

APLIKASI MODEL *FUNCTIONAL ARMA PROCESS* TERHADAP DATA ARUS LALU LINTAS

Margaretha Ari Anggorowati¹, Anugerah Karta Monika²

Politeknik Statistika STIS¹²

E-mail: ¹ari@stis.ac.id

Abstrak

Model lalu lintas mikroskopik merupakan kombinasi model *Principal Component Analysis* (PCA) dengan *timeseries ARMA* (*Autoregressive Moving Average*). Pemodelan lalu lintas mikroskopik dapat digunakan dalam solusi permasalahan prediksi kemacetan lalu lintas di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan *functional ARMA* (p, q) *processes* dan model berbasis vektor pada *functional PCA* guna memprediksi kemacetan lalu lintas pada jalan tol. Data yang digunakan merupakan *high dimensional data* yang diambil dari *Road Traffic Microwave System* (RTMS) Jasa Marga pada ruas Jalan Tol Cikampek. Variabel yang digunakan untuk memprediksi kemacetan adalah kecepatan, arus, dan kepadatan dengan rentang waktu jam. Dari hasil *functional data analysis*, dilakukan pemodelan ARMA dengan hasil model terbaik adalah ARMA (1,1).

Kata kunci: *functional data analysis, functional ARMA process, traffic data analysis*

Abstract

The microscopic traffic model is a combination of the Principal Component Analysis (PCA) and timeseries ARMA (Autoregressive Moving Average) model. Microscopic traffic modeling can be used as the solution to the problem of predicting traffic congestion in Indonesia. This study aims to apply functional ARMA (p, q) processes and vector-based models to the functional PCA to predict traffic congestion on toll roads. The data used is high-dimensional data taken from Jasa Marga's Road Traffic Microwave System (RTMS) on the Cikampek Toll Road section. The variables used to predict congestion are velocity, flow, and density with a time span of hours. From the results of functional data analysis, ARMA modeling is performed with the best model results are ARMA (1.1).

Keywords: *functional data analysis, functional ARMA process, traffic data analysis*

PENDAHULUAN

Kemacetan menjadi masalah umum di beberapa negara dengan penduduk yang padat. Kemacetan dapat memberi dampak kerugian baik dari sisi waktu, pemborosan energi dan terjadinya polusi udara juga menimbulkan stres bagi pengguna jalan. Masalah kemacetan di Indonesia sudah menjadi permasalahan utama yang terus dicari solusi terbaiknya sampai saat ini. Penelitian masalah kemacetan menjadi penting untuk dilakukan di Indonesia karena Indonesia termasuk negara dengan penduduk yang besar dan tidak merata di seluruh wilayah. Hal ini mengakibatkan beban berat di wilayah/kota tertentu di Indonesia yang memiliki kepadatan penduduk yang tinggi. Beban berat yang ditanggung salah satunya adalah masalah kemacetan.

Permasalahan kemacetan bukan saja ketersediaan infrastruktur yang memadai tetapi juga karena pertumbuhan jumlah kendaraan yang berkembang sangat pesat. Beberapa kebijakan sudah diambil pemerintah seperti mengatur jadwal kendaraan yang melewati ruas-ruas jalan tertentu, terutama ruas jalan utama. Solusi-solusi tersebut cukup membantu, namun demikian, untuk beberapa ruas ke luar kota, kepadatan di waktu-waktu tertentu sangat membebani para pengguna jalan, bahkan pada beberapa kasus kepadatan lalu lintas memakan korban jiwa. Hal yang menjadi penting untuk dilakukan adalah melakukan prediksi terhadap beban kepadatan ruas jalan yang kemudian dapat diinformasikan kepada pengguna jalan. Prediksi ini dapat memberikan informasi kecepatan dalam ruas jalan tertentu di suatu waktu, prediksi waktu mulai terjadinya kepadatan dan waktu lama kepadatan tersebut dapat terurai. Manajemen lalu lintas adalah pengelolaan dan pengendalian arus lalu lintas dengan melakukan optimasi penggunaan prasarana yang ada untuk memberikan kemudahan kepada lalu lintas secara efisien dalam penggunaan ruang jalan serta memperlancar sistem pergerakan. Prinsip yang digunakan dalam mengendalikan lalu lintas adalah

mengambil langkah yang terus menerus untuk mengendalikan lalu lintas dan melakukan upaya untuk memecahkan permasalahan lalu lintas yang timbul serta memprediksi sebelum permasalahan tersebut terjadi, untuk kemudian dipersiapkan solusinya. Informasi yang cepat dan akurat sangat bermanfaat tidak hanya bagi pengelola lalu lintas tetapi juga untuk komuter yang mengandalkan jalan tol sebagai fasilitas transportasi sehari-hari.

