

Implementasi model ARIMA untuk algoritma prediksi nilai frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) harian

Varuliantor Dear^{1,2}, dan Annis Siradj Mardiani²

¹Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung

²Pusat Sains Antariksa

Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional

e-mail: varuliantor.dear@lapan.go.id¹

Intisari - Nilai frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$) dibutuhkan dalam aplikasi komunikasi radio High Frequency (HF; 3-30MHz) untuk aktivitas perencanaan dan pemilihan frekuensi kerja. Informasi nilai $foF2$ dalam periode jangka pendek seperti periode harian memiliki manfaat secara praktis dalam proses penyesuaian frekuensi komunikasi radio yang sedang berjalan maupun yang direncanakan. Dalam makalah ini, dibahas tentang potensi implementasi model Auto Regressive Moving Average (ARIMA) untuk digunakan dalam algoritma prediksi nilai $foF2$ harian. Implementasi dilakukan dengan memanfaatkan data hasil pengamatan nilai $foF2$ selama 32 hari kebelakang untuk proses pembelajaran nilai orde P , D , dan Q dari model ARIMA yang kemudian dilanjutkan dengan proses fitting iterative berdasarkan data observasi pada hari terakhir dengan batas nilai selisih prediksi dan observasi sebesar 0,5 MHz. Proses fitting merupakan proses penyesuaian nilai orde P , D , dan Q dari model ARIMA yang akan digunakan untuk proses perhitungan prediksi nilai $foF2$ pada satu hari berikutnya. Hasil implementasi dengan menggunakan data $foF2$ di atas Sumedang pada bulan Januari dan Februari 2018 menunjukkan bahwa model ARIMA mampu menangkap pola variasi harian nilai $foF2$ dengan galat prediksi mencapai 4MHz. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa model ARIMA berpotensi untuk digunakan dalam prediksi harian $foF2$. Namun, hasil ini masih perlu dikaji lebih dalam dengan menggunakan data $foF2$ yang mencakup variasi siklus aktivitas matahari, yakni 11 tahunan.

Kata kunci: Prediksi $foF2$, ARIMA, Radio HF

Abstract – The critical frequency of ionosphere F -layer values ($foF2$) are needed in the High Frequency (3-30 Mhz) radio communication to be used in the selection and planning process of the working frequency. The short periods of $foF2$ information such as diurnal periods have significant use in practical aspects for the adjustment process of the working frequencies. In this paper, we explain the feasibility of Auto-Regressive and Moving Average (ARIMA) model to be implemented in the daily $foF2$ prediction. The implementation were done by using the $foF2$ observation for the last 32 days for getting the value of P , Q , and D of ARIMAs orde. The orde values will be used for the iterative fitting process based on the last observation values of $foF2$. The threshold for the difference value of $foF2$ observation and prediction is 0.5 Mhz. The fitting process results will be used for the prediction of next day $foF2$. The implementation results using $foF2$ data over Sumedang in the January and February 2018 shows that ARIMA model has an ability to capture the variation pattern of diurnal $foF2$ with error up to 4 MHz. This result shows that the ARIMA model has the potential to be used in the daily prediction of $foF2$. But, these results should be investigated more by using the $foF2$ data set which represents the solar cycle activity period which is 11 years.

Keywords: $foF2$ prediction, ARIMA, HF radio

PENDAHULUAN

Kondisi ionosfer merupakan bagian dari informasi cuaca antariksa yang terkait dengan aplikasi komunikasi radio HF (High Frequency; 3-30 MHz) [1]. Parameter kondisi ionosfer yang dinyatakan dalam nilai frekuensi kritis lapisan F ($foF2$) menjadi salah satu indikator yang berkorelasi erat dengan keberhasilan propagasi gelombang radio dengan moda angkasa atau *skywave* [2]. Berdasarkan sudut pandang praktis, informasi nilai $foF2$ bermanfaat sebagai rujukan dalam penentuan frekuensi kerja suatu sirkuit komunikasi radio. Oleh karena itu nilai $foF2$ yang dibutuhkan dapat berupa hasil pengamatan maupun hasil prediksi. Proses pemilihan frekuensi berdasarkan informasi prediksi $foF2$ merupakan bentuk dari perencanaan komunikasi radio HF yang dikenal sebagai metoda manajemen frekuensi [3]. Kondisi tersebut mengarah kepada kebutuhan penyajian informasi prediksi nilai $foF2$ dengan berbagai metoda yang memungkinkan.

