

## ANALISIS *BEAMFORMING* ADAPTIF PADA *SMART ANTENNA* MENGGUNAKAN ALGORITMA *ROBUST KALMAN FILTER* PADA KONDISI *RICIAN FADING* NONSTASIONER

Andriana Kusuma Dewi  
Sholeh Hadi Pramono  
Onny Setyawati

**Abstrak:** Tujuan penelitian untuk menerapkan algoritma *filter Kalman robust* pada kondisi *rician fading* non stasioner berdasarkan analisis perbandingan jumlah *nulling*, nilai *output* HPBW dan kecepatan konvergensi untuk mencapai bobot minimum. Gangguan dapat diminimalisasi dengan menggunakan *smart antenna* yang mengubah pola radiasi antenna untuk menyesuaikan diri terhadap *noise* dan interferensi. *Smart antenna* dapat menggunakan algoritma *filter Kalman Robust* pada kondisi *Rician Fading non stasioner* berdasarkan analisis perbandingan jumlah *nulling*, nilai *output* (*Half Power Beam Width*) HPBW dan kecepatan konvergensi untuk mencapai bobot minimum. *Smart antenna* disusun linear (*Uniform Linear Array*) ULA dengan jarak antar elemen  $1/2\lambda$ ,  $1/4\lambda$ , dan  $1/8\lambda$  serta jumlah elemen sebanyak 2, 4, 6, 8, dan 10 array. Kedua variabel tersebut dibandingkan performansinya dan didapatkan bahwa jarak antar elemen  $1/2\lambda$  dan jumlah array 10 elemen mencapai *nulling* interferensi sebanyak 8 *nulling*, konvergensi bobot minimum dapat dicapai dalam 10 iterasi dan HPBW terkecil yaitu  $14,20^\circ$ .

**Kata-kata Kunci:** *beamforming adaptif, filter Kalman robust, smart antenna*

**Abstract:** *The Analysis of Adaptive Beamforming on Smart Antenna using Robust Kalman Filter Algorithm on the Condition of Nonstationary Rician Fading. This study aims to apply the robust Kalman filter algorithm in non-stationary Rician Fading conditions based on a comparative analysis of the amount of nulling, the output value of HPBW and the speed of convergence to achieve the minimum weight. The Smart Antenna is linearly arranged with the distance between elements are  $1/2\lambda$ ,  $1/4\lambda$ , and  $1/8\lambda$  and the number of elements as many as 2, 4, 6, 8, and 10 array. The performance of those two variables were compared and the results show that the distance between the element of  $1/2\lambda$  and the number of array of 10 elements achieves the highest nulling interference by 8 nulling, the minimum weight convergence can be achieved in 10 iterations and the smallest HPBW is  $14.20^\circ$ .*

**Keywords:** *beamforming adaptif, robust Kalman filter, smart antenna*

Sistem komunikasi *wireless* digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Banyaknya pengguna dan *bandwidth* yang terbatas pada sistem ini dapat menyebab-

---

Andriana Kusuma Dewi adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Malang. Email: dewi.elektro.um@gmail.com. Sholeh Hadi Pramono dan Onny Setyawati adalah Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Alamat Kampus: Jl. Veteran, Malang 65145.

kan gangguan komunikasi satu sama lain. Penyebab gangguan penerimaan sinyal diakibatkan penggunaan sistem antena konvensional mempunyai pola radiasi ke segala arah (*omnidirectional*) atau berbagai arah dengan sudut tertentu (*sectorized*). Pola radiasi yang tidak tepat sasaran terhadap pengguna lain mengakibatkan gangguan dan terjadi ketidakefisienan pemakaian daya. Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah menggunakan sistem *beamforming* adaptif pada *smart antenna*.

*Smart antenna* adalah susunan antena *array* yang dapat diatur arah radiasinya dengan mengubah parameter antara lain fasa atau amplitude gelombang yang menuju setiap elemennya. Sinyal yang datang diproses terlebih dahulu dan dilakukan adaptasi pembobotan untuk menyesuaikan bentuk *beam* dengan karakteristik sinyal yang datang. Adaptasi pembobotan ini akan menghasilkan pola radiasi yang maksimum ke arah sinyal yang diinginkan. Adaptasi inilah merupakan bagian pintar pada *smart antenna*. Antena bodoh tidak dapat melakukan adaptasi pada karakteristik sinyal sehingga mempunyai bentuk lobus yang tetap (Ivica, dkk., 2003).