Penelitian ini memiliki dua tujuan, pertama adalah untuk menganalisis lalu lintas pada ruas jalan tol Cikampek dengan menggunakan *functional data*. Tujuan kedua adalah membangun model peramalan dengan model *time series* ARMA (p,q) dan mengembangkan algoritma yang tepat untuk memprediksi kemacetan yang terjadi pada jalan tol sehingga fungsi jalan tol dapat dioptimalkan.

METODE ANALISIS

Beberapa penelitian terkait kemacetan sudah dilakukan diantaranya oleh Ye (2012) yang meneliti hubungan antara kemacetan dan pembangunan berkelanjutan. Wang et. al (2017) dalam penelitiannya melakukan simulasi terhadap masalah kemacetan dengan menggunakan *Traffic Flow Theory Model* dan algoritma *Neural Network Data Calibration*. Penelitian ini dilakukan untuk membantu *decision support system* yang ada. Penelitian lain dilakukan oleh Klepsch, Kluppelberg, dan Wei (2016) yang menganalisis hubungan antara kecepatan, arus, dan volume kendaraan pada sebuah kemacetan. Penelitian ini memberi *output* yaitu dihasilkannya petunjuk berupa regulasi untuk mengatasi kemacetan. Berdasarkan studi literatur, penelitian yang sudah dilakukan oleh Klepsch, Kluppelberg, dan Wei (2016) dapat menjadi referensi untuk kajian terhadap permasalahan kemacetan di Indonesia.

Penelitian ini meneliti mengenai kemacetan dengan membangun model lalu lintas mikroskopik yang merupakan kombinasi model *Principal Component Analysis* (PCA) dengan *timeseries* ARMA (*Autoregressive Moving Average*).

Pemodelan lalu lintas mikroskopik dapat digunakan dalam solusi permasalahan prediksi kemacetan lalu lintas di Indonesia. Penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan *functional ARMA(p,q) processes* dan model berbasis vektor pada *functional PCA* guna memprediksi kemacetan lalu lintas pada jalan tol. Data yang digunakan merupakan *high dimensional data* yang diambil dari *Road Traffic Microwave System (RTMS) Jasa Marga* pada ruas Jalan Tol Cikampek. Variabel yang digunakan untuk memprediksi kemacetan adalah kecepatan, arus, dan kepadatan dengan rentang waktu jam. Dari hasil *functional data analysis*, dilakukan pemodelan ARMA dengan hasil model terbaik adalah ARMA(1,1)

Data yang digunakan adalah rata-rata kecepatan per jam (*velocity per hour*), arus kendaraan (dihitung dari kecepatan per menit), volume kendaraan dan kepadatan (*density*) yang dihitung dari volume kendaraan dibagi kecepatan. Periode data yang digunakan adalah 21/5/2018 00:00 hingga 24/9/2018 23:59 pada ruas tol Cikampek KM 11+000 arah Jakarta dan Cikampek. Data diperoleh dari *Road Traffic Microwave System (RTMS) Jasa Marga*. Kemudian data harian berdimensi tinggi (*high-dimensional data*) ini dianalisis dengan analisis deskriptif untuk mendapatkan gambaran kondisi lalu lintas. Selanjutnya data ditransformasi ke *functional data* menggunakan fungsi *space*.

Ide utama dari fungsi *space* adalah mentransformasi data. Untuk mentransformasi ini digunakan *basis function*. Gagasan utama dari pembentukan *basis function* ini adalah mengambil setiap *series* yang diamati $x_i(t)$ mendekati $\hat{x}_i(t)$ yang dipilih dari keluarga fungsional yang sama. Fungsi x diekspresikan dengan *linear expansion*

$$x(t) = \sum_{k=1}^K c_k \phi_k(t) \dots\dots\dots(1)$$

dimana:

- $x(t)$ = *series* data yang diamati
- K = *basis function* $\phi_k(t)$
- c_1, \dots, c_K = koefisien yang diestimasi

Fungsi *space* yang digunakan untuk proses transformasi ini adalah 2 fungsi

standar, yaitu *Fourier* dan *B-spline basis function*. Fungsi yang dipilih adalah *B-spline basis function* dengan alasan:

- *Splines* adalah segmen polinomial yang bergabung dari ujung ke ujung.
- Segmen dibatasi agar lancar saat bergabung.
- Titik-titik di mana segmen bergabung disebut *knot*.
- Sistem didefinisikan oleh *order m* (*order = degree+1*) dari polinomial lokasi *knot*.
- *B-splines* adalah sarana yang sangat berguna untuk menggabungkan kendala

