebesar 0.388 dengan nilai-p

0.00046. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat asosiasi spasial pada jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia pada tahun 2015. Nilai Indeks Moran yang lebih besar dari nol menunjukkan bahwa terdapat hubungan ketergantungan spasial positif atau pola yang mengelompok dan memiliki kesamaan karakteristik pada amatan yang berdekatan.

Pengujian efek spasial terbagi menjadi dua, yaitu pengujian efek keragaman spasial dan pengujian efek ketergantungan spasial. Pengujian efek keragaman spasial dilakukan dengan uji BP. Nilai BP yang dihasilkan adalah sebesar 28.735 dengan nilai-p $8.8476 \cdot 10^{-6}$. Sedangkan, pengujian efek ketergantungan spasial dilakukan dengan uji Pengganda Lagrange. Pengujian efek ketergantungan spasial berguna dalam pemilihan model yang tepat, yaitu model dengan ketergantungan lag spasial (SAR), model dengan ketergantungan galat spasial (SEM), atau model dengan ketergantungan atas keduanya (GSM). Ringkasan hasil uji pengganda Lagrange dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel IV
HASIL UJI PENGGANDA LAGRANGE

Model	Statistik Uji	Nilai-p
SAR	4.542	0.033*
SEM	5.113	0.024*
GSM	6.878	0.032*

Keterangan: * nyata pada $\alpha = 5\%$ Berdasarkan nilai-p dari hasil yang diperoleh dari uji BP dan uji Pengganda Lagrange menyatakan bahwa efek keragaman spasial dan efek ketergantungan spasial dalam lag, ketergantungan spasial dalam galat, serta ketergantungan spasial dalam lag dan galat signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa pemodelan Geographically Weighted Regression untuk mengkomodasi efek keragaman spasial dan pemodelan regresi spasial dengan memasukkan ketergantungan spasial dalam lag, ketergantungan spasial dalam galat, serta ketergantungan spasial dalam lag dan galat secara bersamaan dapat dilakukan untuk pemodelan.

C. Pemodelan Regresi Spasial

Pengkomodasian efek keragaman spasial dengan pemodelan Geographically Weighted Regression tidak dijadikan fokus dalam penelitian ini, sehingga akan dilakukan pemodelan regresi spasial dengan memasukkan ketergantungan spasial dalam lag atau model SAR, ketergantungan spasial dalam galat atau model SEM, dan ketergantungan spasial dalam lag dan galat secara bersamaan atau model GSM.

Tabel V
KOEFSIEN PENDUGA PARAMETER REGRESI SPASIAL MODEL SAR, SEM, DAN GSM

Penduga	SAR	SEM	GSM
intersep	-21187.500	-45360.740	-31658.779
λ		-0.352	-0.221
ρ	-0.133		-0.079
X1	10.649	9.416	10.266
X2	106.346	95.030	100.743
X3	59.093	58.876	59.604
X4	0.863	1.633	1.117

Pemodelan regresi spasial SAR, SEM, dan GSM menghasilkan koefisien ρ dan koefisien λ pada model SAR dan SEM yang berpengaruh nyata terhadap model pada $\alpha = 5\%$, dengan nilainya berturut-turut -0.133 dan -0.352. Sedangkan model GSM yang memasukkan dua ketergantungan spasial secara bersamaan, menghasilkan koefisien ρ dan koefisien λ yang tidak berpengaruh nyata terhadap model pada $\alpha = 5\%$. Hasil pendugaan koefisien parameter regresi spasial untuk model SAR, SEM, dan GSM selanjutnya disajikan pada Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan bahwa ketiga model spasial SAR, SEM, dan GSM menghasilkan koefisien penduga parameter regresi spasial dengan tanda yang sama dan nilai yang besarnya tidak jauh berbeda satu sama lain. Koefisien penduga parameter regresi spasial yang bernilai positif untuk keseluruhan peubah penjelas menunjukkan bahwa keseluruhan peubah penjelas memiliki arah hubungan yang positif terhadap peubah respon untuk ketiga model SAR, SEM, dan GSM. Arah hubungan tersebut sesuai dengan arah hubungan yang disajikan dengan plot antara peubah respon dan peubah penjelas pada Lampiran 3, kecuali pada peubah nilai tukar

mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah (X_4). Pada peubah tersebut, arah hubungan hasil pendugaan koefisien parameter regresi spasial berbanding terbalik dengan plot antara peubah penjelas nilai tukar mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah (X_4) dan peubah respon jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 (Y) pada Lampiran 3. Perbedaan tersebut dapat dikarenakan oleh amatan pencilan pada peubah penjelas dan peubah respon yang mempengaruhi pendugaan koefisien parameter regresi spasial.

