

## Study of Small Area Estimation when Nighttime Lights as an Auxiliary Information is Measured with Error \*

Kajian Pendugaan Area Kecil dengan Kesalahan Pengukuran pada Peubah Penyerta *Nighttime Lights*

Ardi Surya<sup>1</sup>, Indahwati<sup>2‡</sup>, Erfiani<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Department of Statistics, IPB University, Indonesia  
<sup>‡</sup>corresponding author: ardisurya@apps.ipb.ac.id

Copyright © 2024 Ardi Surya, Indahwati, and Erfiani. This is an open-access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

### Abstract

The need for accelerated development requires rapid data collection. In today's increasingly advanced technological landscape, the utilization of big data emerges as a highly reliable solution for data collection. One exemplary form of big data is the daily capture of satellite imagery, particularly nighttime lights (NTL). NTL serves as a valuable product derived from satellite imagery and can be employed as an alternative dataset for analysis. This research utilizes Nighttime lights as an auxiliary variable to estimate the average household per capita expenditure in small areas, namely districts, employing the empirical best linear unbiased prediction Fay Herriot (EBLUP FH) method and small area estimation by incorporating measurement error effects on the covariate (SAE-ME). The study demonstrates that Nighttime lights can be employed as an alternative auxiliary variable for estimating the average per capita expenditure in districts, as evidenced by a lower RRMSE compared to direct estimation results. However, the measurement error effects on the NTL covariate should be considered by employing a model that takes into account measurement errors. The SAE-ME method provides estimated average expenditure values at the district level that closely align with BPS publications, with an average RRMSE per district of 7.5 percent.

**Keywords:** eblup-fh, measurement error, nighttime lights, saeme.

### 1. Pendahuluan

Kebutuhan akan data yang lebih cepat untuk melakukan percepatan pembangunan sangat dibutuhkan. Data dan pemetaan yang lebih detail, dari sisi cakupan wilayah seperti desa dan juga waktu (bulanan, atau triwulanan) semakin banyak diminati. Selama ini pemenuhan kebutuhan data untuk perencanaan pembangunan umumnya bersumber dari data survei, khususnya yang dilakukan oleh Badan Pusat Statistik

---

\* Received: Jan 2024; Reviewed: Jan 2024; Published: June 2024

(BPS). Memperoleh estimasi yang lebih spesifik diperlukan jumlah sampel yang besar sehingga dapat berdampak pada biaya dan waktu survei. Badan Pusat Statistik sebagai penyedia data paling terpercaya di Indonesia saat ini melakukan penghitungan kemiskinan berdasarkan hasil Survei sosial ekonomi nasional (Susenas) yang dilakukan dua kali dalam setahun. Menurut Budiati *et al.* (2021) pada bulan Maret susenas dilaksanakan pada 320.000 sampel rumah tangga seluruh Indonesia, dan dapat menghasilkan estimasi pada level provinsi dan kabupaten kota. Bulan September besar sampel hanya 75.000 rumah tangga sehingga hanya didapat tingkat kemiskinan pada level provinsi. Faktanya jika BPS ingin menduga sampai ke level yang lebih kecil tentu akan memakan biaya yang akan lebih besar lagi.

Metode alternatif dibutuhkan untuk dapat menjelaskan kondisi sosial ekonomi dan demografi sampai pada level terkecil. Pendugaan area kecil (*Small Area Estimation/SAE*) merupakan metode berbasis model yang sering digunakan untuk tujuan ini. Rao & Molina (2015) menyatakan bahwa SAE berkaitan dengan permasalahan menghasilkan dugaan yang reliabel dari parameter populasi beserta pengukuran ketidakpastiannya untuk sub populasi (area atau domain) dari suatu populasi sehingga dengan ukuran sampel kecil atau bahkan tidak ada sampel. Metode ini bekerja dengan meminjam kekuatan (*borrow strength*) antar area-area yang berhubungan melalui informasi tambahan untuk menghasilkan penduga tak langsung yang reliabel untuk area kecil (Kurnia, 2009).

Seiring berkembangnya teknologi saat ini, berbagai jenis data dapat digunakan untuk meningkatkan kualitas estimasi sampai pada level terendah. Pemanfaatan *big data* seperti citra satelit (*satellite imagery*) dapat digabungkan dengan berbagai sumber data lain untuk meningkatkan kualitas estimasi. Citra satelit merupakan gambar hasil rekaman lensa kamera atau sensor yang dipasang pada satelit di luar angkasa dengan ketinggian lebih dari 400 km dari permukaan bumi (Elvidge et al., 2017). Citra satelit diperoleh dari proses penginderaan jauh atau *remote sensing*. Sensor dari penginderaan jauh merekam energi yang dipantulkan atau dipancarkan oleh objek yang berada pada permukaan bumi.