Setelah diperoleh *functional time series data*, dilakukan *functional ARMA process* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Uji stasioneritas dengan *Portamanteau test Garys-Kokoszka* (untuk *multivariate time series*)
- Mendefinisikan ordo dari fungsi ARMA(p,q) dengan melihat *covariance operator*. Fungsi ARMA (p,q) adalah sebagai berikut:

$$X_n = \sum_{i=1}^p \phi_i X_{n-i} + \sum_{j=1}^q \theta_j \varepsilon_{n-j} + \varepsilon_n \dots(2)$$

dimana:

- X_n = *series data* yang diprediksi
- p = ordo *autoregressive* yang menunjukkan *lag period*
- ϕ_i = koefisien dari *lag series data*
- i = 1,...,p
- X_{n-1} = *lag* dari *series data*
- q = ordo *moving average* yang menunjukkan *lag period*
- ε_{n-j} = *error term* periode n-j
- J = 1,...,q
- ε_n = *error term* periode n

- Mengestimasi *covariance operator* x

$$C_X x = \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j \langle x, v_j \rangle \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

- $C_X x$ = *covariance operator*
- λ_j = deretan bilangan riil positif sehingga $\sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j < \infty$
- v_j = *orthonormal basis*

- Menghitung *eigenpairs* (λ_j^e, v_j^e) untuk $j = 1, \dots, N$

- Menghitung *Cumulative Percentage of Total Variance* (CPV) untuk d nilai *eigenvalue* terbesar

$$CPV(d) = \sum_{j=1}^d \lambda_j / \sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

λ_j = deretan bilangan riil positif sehingga $\sum_{j=1}^{\infty} \lambda_j < \infty$

d = jumlah nilai tertinggi

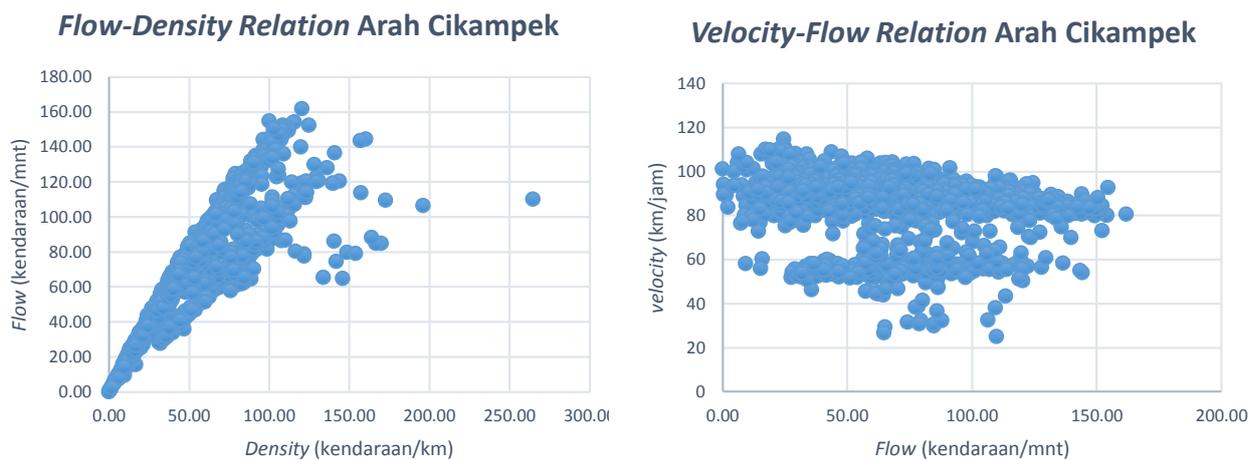
- Melakukan *cross validation* pada *prediction error* dengan nilai d yang berbeda dari *relevant score*.
- *Cross validation* jumlah skor pada kombinasi dengan *cross validation* pada ordo model ARMA.
- Memasukkan hasil prediksi ke *functional density data*.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model lalu lintas mikroskopik melibatkan kecepatan (*velocity*), arus (*flow*) dan kepadatan (*density*). Hubungan antar

variabel tersebut digambarkan dalam diagram *velocity-flow relation* dan *flow-density relation* seperti pada Gambar 1.