Model *Auto Regressive Moving Average* (ARIMA) merupakan salah satu model prediksi linear yang menggunakan kumpulan data (*data set*) dari parameter yang

akan diprediksi. Penggunaan model ARIMA dibatasi oleh syarat berupa sifat stasioner dari kumpulan data yang digunakan sehingga dapat menangkap trend linearitas data tersebut. Dari sudut pandang sifat fisis variasi data $foF2$, model ARIMA berpotensi untuk dapat diterapkan. Namun, seasonilitas data $foF2$ yang digunakan perlu dieliminir agar penerapan model ARIMA dapat dilakukan dalam perhitungan prediksi nilai $foF2$ untuk satu hari kedepan. Dalam makalah ini dibahas tentang potensi implementasi model ARIMA dalam algoritma prediksi nilai $foF2$ harian. Susunan dari makalah ini adalah sebagai berikut: Pada bab 2 disajikan penjelasan tentang frekuensi kritis lapisan ionosfer ($foF2$) dan model ARIMA. Pada bab 3 dibahas tentang data dan metodologi yang digunakan. Sedangkan pada bab 4 dan bab 5 disajikan pembahasan dari hasil yang diperoleh dan kesimpulan dari implementasi yang dilakukan.

II. LANDASAN TEORI

A. Frekuensi kritis lapisan F ionosfer ($foF2$)

Parameter lapisan ionosfer yang digunakan dalam perhitungan perambatan gelombang radio dengan mode *skywave* adalah nilai frekuensi kritis lapisan F ionosfer

(foF2). Nilai foF2 merupakan nilai frekuensi maksimum dari gelombang radio yang dapat dibiarkan oleh lapisan ionosfer dengan sudut perambatan gelombang radio tegak lurus terhadap lapisan ionosfer. Untuk penerapan dalam aplikasi komunikasi radio pada pita HF, hubungan antara sudut datang gelombang radio dengan frekuensi kerja komunikasi radio HF dinyatakan dengan persamaan

$$f_c = \alpha \cdot f_o \quad (1)$$

dengan f_c adalah frekuensi kerja, α adalah sudut datang gelombang radio, dan f_o merupakan frekuensi kritis lapisan ionosfer. Hubungan linear tersebut menunjukkan bahwa perubahan pada nilai frekuensi kritis lapisan ionosfer akan mempengaruhi nilai frekuensi kerja dari sistem komunikasi radio.

Lapisan ionosfer memiliki sifat yang dinamis baik dalam domain temporal maupun spasial [4]. Variasi dalam domain temporal diantaranya adalah variasi harian, variasi musiman, dan variasi siklus aktivitas matahari. Sedangkan variasi yang dimiliki dalam domain spasial adalah variasi lintang dan terbentuknya wilayah anomali ionosfer disepanjang ekuator bumi. Dengan sifat dinamis tersebut, pengolahan data foF2 dengan menggunakan suatu model tertentu perlu mempertimbangkan proses eliminasi yang diperlukan agar proses estimasi atau prediksi berdasarkan data set yang digunakan tidak ambigu.