*Nighttime lights* (NTL) merupakan salah satu produk pengindraan malam hari yang menggunakan citra satelit oleh Suomi National Polar-orbiting Partnership (Suomi-NPP). Satelit yang digunakan merupakan satelit cuaca yang dioperasikan oleh NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Elvidge et al., 2021). Suomi NPP diluncurkan pada tahun 2011 dengan membawa sensor terkenalnya Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS). VIIRS menangkap citra dari panjang gelombang tampak dan inframerah dengan total 22 kanal yang salah satunya dapat melihat NTL. Data NTL VIIRS dikumpulkan oleh Earth Observation Group yang menyediakan data harian, bulanan dan tahunan. Studi yang dilakukan oleh Yu et al., (2015) menunjukkan bahwa VIIRS Day-Night Band (DNB) yang dibawa oleh data Suomi-NPP dapat menjadi alat yang berguna untuk mengevaluasi kemiskinan di tingkat kabupaten di Cina. Di Indonesia, Karimah & Yudhistira (2020) menggunakan intensitas cahaya malam untuk melihat bukti empiris apakah pelabuhan lokal sebagai investasi infrastruktur publik skala kecil mempengaruhi kegiatan ekonomi di tingkat kecamatan.

Beberapa peneliti juga pernah membandingkan bagaimana kebaikan citra dari satelit VIIRS. Yu et al., (2015) membandingkan kemampuan satelit sebelumnya

DMSP-OLS dengan NPP-VIIRS. Studi ini mengungkapkan bahwa data NPP-VIIRS dapat menjadi alat yang lebih ampuh untuk memodelkan indikator sosial ekonomi seperti GDP. Dai et al., (2017) menunjukkan bahwa data citra cahaya malam NPP-VIIRS lebih baik daripada data DMSP-OLS untuk estimasi PDB, baik di tingkat provinsi maupun kota. Studi ini mengungkapkan bahwa keakuratan estimasi PDB berdasarkan data cahaya malam hari dipengaruhi oleh resolusi data dan skala spasial wilayah studi, serta tipe tutupan lahan dan struktur industri di wilayah studi. Menurut Ghosh et al., (2013), data yang diperoleh dari citra malam hari telah membantu mengembangkan pendekatan analisis kesejahteraan masyarakat secara konsisten dari level kabupaten/kota, provinsi sampai nasional. Penerapan citra satelit malam hari telah dilakukan dalam berbagai aspek, misalnya mengukur kegiatan ekonomi oleh Tian et al., (2013), Bustamante-Calabria et al., (2021), dan Beyer et al., (2021) ; kegiatan sosial seperti oleh Liu et al., (2020) dan demografi masyarakat oleh Feng et al., (2020) menggunakan data citra malam hari untuk mengkaji proses urbanisasi.

Pemanfaatan data citra cahaya malam sebagai peubah penyerta dalam metode SAE masih jarang dilakukan. Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kaban et al., (2024) yang membandingkan data citra cahaya malam dan PODES sebagai peubah penyerta dalam SAE menunjukkan bahwa citra cahaya malam lebih baik dalam menduga konsumsi perkapita di provinsi Jawa Barat. Penelitian tersebut mengasumsikan NTL tidak memiliki kesalahan pengukuran (measurement error) seperti pada data PODES. Padahal dalam pengukuran tingkat NTL setiap area tidak dapat terhindar dari kesalahan, misalnya keterbatasan potongan area yang berisi piksel NTL hasil tangkapan satelit. Akibatnya dalam proses perhitungan NTL pada setiap area akan terdapat kesalahan pengukuran. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini akan mengkaji model SAE dengan kesalahan pengukuran pada peubah penyerta NTL dalam menduga area kecil. Kajian akan diterapkan dalam menduga rata-rata pengeluaran perkapita rumah tangga level kecamatan di provinsi Jawa Tengah dengan menggunakan data NTL sebagai peubah penyerta menggunakan metode EBLUP-FH (Fay Harriot) dan metode SAE-ME.

## **2. Metodologi**

Pada tahapan ini akan diuraikan tentang proses persiapan data dan tahapan Penelitian yang dilakukan.

### **2.1 Bahan dan Data**

Dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan data empiris yang diperoleh dari beberapa sumber yaitu:

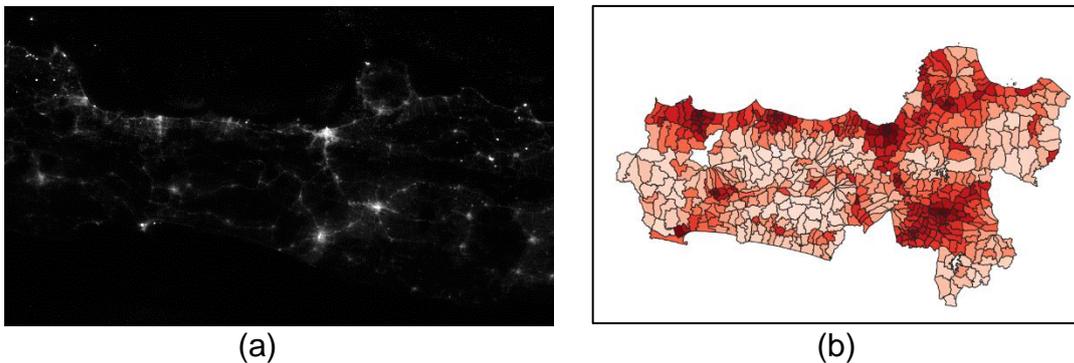
- 1) Data rata-rata pengeluaran perkapita hasil pengolahan data SUSENAS Maret tahun 2021 di Provinsi Jawa Tengah yang bersumber dari Badan Pusat statistik (BPS). Data level kabupaten/kota diperoleh dari hasil publikasi BPS, sedangkan data level kecamatan merupakan pendugaan langsung dari hasil pendataan susenas setiap kecamatan di seluruh provinsi Jawa Tengah, dalam hal ini dari total 576 kecamatan di Jawa Tengah terdapat 3 kecamatan yang tidak menjadi sampel.
- 2) Data citra satelit (Satellite Imagery) Nighttime lights tahun 2021 yang di peroleh

dari Earth Observation Group di Pusat Data Geofisika Nasional dari Administrasi Kelautan dan Atmosfer Nasional (NOAA). Data ini berbentuk raster yang memuat piksel-piksel hasil pencitraan melalui satelit yang dilakukan pada malam hari, data ini dapat di download pada link berikut: <https://eogdata.mines.edu/products/vnl/>.

## 2.2 Metode Penelitian

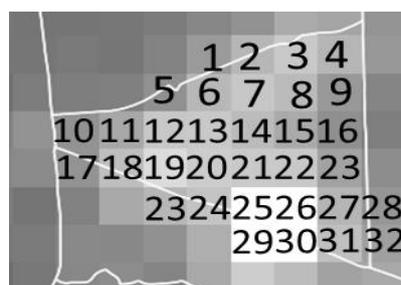
Terdapat beberapa tahapan analisis data yang akan dilakukan dalam Penelitian ini, sebagai berikut:

- 1) Mempersiapkan data peubah respon yaitu rata-rata pengeluaran perkapita perkecamatan.
- 2) Mempersiapkan data peubah penyerta seperti yang terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1: Perbandingan data Nighttime Light sebelum dan sesudah diolah  
(a) Nighttime Lights di Jawa Tengah (b) hasil penghitungan rata-rata Nighttime Lights perkecamatan di Provinsi Jawa Tengah.

- a. Menunduh data NTL seluruh dunia pada tahun 2021 berupa data raster seperti pada Gambar 1(a). Data NTL tahunan yang tersedia sudah melewati pemrosesan data seperti menghilangkan tutupan awan, menghilangkan cahaya yang bukan dari lampu dan lain-lain. Pemrosesan data ini dijelaskan dalam Elvidge *et al.*, (2017).
- b. Persiapkan data Shapefile (SHP) kecamatan di Jawa Tengah.
- c. Memotong wilayah tempat penelitian yaitu Jawa Tengah dengan menggunakan peta SHP dari hasil pemetaan oleh BPS.
- d. Menghitung rata-rata intensitas cahaya malam dari citra satelit yang diperoleh berdasarkan batas kecamatan.



Gambar 2: Potongan salah satu kecamatan yang berisi potongan-potongan pixel NTL.

Rataan NTL tiap kecamatan pada Gambar 2, dihitung dengan rumus:

$$\overline{NTL} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^j x_i \tag{1}$$

dengan  $x$  adalah nilai pixel dan  $n$  adalah jumlah potongan piksel dalam batas area.

- e. Menghitung kesalahan pengukuran intensitas cahaya malam. Kesalahan perhitungan nilai NTL tidak dapat dihindarkan karena keterbatasan satelit dalam melakukan penginderaan jauh, kesalahan perhitungan NTL dihitung menggunakan rata-ragam.
- 3) Explorasi data, meliputi eksplorasi sebaran peubah respon, serta pola hubungan peubah respon dan peubah penyerta.
- 4) Pemodelan dan Pendugaan Parameter
  - a. Memodelkan Pengeluaran Perkapita dengan Model EBLUP-FH dengan peubah penyerta NTL, dengan model SAE level area sebagai berikut (Rao dan Molina, 2015):

$$\hat{y}_i = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + v_i + e_i \tag{2}$$

dengan  $\hat{y}_i$  = pendugaan FH,  $\mathbf{x}_i$  = peubah penyerta NTL,  $\boldsymbol{\beta}$  = koefisien regresi,  $v_i$  = efek acak area,  $e_i$  = galat contoh.