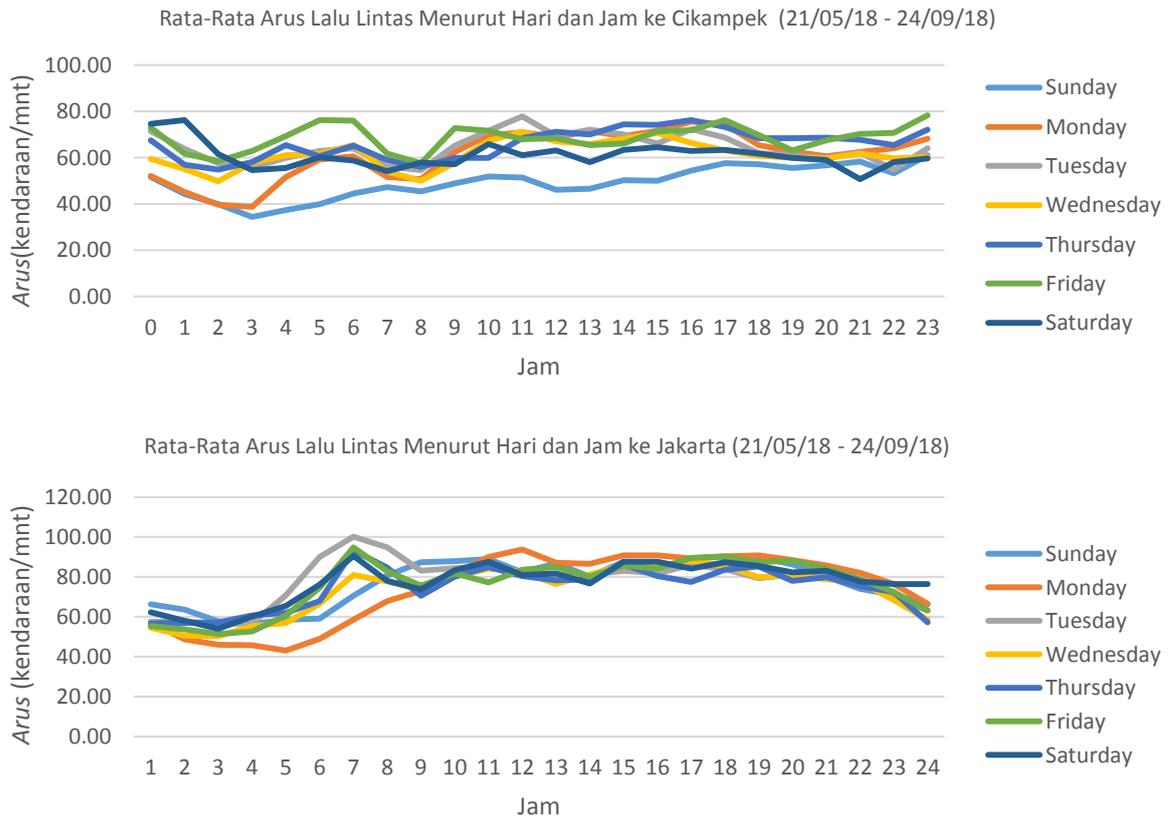
Hubungan antara *flow* dan *density* seringkali disebut sebagai diagram fundamental arus lalu lintas dan digunakan untuk menentukan kapasitas jalan serta memberikan panduan untuk arus masuk dan batas kecepatan. Gambar 1 menggambarkan kuantitas untuk data lalu lintas yang disediakan oleh Jasa Marga. Pada kepadatan lalu lintas yang kritis (65 kendaraan/km) kondisi lalu lintas akan berubah dari stabil ke tidak stabil, dengan kata lain terjadi kemacetan. Gambar 1 juga menunjukkan bahwa kecepatan berhubungan dengan arus lalu lintas. Ketika arus lalu lintas semakin deras maka kecepatan kendaraan yang melintas akan semakin turun.