Kriteria yang digunakan sebagai ukuran kebaikan model dalam memprediksi adalah dengan membandingkan nilai Mean Absolute Deviation (MAD), Mean Absolute Percentage Error (MAPE), dan Root Mean Square Error (RMSE). Perbandingan ukuran kebaikan model dari ketiga model regresi spasial SAR, SEM, dan GSM tersebut dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel VI
UKURAN KEBAIKAN MODEL SAR, SEM, DAN GSM

	SAR	SEM	GSM
MAD	76242.16	76085.18	74456.02
MAPE	287.81	393.79	362.47
RMSE	113533.10	110788.20	110863.60

Model dikatakan lebih baik dibandingkan yang lainnya jika memiliki nilai AIC, MAD, MAPE, dan RMSE yang lebih kecil. Model SEM merupakan model regresi spasial terbaik dengan nilai AIC dan RMSE paling kecil dibandingkan model SAR dan GSM. Lalu, walaupun pada Tabel 6 nilai MAD pada model GSM lebih kecil dari model SAR dan model SEM, dan nilai RMSE model GSM lebih kecil dari model SAR, namun peubah ketergantungan lag spasial ρ dan peubah ketergantungan galat spasial λ pada model GSM tidak signifikan, sehingga model SEM dan model SAR lebih baik digunakan dalam memodelkan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015.

D. Deteksi Pencilan pada Sisaan Regresi Spasial

Deteksi pencilan pada sisaan regresi spasial model regresi spasial SAR dan model regresi spasial

SEM dilakukan dengan membuat boxplot yang disajikan pada Lampiran 4. Pada boxplot tersebut terdapat titik-titik yang menggambarkan terdapatnya amatan pencilan pada data sisaan untuk model regresi spasial SAR dan model regresi spasial SEM. Keberadaan data pencilan dapat mengakibatkan nilai koefisien parameter regresi terganggu. Sehingga untuk meningkatkan kebaikan model, perlu dilakukan pendugaan parameter regresi spasial yang kekar terhadap keberadaan amatan pencilan.

E. Pemodelan Regresi Spasial Kekar: Prinsip Pendugaan S

Rumus persamaan penduga koefisien parameter regresi spasial untuk model SAR dan SEM berturut-turut adalah:

$$\beta = (X' \theta X)^{-1} X' \theta (y - \rho W y) \quad (25)$$

$$\beta = (X' (I - \lambda W)' \theta (I - \lambda W) X)^{-1} X' (I - \lambda W)' \theta (I - \lambda W) y \quad (26)$$

Pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang bersifat kekar terhadap data pencilan didapatkan dengan penurunan menggunakan metode Maximum Likelihood Estimation (MLE). Pendugaan menggunakan metode MLE mensyaratkan suatu sebaran normal, sehingga untuk menjamin pendugaan parameter dengan metode MLE dapat digunakan, perlu dilakukan uji asumsi normalitas pada sisaan mode regresi spasial. Pengujian asumsi secara formal dengan uji Kolmogorov Smirnov menghasilkan nilai-p untuk model SAR dan SEM berturut-turut 0.0121 dan 0.0543. Hal ini menunjukkan bahwa bahwa sisaan yang dihasilkan oleh kedua model spasial tersebut telah menyebar normal pada $\alpha = 1\%$

Proses pemodelan regresi spasial kekar dimulai dengan menghitung nilai sisaan e_i model regresi spasial seperti pada Tabel 5. Nilai sisaan tersebut kemudian dibakukan u_i untuk selanjutnya dilakukan pembobotan $w(u_i)$ pada nilai sisaan tersebut. Proses dilanjutkan dengan melakukan pemodelan regresi spasial kekar terboboti dengan memasukan bobot $w(u_i)$ pada pendugaan parameter regresi spasial kekar. Pendugaan parameter regresi spasial kekar dilakukan menggunakan rumus persamaan (32) untuk model regresi spasial SAR kekar dan (45) untuk model regresi spasial