- b. Memodelkan Pengeluaran perkapita dengan EBLUP-FH dengan kesalahan pengukuran (Metode Ybarra-Lohr) pada peubah NTL, dengan model SAE-ME sebagai berikut (Ybarra dan Lohr, 2008):

$$\hat{y}_i^{ME} = \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta} + r_i(\hat{X}_i, X_i) + e_i \tag{3}$$

dengan  $r_i(\hat{X}_i, X_i) = v_i + (X_i + \hat{X}_i)^T \boldsymbol{\beta}$ .

- 5) Perhitungan MSE dari model EBLUP-FH dan model SAE-ME
  - a. EBLUP-FH

$$MSE(\hat{\theta}_i^{EBLUP}) = MSE(\hat{y}_i^{EBLUP}) = \hat{\gamma}_i \bar{Y}_i + (1 - \hat{\gamma}_i)(1 - \hat{\gamma}_i)^2 \boldsymbol{\beta}^T \mathbf{C}_i \boldsymbol{\beta} \tag{4}$$

dengan  $\mathbf{C}_i = \text{MSE}(\mathbf{x}_i)$ .

- b. SAE-ME

$$MSE(\hat{y}_i^{ME}) = M_{1i} + M_{2i} \tag{5}$$

dengan  $M_{1i} = \gamma_i \cdot \bar{Y}_i$  dan  $M_{2i} = E(\hat{y}_i^{ME} - \tilde{y}_i^{ME})^2$ .

- 6) Mengevaluasi Hasil dugaan dengan RRMSE (Relative Root MSE) pada semua model pendugaan dengan memilih model terbaik berdasarkan nilai RRMSE.

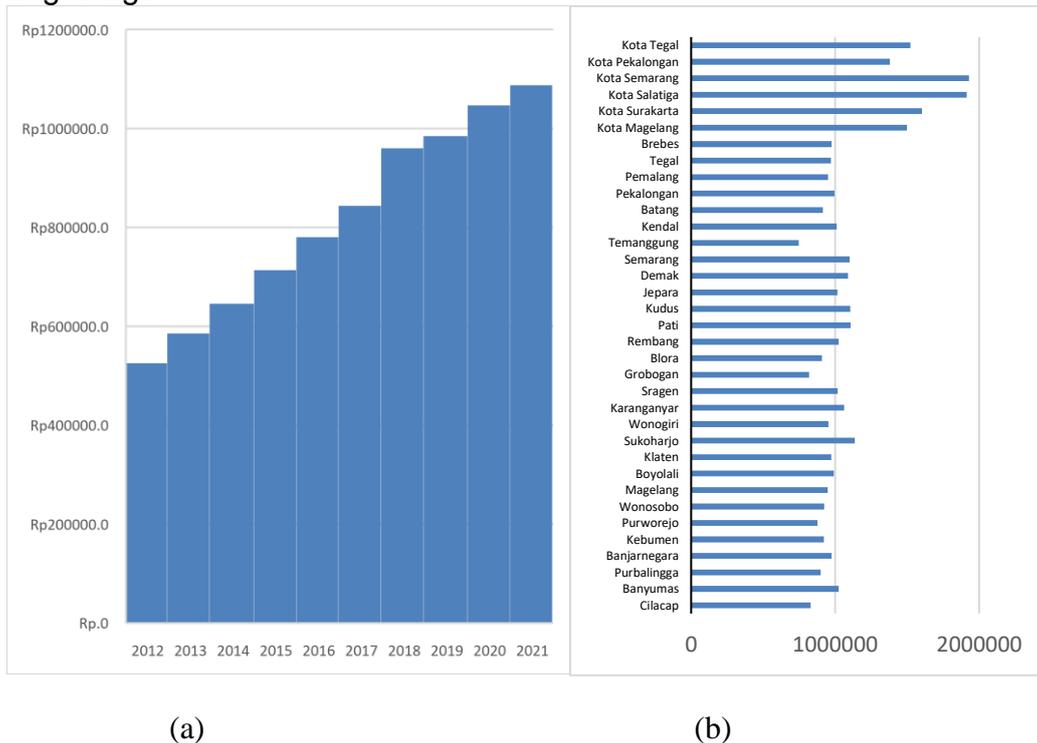
- a. RRMSE Pendugaan EBLUP
 
$$RRMSE = \frac{\sqrt{MSE(\hat{y}_i^{EBLUP})}}{\hat{y}_i^{EBLUP}} \tag{6}$$

- b. RRMSE Pendugaan SAE-ME
 
$$RRMSE = \frac{\sqrt{MSE(\hat{y}_i^{ME})}}{\hat{y}_i^{ME}} \tag{6}$$

- 7) Membandingkan hasil dugaan dengan nilai publikasi resmi BPS yang sudah dirilis.
- 8) Menduga kecamatan yang tidak menjadi sampel berdasarkan model yang terbaik.