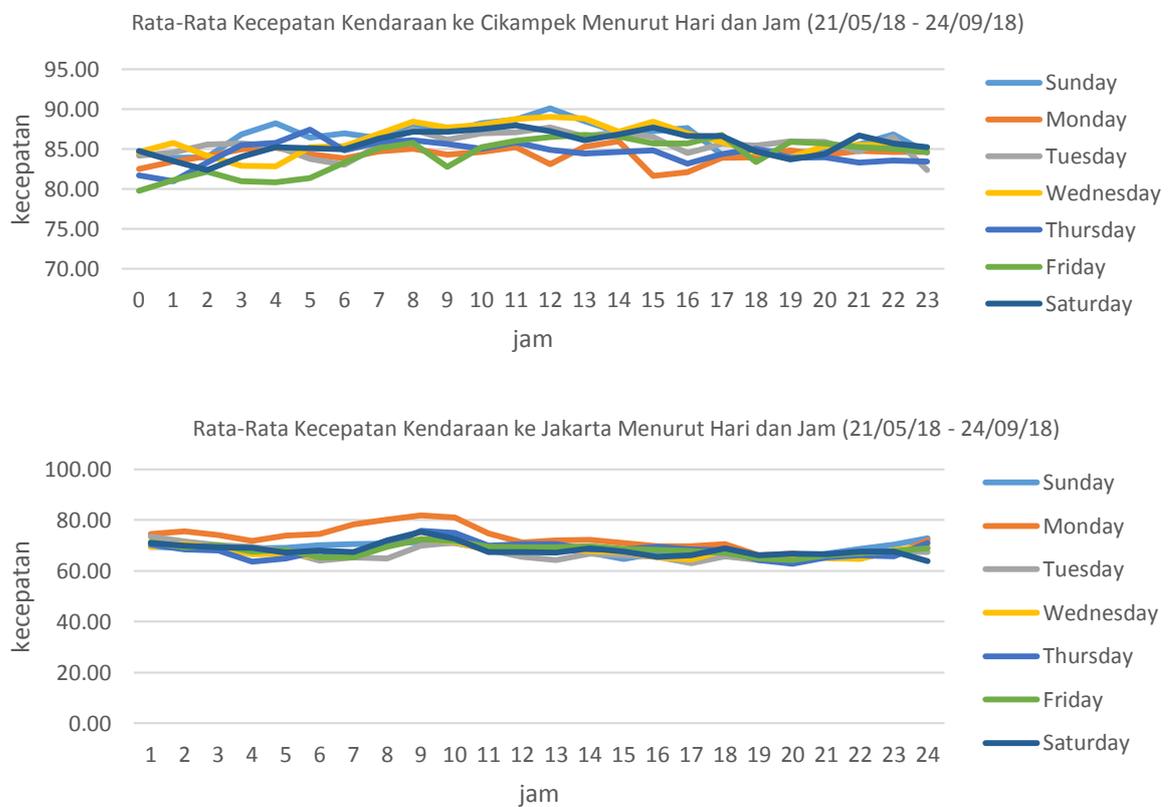
Gambar 1 Hubungan antara *flow*, *velocity*, *density* pada KM+11.000 untuk Cikampek

Kondisi arus lalu lintas setiap hari dapat dilihat pada Gambar 2 yang menunjukkan bahwa pola arus lalu lintas arah Cikampek dan arah Jakarta pada KM11+000 berbeda. Rata-rata arus lalu lintas selama seminggu arah Cikampek cenderung lebih stabil dibanding arah Jakarta. Terlihat bahwa arus kendaraan pada jam sibuk (pukul 6-9 pagi dan pukul 16-19) arus lalu lintas mengalami puncaknya. Dari Gambar 2 juga terlihat bahwa arus paling deras di KM11+000 arah

Cikampek terjadi pada hari Jumat karena awal akhir pekan. Sedangkan untuk arah Jakarta terjadi pada hari Senin dan Selasa yang merupakan awal hari kerja. Pola ini juga berbeda untuk hari kerja (*weekdays*) pada hari Senin-Jumat dan akhir pekan (*weekend*) di hari Sabtu dan Minggu. Arus kendaraan pada hari kerja lebih deras dibandingkan pada hari kerja terutama untuk arah Cikampek.