B. MODEL ARIMA

Auto Regresive Integrated Moving Average (ARIMA) merupakan model *time series predictor* yang dapat digunakan sebagai solusi dari adanya keterbatasan parameter masukkan yang tersedia [5]. Model ini merupakan hasil dari gabungan model *Auto Regresive* (AR) dan *Moving Average* (MA) yang telah melalui proses *Differencing* atau *Integration* (I) untuk menghilangkan sifat seasonilitas data. Model *Auto Regresive* (AR) dinyatakan dengan persamaan (2).

$$X_t = c + \sum_{i=1}^p \varphi_i X_{t-i} + \varepsilon_t \quad (2)$$

dengan X_t adalah nilai yang diestimasi, c adalah konstanta, φ_i adalah parameter model dan ε_t adalah *white noise*. Sedangkan untuk model MA dinyatakan dengan persamaan

$$X_t = \mu + \varepsilon_t + \theta_1 \varepsilon_{t-1} + \dots + \theta_q \varepsilon_{t-q} \quad (3)$$

dengan X_t adalah nilai yang di estimasi. θ_i adalah parameter model dan ε_t adalah nilai galat antara nilai estimasi dengan data observasi.

Secara sederhana model AR dapat dilihat sebagai proses analisis yang menunjukkan korelasi antara dua data dengan waktu yang berbeda. Besarnya waktu dari kedua data yang berkorelasi tersebut dinyatakan dalam orde yang digunakan dalam model AR dan dinyatakan dengan simbol p . Sedangkan untuk model MA, secara sederhana dapat dilihat sebagai proses analisis besarnya tingkat kesalahan yang terjadi antara dua data pada waktu tertentu. Besarnya waktu data tersebut dinyatakan dalam notasi q . Dalam implemetasinya model AR dan MA hanya diperuntukkan pada kumpulan data *time series* yang memiliki sifat stasioner. Oleh karena itu, apabila data tersebut memiliki trend dan

periodesitas, maka akan diperlukan proses yang membuat data tersebut menjadi stasioner atau *wide sense stationer* (WSS). Proses tersebut dapat dilakukan dengan menerapkan metode *Differencing* atau dikenal sebagai proses *Integrated* (I) dengan simbol d sebagai besaran orde yang digunakan. Proses penggabungan model tersebut dikenal sebagai model ARIMA dengan orde p , d , dan q yang dinyatakan dalam bilangan integer atau cacah.

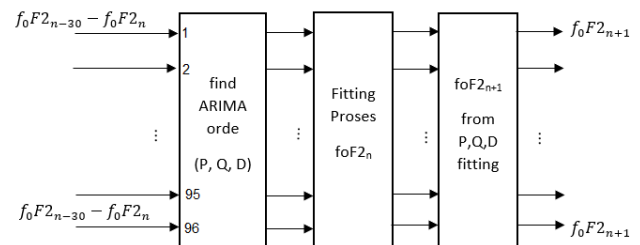
Data foF2 yang digunakan dalam acuan informasi gangguan komunikasi radio HF merupakan data yang memiliki 3 jenis variasi, yakni: variasi harian, variasi musiman atau bulanan, dan variasi siklus aktivitas matahari yang mencapai 11 tahunan. Dengan sifat data foF2 yang memiliki trend dan periodesitas tersebut, penerapan prediksi model ARIMA dapat dilakukan dengan asumsi bahwa data set foF2 bersifat stasioner. Asumsi ini menekankan bahwa nilai foF2 akan berada pada nilai mean (μ) dengan simpangan berada pada rentang nilai varians.

III. DATA DAN METODOLOGI

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data hasil pengamatan foF2 menggunakan radar ionosfer (ionosonda) diatas Sumedang pada bulan Januari dan Februari tahun 2018. Data disusun kedalam kumpulan data (*data set*) dengan interval waktu pengamatan dalam satu hari per-15 menit. Isi data set dibatasi sebanyak 32 hari kebelakang dengan jumlah susunan data set mencapai 96. Pembatasan isi data set dari nilai foF2 selama 32 hari kebelakang dimaksudkan untuk meng-eliminir sifat seasonilitas data set foF2 seperti yang dinyatakan oleh [5].