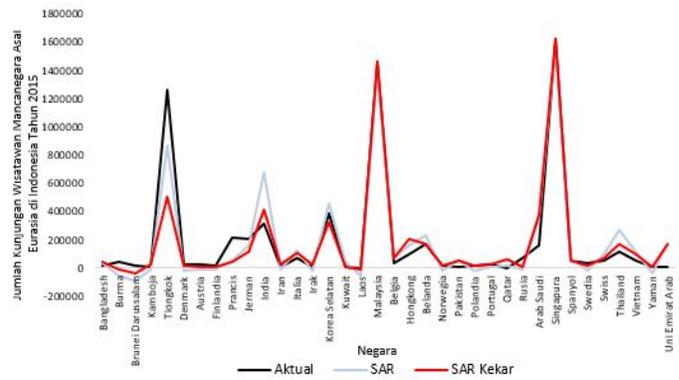
SEM kekar yang telah didapatkan sebelumnya. Setelah didapatkan koefisien penduga parameter regresi spasial kekar SAR dan SEM, dilanjutkan dengan menghitung sisaan model regresi spasial kekar SAR dan SEM, lalu dilanjutkan dengan melakukan iterasi hingga mendapat nilai penduga parameter yang konvergen sesuai dengan proses diatas. Kekonvergenan tercapai jika koefisien regresi spasial kekar yang dihasilkan sudah sama dengan koefisien regresi spasial kekar sebelumnya (Salibian dan Yohai 2006). Pada penelitian ini, kekonvergenan diperoleh melalui 17 proses iterasi dan 11 proses iterasi untuk memperoleh penduga koefisien parameter regresi spasial kekar pada model SAR dan model SEM berturut-turut dengan tingkat ketelitian yang digunakan 0.00001. Pada Tabel 8 disajikan nilai penduga koefisien parameter hasil pemodelan regresi spasial kekar serta perbandingannya dengan nilai penduga koefisien parameter regresi sebelum dilakukan pembobotan dengan penduga S. Pemodelan regresi spasial SAR kekar dan SEM

Tabel VII

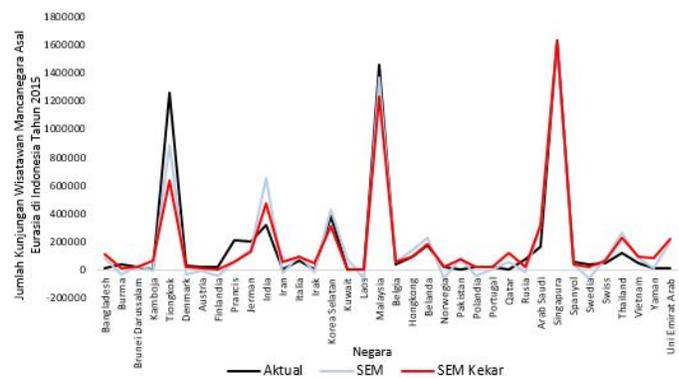
PERBANDINGAN PENDUGA KOEFISIEN PARAMETER REGRESI SPASIAL MODEL SAR, SAR KEKAR, SEM, DAN SEM KEKAR

Penduga	SAR	SAR Kekar	SEM	SEM Kekar
intersep	-21187.500	20603.831	-45360.740	22656.217
λ			-0.352	-0.352
ρ	-0.133	-0.13		
X1	10.649	12.936	9.416	9.091
X2	106.346	145.150	95.030	134.605
X3	59.093	31.904	58.876	37.195
X4	0.863	-0.897	1.633	-0.184

kekar menghasilkan perubahan yang cukup besar pada nilai koefisien penduga parameter regresi spasial dibandingkan dengan nilai koefisien penduga parameter regresi spasial tanpa dilakukan pembobotan. Perubahan nilai koefisien penduga parameter regresi spasial kekar untuk tiap iterasi digambarkan dengan plot pada Lampiran 6. Perubahan nilai intersep dan koefisien penduga parameter peubah penjelas nilai tukar mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah (X_4) cukup besar. Selain itu, perubahan tanda juga terjadi pada kedua nilai penduga tersebut. Pemodelan regresi spasial kekar untuk kedua model SAR kekar dan SEM kekar dianggap mampu



Gambar 4. Plot data aktual, hasil prediksi dengan model SAR, dan hasil prediksi dengan model SAR kekar jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015



Gambar 5. Plot data aktual, hasil prediksi dengan model SEM, dan hasil prediksi dengan model SEM kekar jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015

memberikan hasil pendugaan yang lebih baik dibandingkan penduga parameter regresi spasial SAR dan SEM tanpa dilakukan pembobotan. Hal tersebut ditunjukkan dengan tanda positif pada nilai penduga intersep dan arah hubungan negatif pada peubah penjelas nilai tukar mata uang negara asal wisatawan mancanegara terhadap rupiah (X_4) terhadap peubah respon jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015 (Y) yang lebih sesuai. Berdasarkan