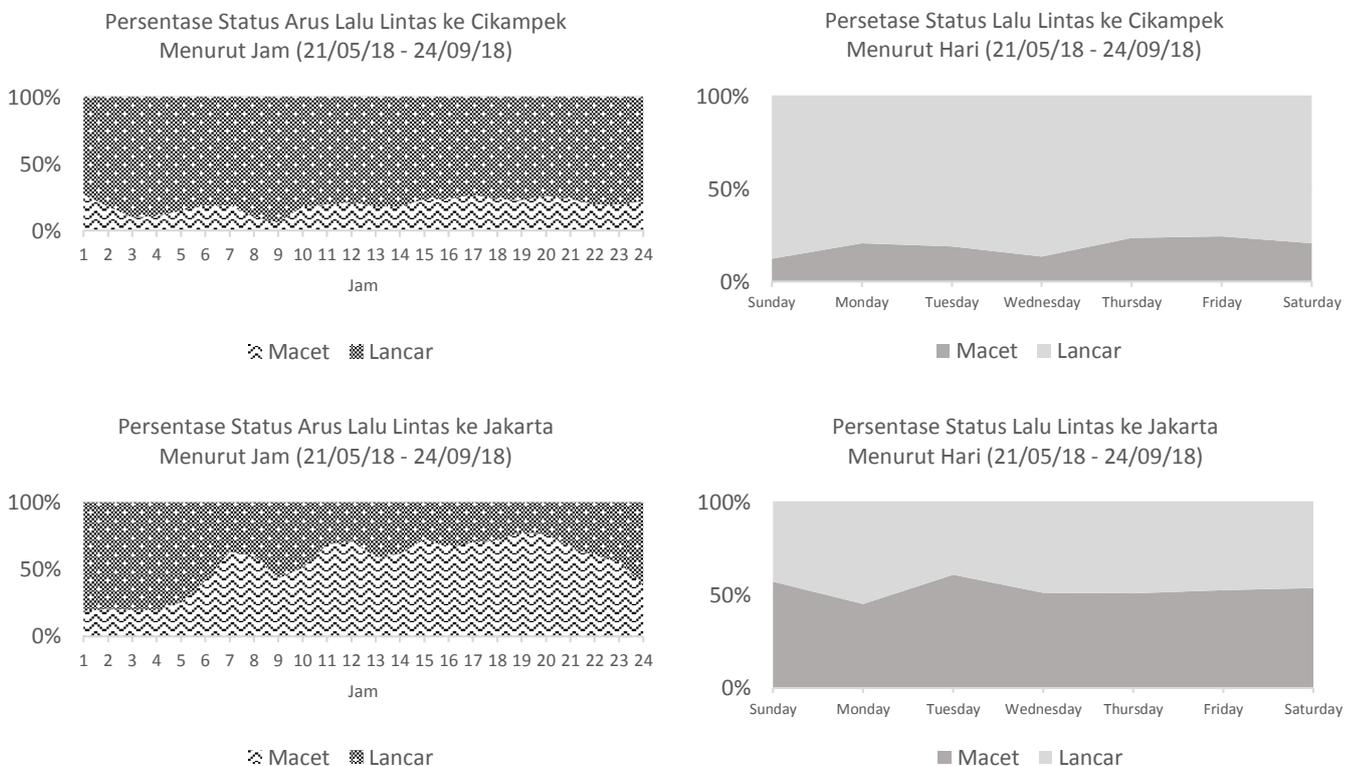
Gambar 2 Rata-rata Arus Lalu Lintas Menurut Hari dan Jam pada KM11+000 tol Jakarta-Cikampek arah Cikampek dan Jakarta



Gambar 3 Rata-Rata Kecepatan Kendaraan Menurut Hari dan Jam pada KM11+000 tol Jakarta-Cikampek arah Cikampek dan Jakarta

Kecepatan kendaraan yang melintas juga memiliki karakteristik waktu. Gambar 3 memperlihatkan rata-rata kecepatan kendaraan yang melintas di KM11+000 menurut hari dan jam. Dari gambar tersebut terlihat bahwa kecepatan pada jam sibuk mengalami perlambatan karena arus lalu lintas yang deras. Kendaraan baru dapat melaju cepat ketika tengah hari di hari Minggu dan hari Rabu. Kecepatan kendaraan yang melintas arah Cikampek lebih bervariasi setiap harinya dibandingkan arah Jakarta. Hal ini terlihat pada garis grafik kecepatan arah Jakarta untuk setiap harinya yang berhimpit. Kecepatan kendaraan pada hari kerja dan akhir pekan juga berbeda. Kecepatan kendaraan arah Cikampek pada akhir pekan cenderung lebih cepat dibandingkan kecepatan kendaraan arah Jakarta. Cepat atau tidaknya suatu kendaraan dipengaruhi oleh volume kendaraan, dimana bila volume kendaraan semakin besar maka kecepatan kendaraan akan melambat.

Kepadatan di ruas jalan tertentu menunjukkan status macet atau lancarnya ruas jalan tersebut. Pada jam sibuk kepadatan di ruas jalan KM11+000 lebih padat dibanding jam lainnya, terutama di pagi hari. Sedangkan hari paling padat untuk arah Cikampek terjadi pada hari Jumat dan untuk arah Jakarta terjadi pada hari Selasa. Dari data kepadatan ini dapat diketahui persentase terjadinya macet atau tidak menurut hari. Gambar 4 menunjukkan status lalu lintas menjadi macet dan lancar. Status lalu lintas lancar terjadi bila kepadatan di bawah 65 kendaraan per kilometer, bila di atas 65 maka statusnya menjadi macet. Gambar 4 memberikan informasi kemacetan yang terjadi menurut jam dan hari. Informasi yang bisa diambil dari Gambar 4 adalah kondisi lalu lintas arah Jakarta lebih sering berada pada status macet dibandingkan arah Cikampek yang status lancarnya lebih banyak. Lalu lintas arah Jakarta selalu macet setelah pukul 5 pagi hingga tengah malam. Untuk arah Cikampek status macet terjadi pada tengah hari hingga malam hari.