Proses perhitungan prediksi nilai foF2 disajikan pada Gambar 1. Pada tahap awal, data foF2 selama 32 hari kebelakang dikumpulkan menjadi sebuah data set yang berjumlah 96. Setiap data set diolah untuk menghasilkan nilai sementara dari orde model ARIMA yakni variabel P , Q , dan D . Tahap berikutnya merupakan tahap proses *fitting* dengan tujuan mencari nilai akhir P_{fit} , Q_{fit} , dan D_{fit} berdasarkan selisih keluaran prediksi dengan data observasi yang lebih rendah dari nilai *threshold* yang telah ditentukan. Kriteria *threshold* dinyatakan dengan persamaan

$$(P_{fit}, Q_{fit}, D_{fit}) = \arg \min(|f_oF2_{n+1} - f_oF2_n| < 0,5) \quad (4)$$



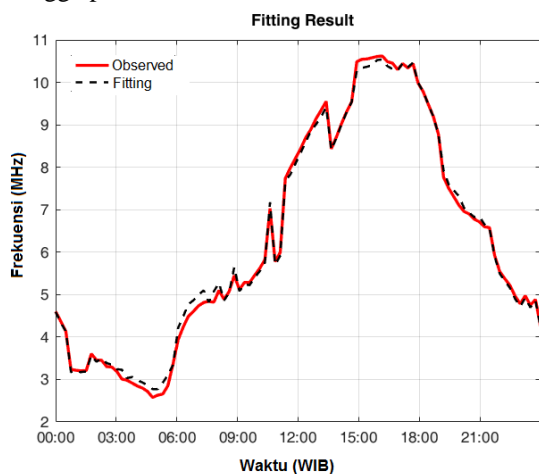
Gambar 1. Blok diagram proses prediksi foF2 menggunakan model ARIMA

Setelah orde P , Q , dan D hasil *fitting* diperoleh, proses selanjutnya adalah perhitungan nilai foF2 untuk satu hari

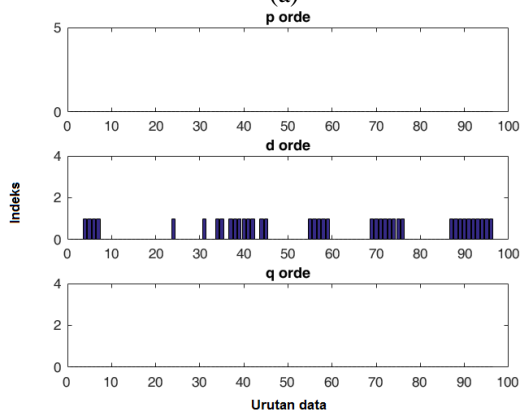
kedepan. Proses perhitungan prediksi nilai $foF2$ tersebut dilakukan dengan menggunakan ketiga variabel P_{fit} , Q_{fit} , dan D_{fit} dengan hasil akhir berupa nilai $foF2_{n+1}$. Hasil prediksi $foF2$ berjumlah 96 buah sebagai representasi nilai $foF2$ dengan resolusi pengamatan per-15 menit dalam satu hari.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

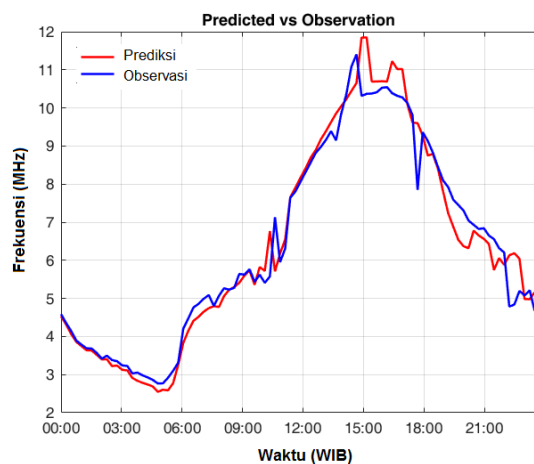
Contoh hasil penerapan model ARIMA untuk prediksi $foF2$ disajikan pada Gambar. Gambar 2(a) merupakan hasil proses iterasi *fitting*. Sedangkan Gambar 2(b) merupakan grafik nilai P , Q , dan D hasil proses *fitting* dan Gambar 2(c) merupakan perbandingan antara hasil keluaran prediksi dengan data observasi $foF2$. Pada Gambar 2(a) terlihat bahwa proses *fitting* dari model ARIMA mampu mengikuti nilai $foF2$ pada hari terakhir. Nilai *threshold* sebesar 0,5 MHz dapat terpenuhi dan menghasilkan nilai orde P_{fit} , Q_{fit} , dan D_{fit} yang akan digunakan untuk proses perhitungan prediksi satu hari kedepan. Pada Gambar 2(b) terlihat bahwa hasil prediksi memiliki kemiripan pola dengan data observasi. Model ARIMA mampu menghasilkan nilai prediksi $foF2$ yang mengikuti pola variasi harian lapisan ionosfer kendatipun terdapat beberapa nilai yang cukup signifikan berbeda. Perbedaan tersebut terlihat pada pukul 15:00 hingga pukul 23:00 WIB.