Teknik pada antena *array* yang memberikan penerimaan maksimum pada arah yang ditentukan dengan melakukan estimasi kedatangan sinyal dari arah yang ditentukan sekaligus menolak sinyal yang tidak diinginkan dari arah lain disebut *beamforming* adaptif. Berbagai algoritma *beamforming* adaptif yang sering digunakan adalah *Least Mean Square* (LMS), *Normally Least Mean Square* (NLMS) (Yasin, dkk., 2010), *Recursive Least Square* (RLS) (Narayadhas dan Ashok, 2012), *Minimum Variance Distortionless Response* (MVDR), *Simple Matrix Inversion* (SMI) (Khan dan Razzaq, 2010) dan *Robust Kalman filter* (Bakhar, dkk., 2010). Algoritma-algorit-

ma tersebut memiliki keunggulan sendiri dan kerugian berdasarkan konvergensi kecepatan, kompleksitas, dan aspek lain yang terkait.

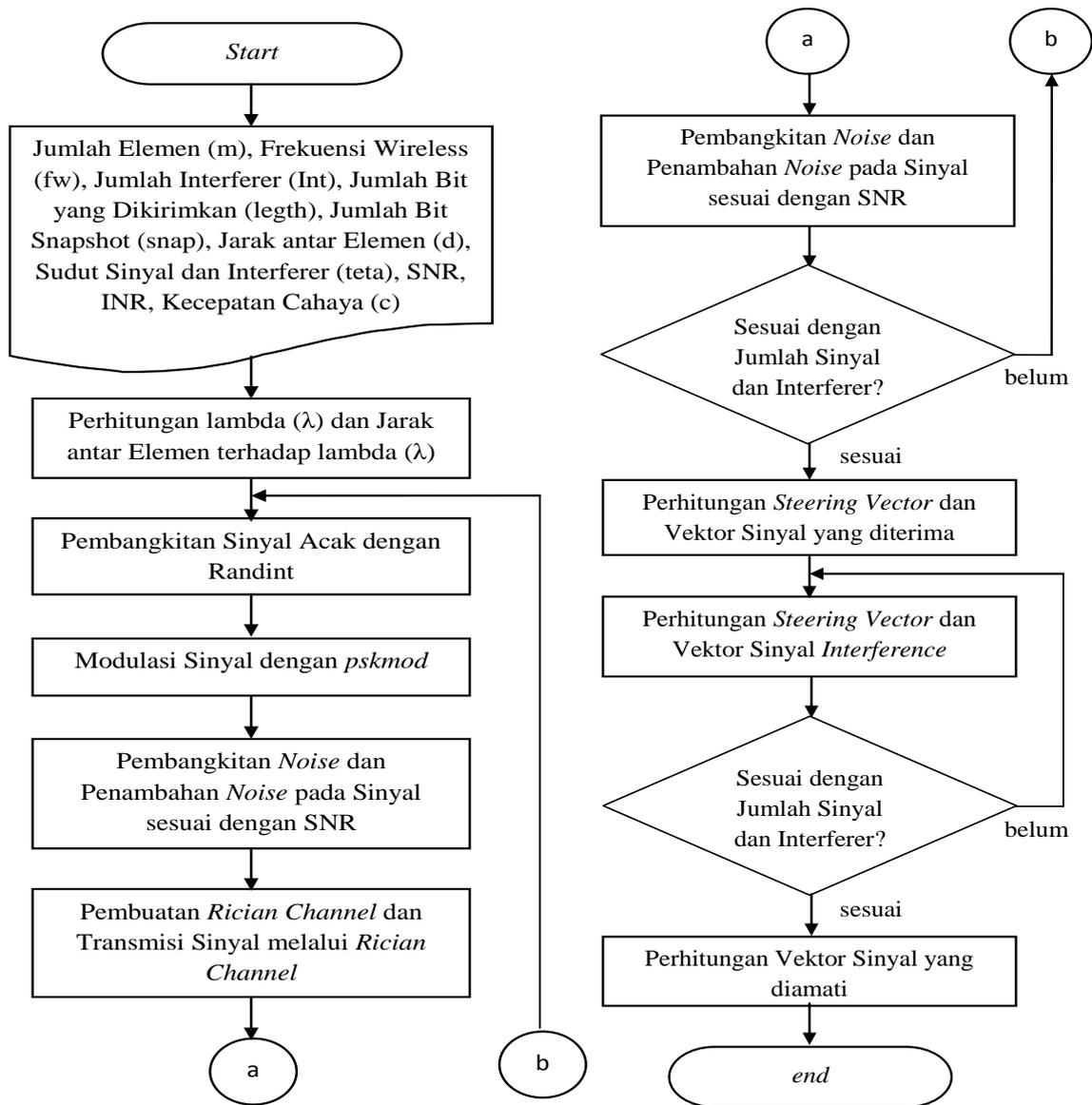
Penelitian ini, dilakukan analisis dan simulasi *beamforming adaptif* pada kondisi *rician fading* menggunakan algoritma *filter Kalman robust* karena terbukti memiliki ketahanan yang baik dan konvergensi yang cukup cepat pada kondisi nonstasioner.