Gambar 4 Status Lalu Lintas Menurut Hari dan Jam pada KM11+000 tol Jakarta-Cikampek

Kondisi kepadatan inilah yang akan diprediksi untuk menentukan bagaimana status jalan beberapa jam kemudian menurut hari. Dengan menggunakan

functional data analysis, diperoleh *basis function* untuk membuat *functional ARMA process*. Fungsi yang dihasilkan seperti yang terdapat pada tabel.

Tabel 1 Basis *Spline* dan *Functional Data Regression*

Hari	Basis <i>Spline</i>	<i>Functional Data Regression</i>
Senin	$X_{ij} = -0,08 \text{ BS1} - 0,7 \text{ BS2} - 0,3 \text{ BS3} - 0,8 \text{ BS4}$	$41200 + 1219 \text{ Flow} - 826 \text{ Velocity}$
Selasa	$X_{ij} = -88,78 \text{ BS1} - 49,48 \text{ BS2} - 48,32 \text{ BS3} - 88,92 \text{ BS4}$	$-4429000 + 71010 \text{ Flow} - 1098 \text{ Velocity}$
Rabu	$X_{ij} = 19,72 \text{ BS1} + 9,1 \text{ BS2} + 11,16 \text{ BS3} + 318,57 \text{ BS4}$	$983700 - 14220 \text{ Flow} - 756.4 \text{ Velocity}$
Kamis	$X_{ij} = 19,72 \text{ BS1} + 9,11 \text{ BS2} + 11,16 \text{ BS3} + 18,57 \text{ BS4}$	$475826041 - 7017426 \text{ Flow} - 0.96762 \text{ Velocity}$
Jumat	$X_{ij} = -159,6 \text{ BS1} - 89,42 \text{ BS2} - 86 \text{ BS3} - 160,8 \text{ BS4}$	$-8563000 + 127100 \text{ Flow} - 1415 \text{ Velocity}$
Sabtu	$X_{ij} = -25,85 \text{ BS1} - 15,31 \text{ BS2} - 14,01 \text{ BS3} - 26,17 \text{ BS4}$	$-1175000 + 21430 \text{ Flow} - 1001 \text{ Velocity}$
Minggu	$X_{ij} = 0,025 \text{ BS1} + 0,012 \text{ BS2} + 0,014 \text{ BS3} + 0,024 \text{ BS4}$	$98010444 - 1828164 \text{ Flow} - 0.49797 \text{ Velocity}$
Global	$X_{ij} = -31,33 \text{ BS1} - 20,26 \text{ BS2} - 20,21 \text{ BS3} - 31,48 \text{ BS4}$	$-2129000 + 36340 \text{ Flow} - 777.1 \text{ Velocity}$

Sumber : data RTMS diolah

Tabel 2 Model *ARMA Process*

Keterangan	ARMA(1,0)	ARMA(0,1)	ARMA(1,1)
<i>R-squared</i>	0.602984	0.602984	0.628918
<i>Adjusted R-squared</i>	0.599782	0.599782	0.622885
<i>Akaike info criterion</i>	7.747317	7.747317	7.695635
<i>Schwarz criterion</i>	7.792337	7.792337	7.763166
RMSE	13.83124	11.45982	11.0792
MAE	29.26789	8.671119	8.310604

Tabel 1 menyajikan *Basis Spline* dan *functional data regression* yang digunakan untuk membuat *functional data* pada data kepadatan. Setelah *functional data* terbentuk, dibuat model peramalan dengan *ARMA (p,q)*. Ordo untuk model *ARMA (p,q)* diperoleh dengan mempertimbangkan *covariance operator*. Hasil model tentatif yang dibuat adalah *ARMA (1,0)*, *ARMA (0,1)* dan *ARMA (1,1)*. Dari ketiga model tentatif tersebut dipilih model yang terbaik menurut ukuran *Akaike info criterion* dan *Schwarz criterion* yang paling kecil. Pada Tabel 1 terlihat bahwa untuk model *ARMA (1,0)* dan *ARMA (0,1)* memiliki semua indikator yang sama. Tetapi setelah melihat hasil peramalan, diperoleh nilai *RMSE* dan *MAE* yang terkecil adalah model *ARMA*