(a)



(b)

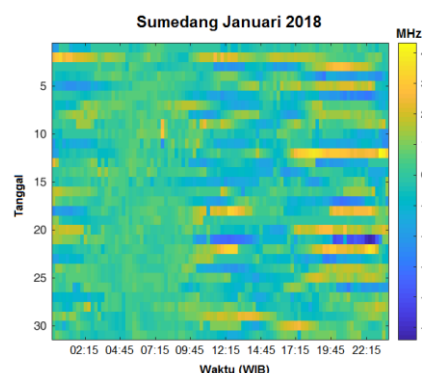


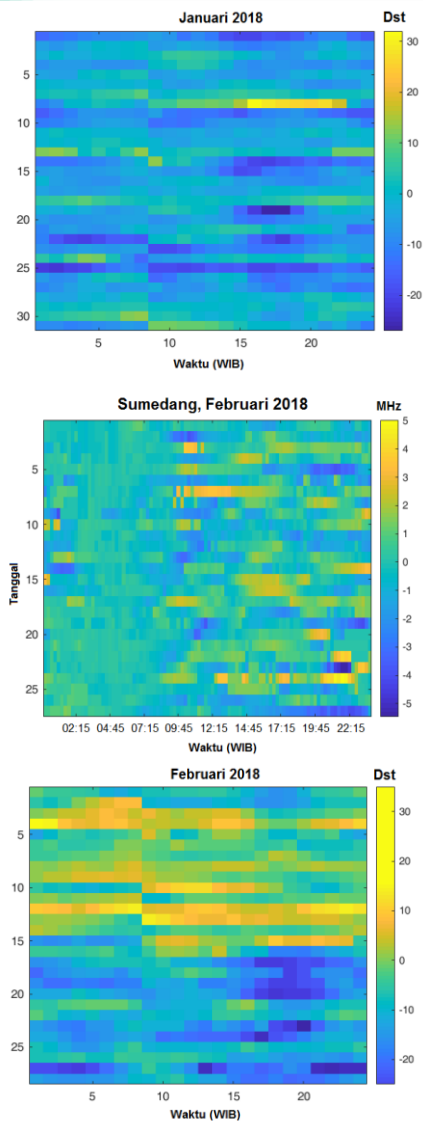
(c)

Gambar 2. Hasil implementasi model ARIMA berupa: (a) proses fitting, (b) orde model ARIMA, dan (c) perbandingan prediksi dan pengamatan

Hasil yang disajikan pada Gambar 2(a) enunjukkan nilai prediksi $foF2$ dapat bernilai lebih tinggi maupun lebih rendah dari nilai $foF2$ hasil observasi walaupun proses *fitting* telah dilakukan terhadap data terbaru pada hari terakhir. Perbedaan nilai tersebut dapat disebabkan oleh ketidaksesuaian asumsi model ARIMA terhadap sifat stasioner data $foF2$. Model ARIMA menggunakan asumsi bahwa kondisi lapisan ionosfer bersifat stasioner saat tidak terdapat faktor yang memicu perubahan kondisi ionosfer secara seketika. Nilai $foF2$ pada waktu dan lokasi yang sama diasumsikan akan mengarah kepada nilai *mean* dengan simpangan yang berada pada rentang nilai variannya. Apabila terjadi perubahan seketika dari kondisi cuaca antariksa seperti peristiwa flare *X-Ray*, data $foF2$ berikutnya akan mengalami penyimpangan dari batas nilai varian yang diperoleh dari kumpulan data sebelumnya.