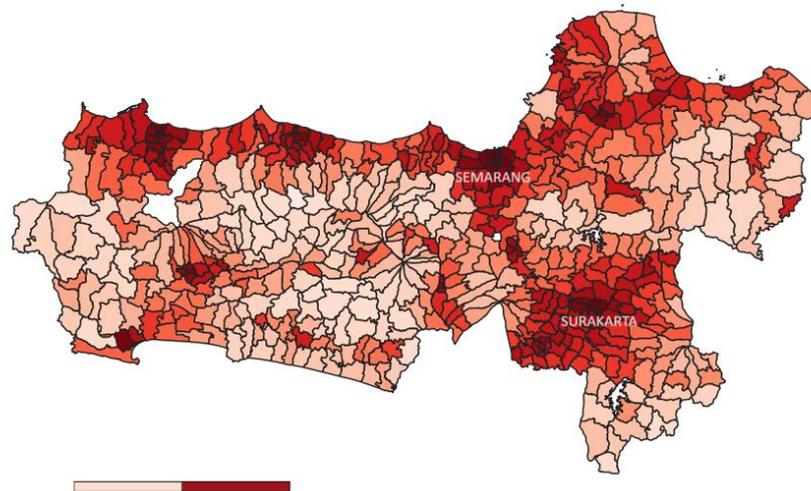
### 3. Hasil dan Pembahasan

Jawa Tengah merupakan provinsi dengan 6 Kota, 29 Kabupaten dan memiliki 576 kecamatan. Pada Gambar 3, terlihat bahwa pengeluaran perkapita Provinsi Jawa Tengah ternyata mengalami trend kenaikan selama satu dekade terakhir. Pada tahun 2021 Kabupaten atau Kota dengan pengeluaran perkapita tertinggi di Jawa Tengah berturut-turut adalah Kota Semarang, Kota Salatiga, Kota Surakarta, Kota Tegal, dan Kota Magelang.



Gambar 3. Rata-rata pengeluaran per kapita Provinsi Jawa Tengah (a) rata-rata pengeluaran perkapita Jawa Tengah 2012-2021. (b) rata-rata pengeluaran perkapita kab/kota di Jawa Tengah 2021

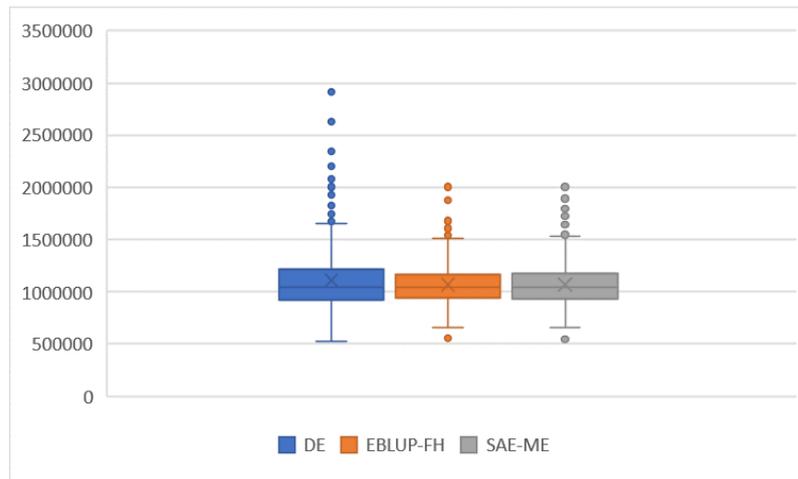
Rataan NTL Provinsi Jawa Tengah tahun 2021 seperti yang terlihat pada Gambar 4, memperlihatkan bahwa kabupaten atau kota dengan rata-rata NTL tertinggi adalah Kota Surakarta, Kota Tegal, Kota Semarang, Kota Pekalongan dan Kota Magelang. Bila dilihat dari kelima kota dengan pengeluaran perkapita tertinggi dan rata-rata NTL, menunjukkan terdapat pola hubungan yang positif antara kedua peubah ini. Ternyata jika dihitung nilai korelasinya diperoleh nilai 0.795 yang artinya terdapat hubungan positif yang kuat antara kedua peubah ini.