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma *filter Kalman robust* pada kondisi *rician fading non stasioner* berdasarkan analisis perbandingan jumlah *nulling*, nilai *output* HPBW dan kecepatan konvergensi untuk mencapai bobot minimum. Jarak antar elemen  $1/2\lambda$ ,  $1/4\lambda$ , dan  $1/8\lambda$  dan jumlah elemen sebanyak 2, 4, 6, 8, dan 10 *array* yang disusun linear ULA dibandingkan nilai *Nulling interferensi*, *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR), pengarah sudut pada *Angle of Arrival* (AOA), nilai HPBW, kecepatan konvergensi untuk mencapai bobot minimum dan nilai bobot minimum.

## METODE

Konfigurasi *smart antenna* yang digunakan adalah ULA dengan berbagai macam jarak antar *array* dan menggunakan metode *beamformer* adaptif. *Filter Kalman robust* digunakan untuk melakukan optimasi *beamformer* berdasarkan bobot tiap elemen (*weighting element*). Perbandingan jumlah *array* dan jarak antar *array* antena yang optimal disimulasikan pada kondisi tertentu. Metode penelitian secara *flowchart* dapat dilihat pada Gambar 1.

Langkah penelitian yang pertama adalah menentukan nilai variabel awal yang mempengaruhi pola radiasi yang akan diteliti. Variabel yang ditentukan yaitu sudut kedatangan sinyal yang di-



**Gambar 1. Metode Penelitian**

inginkan, sudut sinyal interferensi, SNR, dan sinyal.

Langkah kedua adalah penentuan jarak antar elemen *array* dan jumlah elemen *array*. Nilai jarak antar *array* yang ditentukan adalah  $1/2\lambda$ ,  $1/4\lambda$ , dan  $1/8\lambda$ . Jumlah elemen *array* yang ditentukan adalah 2, 4, 6, 8, dan 10 *array* yang disusun secara ULA. Hasil analisis akan menunjukkan nilai yang optimal dari kedua variabel ini.

Langkah ketiga adalah pemodelan sinyal. Asumsi beberapa parameter yang telah ditentukan akan dimodelkan dalam

bentuk matematis untuk membantu perhitungan, simulasi, dan analisis yang akan dilakukan. Perhitungan *filter Kalman robust* dilakukan sebagai langkah selanjutnya. Sinyal yang diinginkan berupa sinyal digital acak yang dimodulasi menggunakan *phase shift keying* (PSK). Model antenna yang dipakai pada simulasi adalah antenna ULA dengan jumlah *sample* sinyal sebanyak 100. Sudut kedatangan sinyal yang diinginkan pada  $0^\circ$  dengan SINR 10 dB dan sudut kedatangan sinyal *interference* tertentu pada  $50^\circ$  dan  $-40^\circ$  dengan SINR -20 dB.