Salah satu data yang dapat digunakan untuk melihat kemungkinan penyebab perubahan kondisi lapisan ionosfer adalah data kondisi medan magnet bumi [6]. Untuk wilayah ekuator seperti di Indonesia, data yang dapat digunakan adalah indeks Dst [7]. Pada Gambar 3 disajikan perbandingan antara selisih nilai prediksi dengan data observasi $foF2$ pada bulan Januari dan Februari 2018 dan informasi indeks medan magnet bumi ekuator (Dst) pada bulan yang sama.





Gambar 3. Perbandingan antara nilai galat prediksi $foF2$ dan nilai indeks Dst pada bulan Januari dan Februari 2018.

Pada Gambar 3 terlihat bahwa nilai simpangan prediksi $foF2$ dengan data observasi pada bulan Januari dan Februari hanya mencapai 5 MHz. Galat prediksi $foF2$ dominan terjadi pada rentang waktu pukul 09:00 WIB hingga 23:45 WIB. Sedangkan pada rentang waktu pukul 00:00 WIB hingga 09:00 WIB, galat prediksi $foF2$ dominan relatif bernilai kecil, yakni dibawah 1 MHz. Sebagai pembanding, terlihat bahwa nilai indeks Dst pada bulan Januari dan Februari berada pada rentang nilai 30 hingga -25. Pola indeks Dst kedua bulan tersebut berbeda, dimana pada bulan Februari indeks Dst lebih berfluktuasi dibandingkan dengan bulan Januari. Indeks Dst pada tanggal 1 hingga 15 dibulan Februari dominan bernilai positif yang dapat dimaknai sebagai indikasi bahwa kondisi medan Geomagnet tidak dalam kondisi terganggu. Namun, setelah tanggal 16 Februari, nilai indeks Dst berada pada rentang negatif dan salah satu kondisi yang mencolok terjadi pada tanggal 23 dan 27 Februari dimana Indeks Dst bernilai -31. Nilai indeks Dst yang bernilai lebih rendah dari -25 dinyatakan sebagai kondisi medan magnet bumi terganggu pada skala aktif [8].

Nilai indeks Dst pada bulan Januari memiliki perbedaan pola dengan nilai indeks Dst pada bulan Februari

kendatipun pola galat prediksi $foF2$ memiliki kemiripan. Pada bulan Januari nilai indeks Dst cenderung seragam untuk setiap harinya. Hanya tercatat pada tanggal 8 Januari nilai indeks Dst bernilai mencapai 30. Sedangkan pada tanggal 19 Januari nilai indeks Dst mencapai -27. Kendatipun pada tanggal 19 Januari antara pukul 17:00 hingga 18:00 WIB indeks Dst terlihat berada pada kondisi terganggu, hasil prediksi $foF2$ tidak menunjukkan galat yang serupa pada waktu yang sama. Namun, pada hari berikutnya, yakni antara pukul 19:45 hingga 22:15 WIB terlihat nilai galat prediksi $foF2$ mencapai 3 hingga 4 MHz. Galat prediksi yang bernilai positif menunjukkan bahwa nilai $foF2$ mengalami depresi dan asumsi sifat stasioner data $foF2$ yang diterapkan pada model ARIMA sudah tidak tepat. Kondisi ini menunjukkan bahwa model ARIMA tersebut cenderung tidak mampu memprediksi nilai $foF2$ dengan tepat. Namun, perlu dicatat bahwa analisis peristiwa yang terjadi pada tanggal 19 tersebut belum tentu memiliki korelasi yang tepat sesuai dengan teori yang disampaikan karena perlu didukung dengan data yang menyeluruh mengikuti durasi dari seluruh variasi lapisan ionosfer.