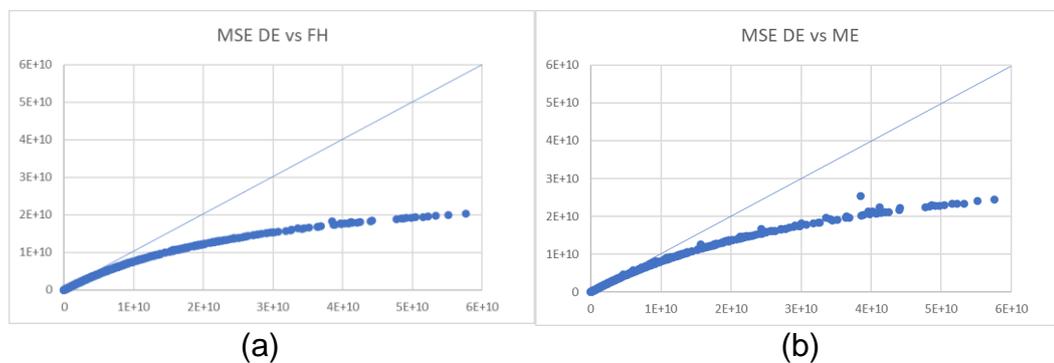
Gambar 4. Rataan Nighttime Lights di Provinsi Jawa Tengah 2021

Pendugaan tidak langsung (SAE) dilakukan dengan dua model yaitu: (1) model Fay-Harriot dengan peubah penyerta dianggap fit (tidak mengandung kesalahan pengukuran) dalam penelitian ini disebut EBLUP-FH, (2) model Fay-Harriot yang dikembangkan oleh Ybarra & Lohr, (2008) dengan memasukkan efek kesalahan pengukuran pada peubah penyertanya dalam penelitian ini disebut SAE-ME. Model pertama dihitung dengan aplikasi R menggunakan package 'sae' versi 1.3. dengan  $\hat{x}_i^T = (1, x_i)$  diperoleh hasil pendugaan parameter  $\hat{\beta}^T = (986,051, 26.669,3)$  keduanya signifikan dengan p-value kecil dari 0,05. Ragam pengaruh acaknya  $\hat{\sigma}_v^2$  sebesar 31.151.308.868. Metode kedua dihitung dengan aplikasi R menggunakan package 'saeME' versi 1.3.1. dengan  $\hat{x}_i^T = (1, x_i)$  diperoleh hasil pendugaan parameter  $\hat{\beta}^T = (987.807,73, 27.319,96)$  keduanya signifikan dengan p-value kecil dari 0,05. Ragam pengaruh acaknya  $\hat{\sigma}_v^2$  sebesar 40.817.765.339. Pada Gambar 5, terlihat bahwa kedua metode SAE sama-sama berhasil mengurangi pencilan yang banyak pada pendugaan langsung.

Pada Gambar 6 garis lurus diagonal menunjukkan hubungan MSE berdasarkan pendugaan langsung dan metode lain sama baiknya. Terlihat pada Gambar 6(a) dan 6(b) titik-titik yang terletak di bawah garis ini menunjukkan bahwa menggunakan pendugaan area kecil menghasilkan MSE yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan pendugaan langsung.



Gambar 5. Boxplot dugaan rata-rata pengeluaran per kapita kecamatan



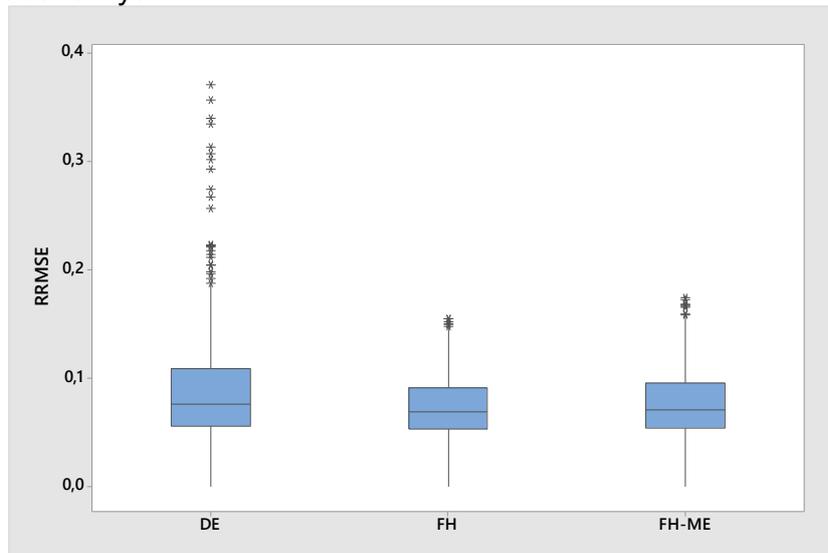
Gambar 6. Plot MSE hasil pendugaan. (a) Plot  $y$  (MSE-FH) dengan  $x$  (MSE-DE).  
(b) Plot  $y$  (MSE-ME) dengan  $x$  (MSE-DE)

Evaluasi metode pendugaan dilakukan berdasarkan nilai RRMSE serta selisih antara agregasi pengeluaran di tingkat kabupaten dengan publikasi BPS. Pendugaan area kecil tanpa mempertimbangkan kesalahan pengukuran pada peubah penyerta (EBLUP FH) maupun dengan mempertimbangkan kesalahan pengukuran (SAE-ME) mampu memperkecil RRMSE (Gambar 5). Berdasarkan boxplot dalam Gambar 5, terlihat banyak pencilan RRMSE dalam pendugaan langsung, dan beberapa kecamatan memiliki RRMSE tinggi di atas 25 persen.