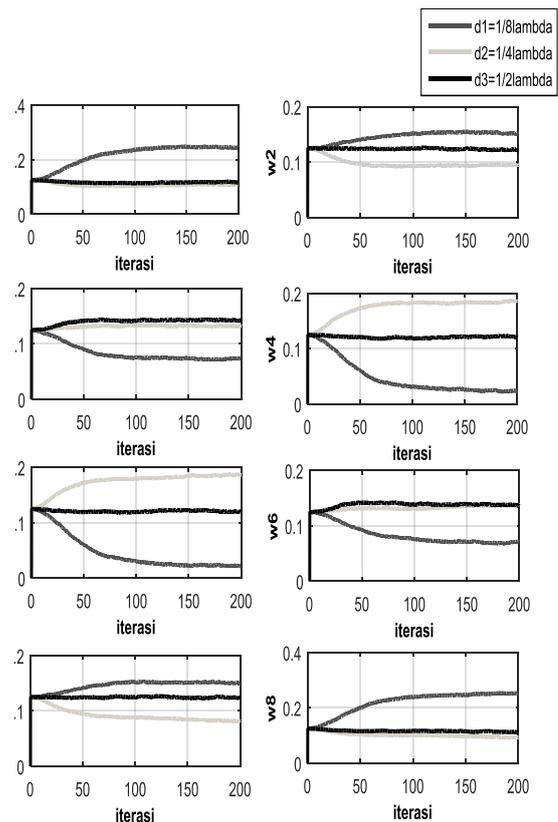
Kondisi *rician fading* yang dimodelkan pada artikel ini adalah model non-stasioner yang merupakan respon saluran pada kondisi user berpindah dengan kecepatan yang berubah-ubah. Parameter yang mempengaruhi kondisi sinyal transmisi adalah  $\gamma = 1.00001$ ,  $\sigma_s = 10^{-8}$ . *Rician fading* diasumsikan mempunyai 3 jalur dengan *doppler shift* maksimum sebesar 10 Hz, rasio daya langsung dengan sinyal yang terbesar sebesar 2,5 dB. Delay jalur masing-masing 0 detik,  $0,4 \times 10^{-12}$  detik dan  $0,6 \times 10^{-12}$  detik. Rerata gain masing-masing jalur sebesar 0 dB, -10 dB, dan -10 dB. Selanjutnya dilakukan analisis pengaruh perubahan parameter tersebut pada pembentukan *beam antenna*.

Setelah dilakukan perhitungan *filter Kalman robust*, dilakukan simulasi *filter Kalman robust* pada *smart antenna*. Tahap ini dilakukan secara rekursif hingga mendapatkan hasil yang diinginkan. Performansi antenna dengan menggunakan *filter Kalman robust* dengan kondisi *rician fading* yang dianalisis dari segi *nulling* interferensi, SINR, pengarahan pada sudut AOA, nilai HPBW, dan bobot minimum pada arah sinyal dan interferensi tertentu. Kesimpulan dari analisis yang dilakukan yaitu merupakan perbandingan performansi antenna dalam berbagai jumlah *array* dan dalam berbagai posisi penempatan *array* dengan menggunakan *filter Kalman robust*.

## HASIL

Simulasi yang dilakukan untuk membandingkan performansi algoritma *filter Kalman robust* maka, dibandingkan beberapa parameter yaitu: *nulling* interferensi, SINR, pengarahan pada sudut AOA, nilai HPBW, dan bobot minimum pada arah sinyal dan interferensi tertentu dari perbandingan jarak antar elemen dan jumlah elemen *array* dengan menggunakan *filter Kalman robust* pada kondisi *rician fading*.

Pada beberapa perbandingan parameter yang telah dilakukan seperti yang telah dipaparkan pada hasil simulasi, maka dapat dianalisis keandalan *filter Kalman robust*. Pada Tabel 1 dapat dilihat antenna dengan konfigurasi jarak antar elemen  $1/2\lambda$  mempunyai jumlah *nulling* yang lebih banyak daripada jarak antar elemen  $1/8\lambda$ , dan  $1/4\lambda$ . *First beam* dicapai dengan sudut *nulling* yang lebih kecil dengan jarak antar elemen  $1/2\lambda$  lebih baik dalam penerimaan sinyal dan penolakan sinyal interferensi. Algoritma *filter Kalman robust* menjadikan nilai SINR menjadi lebih baik dan nilai rerata bobot menjadi lebih minimum sehingga penerimaan sinyal pada antenna menjadi lebih kuat jika dibandingkan dengan antenna dengan robust MVDR konvensional.



**Gambar 2. Hasil Perbandingan Iterasi Konvergensi Bobot tiap Array Nulling Interferensi pada Smart Antenna pada Kondisi Stasioner Berbagai Jarak antar Elemen  $d$  ( $d1 = 1/8\lambda$ ,  $d2=1/4\lambda$ ,  $d3=1/2\lambda$ )**