Tabel VIII
UKURAN KEBAIKAN MODEL SAR, SEM, DAN GSM

	SAR	SAR Kekar	SEM	SEM Kekar
MAD	76242.16	63331.57	76085.18	71911.49
MAPE	287.81	261.25	393.79	438.30
RMSE	113533.10	142226.50	110788.20	132717.90

Tabel 9, pembobotan dengan penduga S mampu menurunkan nilai MAD dan MAPE pada model SAR, namun meningkatkan nilai RMSE pada model. Hal tersebut dikarenakan perhitungan RMSE yang menggunakan kuadrat nilai sisaan. Prinsip pendugaan kekar adalah memberikan bobot yang besar untuk amatan yang bukan pencilan, dan memberikan bobot yang semakin kecil mendekati nol untuk amatan yang pencilan. Sehingga, pada prosesnya pendugaan kekar ini sama halnya dengan semakin menjauhkan keberadaan pencilan, sehingga nilai sisaan untuk data pencilan akan semakin besar dan menghasilkan nilai RMSE yang semakin besar. Pada model SEM, pembobotan yang dilakukan mampu menurunkan nilai MAD pada model, namun tidak pada MAPE dan RMSE. Hal tersebut sama halnya seperti pada model SAR. Namun jika dilihat dari nilai dugaan peubah respon, melakukan pembobotan cukup memperbaiki hasil dugaan dengan menghasilkan nilai dugaan yang tepat pada beberapa amatan dan memperkecil selisih pendugaan untuk data lainnya, seperti pada Gambar 4 dan Gambar 5. Selain itu, pada Gambar 4 dan Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil prediksi nilai Y menggunakan model regresi spasial kekar dianggap lebih baik dengan menghasilkan nilai prediksi yang semakin dekat dengan nilai aktualnya dan mengurangi adanya hasil prediksi yang bernilai negatif. Selain itu, pada Gambar 4 dan Gambar 5, terdapat beberapa hasil prediksi regresi kekar yang semakin menjauh dari amatan jika dibandingkan dengan hasil regresi spasial. Hal tersebut dikarenakan amatan tersebut merupakan amatan pencilan yang diberi nilai pembobotan sangat kecil sehingga semakin menjauhkan dari nilai aktual.

Secara keseluruhan, penerapan penduga S pada regresi kekar dikatakan mampu mengakomodasi amatan pencilan pada regresi spasial. Model SAR Kekar secara keseluruhan memberikan nilai MAD dan MAPE yang paling kecil dibandingkan keseluruhan, sehingga model SAR kekar dianggap lebih baik digunakan dalam memodelkan jumlah kunjungan wisatawan mancanegara asal Eurasia di Indonesia tahun 2015.

V. SIMPULAN DAN SARAN

A. Simpulan

Amatan pencilan pada model regresi spasial memberi pengaruh buruk pada nilai koefisien penduga parameter regresi spasial. Hal ini ditunjukkan dengan nilai hasil pendugaan koefisien parameter regresi spasial yang tidak sesuai dengan plot arah hubungan antara peubah penjelas dan peubah respon yang seharusnya. Hasil pemodelan dengan menerapkan prinsip metode penduga S pada pendugaan parameter regresi spasial kekar mampu mengakomodasi keberadaan amatan pencilan pada model regresi spasial dengan cukup efektif. Hal ini ditunjukkan oleh terjadinya perbaikan pada nilai koefisien penduga parameter regresi spasial kekar dan mampu menurunkan nilai MAPE dan MAD yang dihasilkan oleh pemodelan regresi spasial kekar.

B. Saran

Peneliti lain yang tertarik dengan pengembangan metode regresi spasial kekar dapat mencoba menerapkan prinsip metode penduga lain dalam regresi kekar seperti penduga least trimmed of squares (LTS), penduga Least Median of Squares (LMS), penduga M, dan penduga method of moment (MM) serta menggunakan pemilihan fungsi pembobot yang lain untuk mengetahui perbedaan hasil pendugaan parameter yang diberikan dan efektivitasnya dalam mengakomodasi amatan pencilan pada pemodelan regresi spasial.

DAFTAR PUSTAKA

- Anselin, L. (1998). *Spatial Econometrics: Method and Models*. Dodrecht (NLD): Kluwer Academic Publishers.