Perbandingan nilai RRMSE metode pendugaan langsung, EBLUP FH dan SAE-ME dalam menduga rata-rata pengeluaran perkapita dapat dilihat pada Tabel 1. Terlihat bahwa pendugaan dengan nilai rata-rata RRMSE terkecil adalah metode EBLUP-FH sebesar 7,2% diikuti oleh metode SAE-ME sebesar 7,5% dan yang tertinggi adalah metode pendugaan langsung sebesar 8,8%.

Jika hanya melihat dari nilai RRMSEnya maka model terbaik untuk memprediksi rata-rata pengeluaran per kapita kecamatan di Jawa Timur adalah model EBLUP-FH walaupun perbedaannya sangat kecil. Tentu saja perlu diteliti lebih jauh apakah model ini cukup konsisten. Faktanya Nighttime Lights merupakan peubah penyerta yang digunakan mengandung kesalahan pengukuran, maka MSE EBLUP FH cenderung berbias ke bawah, karena tidak mempertimbangkan keragaman dari peubah penyerta. Ybarra-Lohr (2008) menyatakan bahwa jika kesalahan pengukuran dalam peubah penyerta ( $X$ ) diabaikan dalam pendugaan, dan penduga Fay–Herriot digunakan sambil berpura-pura bahwa  $X$  adalah kuantitas populasi sebenarnya, maka dugaan MSE akan

memberikan tampilan peningkatan presisi, tetapi MSE tersebut bukan merupakan penduga yang konsisten untuk MSE sebenarnya. Untuk itu dilakukan perbandingan lebih lanjut dengan memanfaatkan data hasil Publikasi resmi BPS yang dianggap sebagai data sebenarnya.



Gambar 7. Boxplot RRMSE dari metode pendugaan langsung (DE), EBLUP FH dan SAE-ME.

Tabel 1: Dugaan rata-rata pengeluaran per kapita dan RRMSE

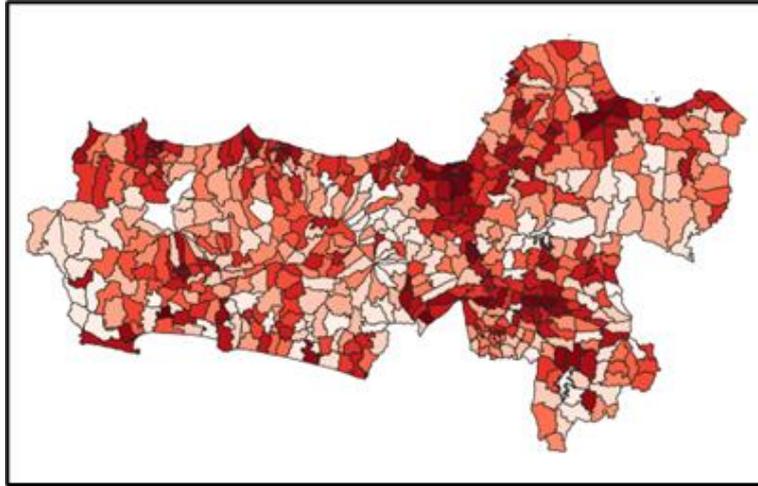
Metode Pendugaan	Rata-rata Pengeluaran per kapita (Rp)	Nilai Rataan RRMSE
Pendugaan Langsung	1.107.600	0,088
EBLUP FH	1.067.339	0,072
SAE-ME	1.071.454	0,075
Publikasi BPS	1.089.019	

Tabel 2: Selisih dugaan pengeluaran per kapita setiap metode pendugaan dengan Publikasi BPS

Metode Pendugaan	Selisih (Rp)
Pendugaan Langsung	18.581
EBLUP FH	21.680
SAE-ME	17.565

Pada Tabel 1 terlihat rata-rata dugaan rata-rata pengeluaran perkapita tertinggi dihasilkan dengan menggunakan metode pendugaan langsung sebesar 1.107.600. Rataan dugaan rata-rata pengeluaran perkapita terendah dihasilkan dengan menggunakan metode EBLUP FH sebesar 1.067.339. Berdasarkan Tabel 2 terlihat bahwa metode SAE-ME memiliki selisih yang paling kecil dalam menduga rata-rata pengeluaran per kapita di Jawa Tengah. Hal ini berarti nilainya paling mendekati

dengan kondisi yang sebenarnya. Berdasarkan pertimbangan ini, hasil pendugaan dengan metode SAE-ME dipilih untuk pendugaan pengeluaran per kapita kecamatan di provinsi Jawa Tengah. yang hasilnya disajikan dalam Gambar 6 (Warna lebih gelap menggambarkan rata-rata pengeluaran per kapita yang lebih tinggi).