Dari sudut pandang aplikasi komunikasi radio HF, nilai prediksi $foF2$ yang lebih tinggi atau bersifat *over estimate* harus dihindari. Hal ini dikarenakan munculnya ekspektasi yang tinggi dari pengguna terhadap nilai frekuensi dari gelombang radio yang merambat pada lapisan ionosfer. Informasi prediksi nilai $foF2$ yang disajikan akan lebih baik bersifat *under estimate* apabila tidak dapat menghasilkan prediksi dengan tepat. Pengguna dapat melakukan antisipasi informasi tersebut dengan menurunkan nilai frekuensi kerja yang digunakan sehingga jaminan keberhasilan propagasi komunikasi dapat lebih tinggi. Berdasarkan sudut pandang aplikatif tersebut, penerapan model ARIMA yang diperoleh masih berpotensi untuk digunakan sebagai prediksi $foF2$ dalam periode harian. Namun, hasil ini masih perlu dikaji lebih dalam lagi dengan mempertimbangkan variasi jangka panjang lapisan ionosfer yang mengikuti pola siklus aktivitas matahari, yakni 11 tahunan. Analisis dengan data $foF2$ yang mencakup variasi 11 tahunan tersebut akan menunjukkan apakah model ARIMA masih dapat digunakan baik untuk aktivitas matahari rendah, sedang dan tinggi.

V. KESIMPULAN

Penerapan model ARIMA untuk prediksi $foF2$ dilakukan dengan asumsi bahwa kumpulan data $foF2$ bersifat stasioner. Adanya variasi harian, bulanan, dan siklus aktivitas matahari lapisan ionosfer dapat dibatasi dengan menentukan jumlah data set yang akan digunakan, yakni maksimal 32 hari. Proses *fitting* iteratif dilakukan dengan menggunakan data $foF2$ terbaru yang menghasilkan orde ARIMA untuk proses prediksi $foF2$. Hasil penerapan menggunakan data bulan Januari dan Februari 2018 menunjukkan bahwa galat prediksi mencapai 4 MHz. Dari sudut pandang aplikasi komunikasi radio HF, hasil tersebut berpotensi untuk

diterapkan dalam periode harian. Namun, hasil ini masih perlu dikaji lebih dalam lagi dengan menggunakan data $foF2$ yang mencakup variasi harian, bulanan, dan siklus aktivitas matahari 11 tahunan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Prayitno Abadi peneliti Pussainsa LAPAN yang mendorong terwujudnya makalah ini sebagai langkah awal publikasi. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada tim Buletin Data Ionosfer (*Scaling*) Pussainsa-LAPAN atas kesediaannya mengalokasikan waktu untuk mempersiapkan data yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. V Blagoveshchensky, A. S. Kalishin, dan M. A. Sergeyeva, "Annales Geophysicae Space weather effects on radio propagation : study of the CEDAR , GEM and ISTEP storm events," hal. 1479–1490, 2008.
- [2] N. M. Maslin, *HF Communications: A Systems Approach*. 1987.
- [3] M. AHMED, S. G. SALES, dan W. B. (University of L. REINISCH, "FREQUENCY MANAGEMENT OF A LONG RANGE HF COMMUNICATION LINK US-UK OBSERVATIONAL DATA," pp. 289–292.
- [4] I. Tsagouri, I. Galkin, dan T. Asikainen, "Long-term changes in space weather effects on the Earth's ionosphere," *Asr*, vol. 59, no. October, hal. 351–365, 2016.
- [5] R. X. Zhang dan T. Kien, "The Variation of foF2 in the equatorial ionosphere," in *Radio Science Conference*, 2004.
- [6] L. Perrone dan G. De Franceschi, "Solar , ionospheric and geomagnetic indices," no. June 1998, 2017.
- [7] N. Jakowski, C. Borries, dan V. Wilken, "Introducing a disturbance ionosphere index," vol. 47, no. November 2011, hal. 1–9, 2012.
- [8] A. Santoso *et al.*, "GEOMAGNETIC STORM EFFECT TO THE FOF2 IONOSPHERE RESPONSE AT SUMEDANG OBSERVATORY," in *Seminar Nasional Sains Antariksa*, 2017.