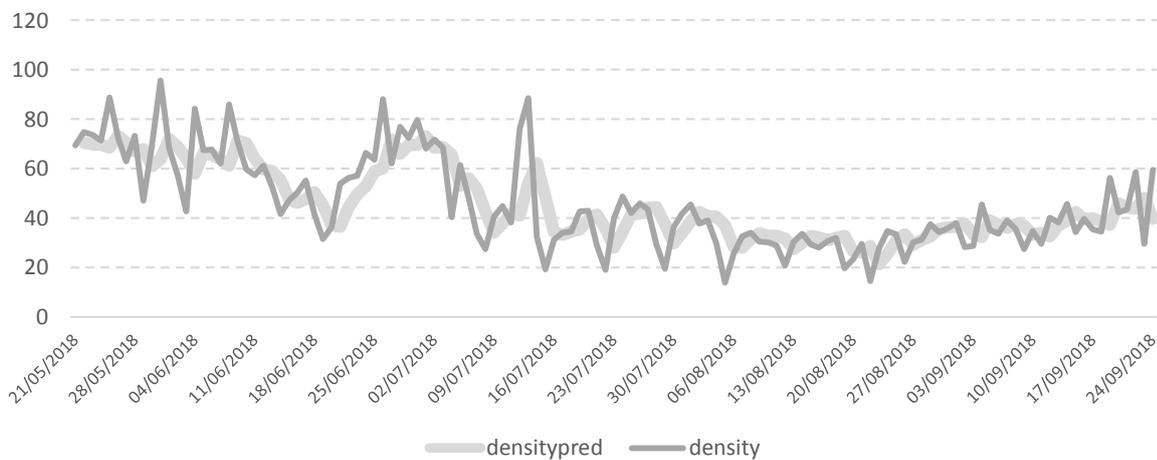
(1,1). Sehingga, untuk peramalan kepadatan di KM 11+000 digunakan *ARMA (1,1)*.

Hasil dari peramalan kepadatan harian dengan menggunakan *functional data* disajikan pada Gambar 5. Gambar ini menunjukkan hasil ramalan pada data kepadatan harian di KM 11+000 yang terlihat berhimpitan dengan kepadatan aktualnya. Hal ini merupakan indikasi bahwa peramalan kepadatan dengan model *ARMA (1,1)* cukup baik digunakan untuk memprediksi ada tidaknya kemacetan di KM 11+000.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, batas status lalu lintas dikatakan macet jika kepadatan di suatu ruas jalan di atas 65 kendaraan per menit. Dari Gambar 5 terlihat bahwa sejak bulan Juni, kepadatan kendaraan di ruas jalan KM

11+000 mulai berkurang disebabkan adanya kebijakan lalu lintas plat kendaraan ganjil-genap yang disesuaikan dengan tanggal yang berlaku pada jam-jam tertentu. Kendaraan dengan pelat nomor ganjil boleh

melintas di tanggal ganjil sedangkan kendaraan dengan plat nomor genap boleh melintas di tanggal genap pada pukul 6-9 pagi. Selain itu, kendaraan tersebut harus melewati jalan alternatif.



Gambar 4 Kepadatan KM11+000 tol Jakarta-Cikampek Menurut Hari, *Actual Data* dan Data Ramalan

KESIMPULAN

High dimensional data seperti data lalu lintas dapat dibuat peramalannya dengan menggunakan *functional data analysis*. Hasil dari peramalan kepadatan lalu lintas pada data RTMS dari Jasa Marga menggunakan ARMA *Process* adalah model ARMA (1,1). Model ini dapat digunakan untuk memprediksi kemacetan lalu lintas yang mungkin timbul bila kepadatan di atas 65 kendaraan per km. Model peramalan kemacetan lalu lintas yang dihasilkan dapat membantu dalam pengambilan keputusan pengaturan lalu lintas pada waktu-waktu tertentu sesuai dengan pola yang sudah dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

Bosq, D. 2000. *Linear Processes in Function Spaces: Theory and Applications*. New York: Springer.
 Klepsch, J., Klüppelberg, C., dan Wei, T. 2017. *Prediction of Functional ARMA Processes with an Application to Traffic Data*. *Econometrics and Statistics*, Vol. 1(C), 128-149.

Ramsay, J. dan Silverman, B. 2005. *Functional Data Analysis* (2nd Ed.). New York: Springer.
 Sen, Rituparna dan Klüppelberg, Claudia. 2010. *Time series of Functional Data*. *Submitted for Publication*.
 Wang, L. Lin, S .Yng, J., dkk. 2017. *Dynamic Traffic Congestion Simulation and Dissipation Control Based on Traffic Flow Theory Model and Neural Network Data Calibration Algorithm*. *Hindawi Complexity*, Vol 2017, 1-11.
 Ye, S. 2012. *Research on Urban Road Traffic Congestion Charging Based on Sustainable Development*. *Physics Procedia*, 1567-1572.