Gambar 8. Hasil pendugaan rata-rata pengeluaran perkapita dengan metode SAE-ME

Berdasarkan model SAE-ME, diperoleh nilai dugaan pengeluaran per kapita untuk kecamatan yang tidak terambil sebagai sampel yaitu kecamatan Bumijawa (Rp. 1.022.724), kecamatan Bojong (Rp. 1.031.795), dan kecamatan Jatinegara (Rp. 1.017.584).

#### 4. Simpulan dan Saran

Pemanfaatan peubah penyerta *Nighttime Lights* (NTL) dalam menduga rata-rata pengeluaran perkapita level kecamatan di Provinsi Jawa Tengah sangat bisa diandalkan, hal ini ditunjukkan dengan RRMSE yang lebih kecil jika dibandingkan dengan hasil pendugaan langsung. Namun efek kesalahan pengukuran pada peubah NTL sebaiknya diperhatikan, dengan menggunakan model yang mempertimbangkan adanya kesalahan pengukuran. Metode SAE-ME memberikan nilai dugaan rata-rata pengeluaran level kabupaten yang paling mendekati publikasi BPS, dengan rata-rata RRMSE per kecamatan sebesar 7,5 persen.

Saran untuk Penelitian selanjutnya dapat menggunakan data *Nighttime Lights* pada analisis spasial serta time series. Data *Nighttime Lights* tersedia dalam periode harian, bulanan dan tahunan, tentu akan sangat menambah pengetahuan jika dapat menggali informasi dari efek spasial dan periode waktu.

#### Daftar Pustaka

- Beyer, R. C. M., Franco-Bedoya, S., & Galdo, V. (2021). Examining the economic impact of COVID-19 in India through daily electricity consumption and nighttime light intensity. *World Development*, 140: 105287.
- Budiati, I., Riyadi, Santoso, D. H., Yulianingsih, E., & Tusianti, E. (2021). *Indikator Kesejahteraan Rakyat 2021*. Jakarta: BPS RI.

- Bustamante-Calabria, M., Sánchez de Miguel, A., Martín-Ruiz, S., Ortiz, J.-L., Vílchez, J. M., Pelegrina, A., ... Gaston, K. J. (2021). Effects of the COVID-19 lockdown on urban light emissions: ground and satellite comparison. *Remote Sensing*, 13(2): 258.
- Dai, Z., Hu, Y., & Zhao, G. (2017). The suitability of different nighttime light data for GDP estimation at different spatial scales and regional levels. *Sustainability*, 9(2): 305.
- Elvidge, C. D., Baugh, K., Zhizhin, M., Hsu, F. C., & Ghosh, T. (2017). VIIRS nighttime lights. *International Journal of Remote Sensing*, 38(21): 5860–5879.
- Elvidge, C. D., Zhizhin, M., Ghosh, T., Hsu, F.-C., & Taneja, J. (2021). Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019. *Remote Sensing*, 13(5): 922.
- Feng, Z., Peng, J., & Wu, J. (2020). Using DMSP/OLS nighttime light data and K-means method to identify urban–rural fringe of megacities. *Habitat International*, 103: 102227.
- Ghosh, T., Anderson, S. J., Elvidge, C. D., & Sutton, P. C. (2013). Using nighttime satellite imagery as a proxy measure of human well-being. *Sustainability*, 5(12): 4988–5019.
- Kaban, P. A., Nasution, B. I., Caraka, R. E., & Kurniawan, R. (2024). Implementing night light data as auxiliary variable of small area estimation. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 53(1): 310–327.
- Karimah, I. D., & Yudhistira, M. H. (2020). Does small-scale port investment affect local economic activity? Evidence from small-port development in Indonesia. *Economics of Transportation*, 23: 100180.
- Kurnia, A. (2009). *Prediksi Terbaik Empirik untuk Model Transformasi Logaritma di dalam Pendugaan Area Kecil dengan Penerapan pada Data Susenas*.
- Liu, Q., Sha, D., Liu, W., Houser, P., Zhang, L., Hou, R., ... Hu, T. (2020). Spatiotemporal patterns of COVID-19 impact on human activities and environment in mainland China using nighttime light and air quality data. *Remote Sensing*, 12(10): 1576.
- Rao, J. N. K., & Molina, I. (2015). *Small area estimation*. John Wiley & Sons.
- Tian, J., Zhao, N., Samson, E. L., & Wang, S. (2013). Brightness of nighttime lights as a proxy for freight traffic: A case study of China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(1): 206–212.
- Yu, B., Shi, K., Hu, Y., Huang, C., Chen, Z., & Wu, J. (2015). Poverty evaluation using NPP-VIIRS nighttime light composite data at the county level in China. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(3): 1217–1229.