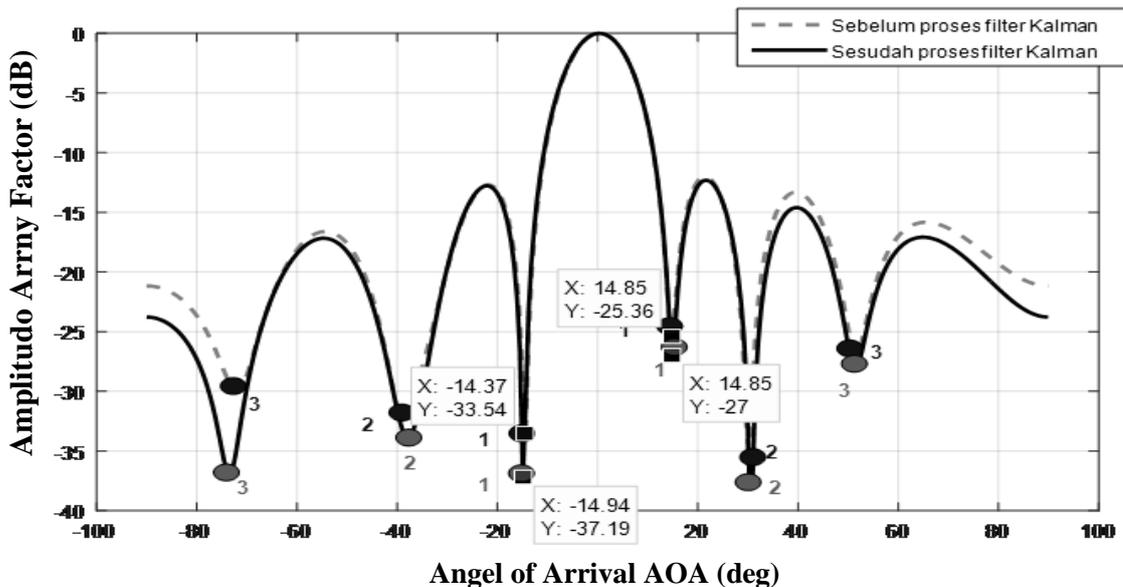
Pengarahannya *beam* terhadap sinyal sumber dicapai paling baik oleh antena dengan jarak antar elemen  $1/2\lambda$ . Hasil ini dapat dilihat pada Tabel 1 dengan sudut penerimaan yang mendekati sudut  $0^\circ$  yaitu sebesar  $0,53^\circ$ . Jarak antar elemen mempengaruhi kecepatan konvergensi algoritma *filter Kalman robust* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Terlihat dari semua bobot *array*, konvergensi paling lambat dicapai oleh antena dengan jarak antar elemen  $1/8\lambda$  dan konvergensi paling cepat dicapai oleh antena dengan jarak antar elemen  $1/2\lambda$ . Konvergensi ini mempengaruhi seberapa cepat *filter Kalman robust* dapat menyesuaikan bentuk *beam* sinyal sumber dan sinyal interferensi pada sudut kedatangan tertentu. Dari gambar tersebut dapat disimpulkan bahwa an-

tena dengan jarak antar elemen  $1/2\lambda$  mempunyai kemampuan adaptasi paling cepat dibandingkan antena dengan jarak antar elemen  $1/8\lambda$  dan  $1/4\lambda$ .

Algoritma *filter Kalman robust* nampak memperbaiki *nulling* interferensi dengan *nulling gain* yang lebih rendah pada setiap *nulling*-nya. Hal ini dijelaskan lebih lanjut pada Gambar 3. Sebagai contoh *first beam* sebelum *filter Kalman robust*, mencapai nilai  $-14,37^\circ$  dengan *nulling*  $-33,54$  dB dan  $-25,36^\circ$  dengan *nulling*  $-32,11$  sedangkan setelah proses *filter robust* Kalman mencapai nilai  $-14,94^\circ$  dengan *nulling*  $-37,19$  dB dan  $14,85^\circ$  dengan *nulling*  $-27$  dB. Hal ini menunjukkan algoritma *filter Kalman robust* bekerja baik dalam pelemahan radiasi interferensi dan pelemahan daya *sidelobe* se-

**Tabel. 1 Hasil Perbandingan SINR, Rerata Bobot, dan AOA Filter Kalman Robust pada Smart Antenna pada Kondisi Rician Berbagai Jarak antar Elemen  $d$  ( $d_1= 1/8\lambda$ ,  $d_2= 1/4 \lambda$ ,  $d_3= 1/2\lambda$ )**

Jarak Antar Elemen	SINR		HPBW	AOA	Daya Minimum Interferensi	
	Sebelum	Sesudah			Sebelum	Sesudah
	$d_1= 1/8\lambda$	0,50			1,53	$55,35^\circ$
$d_2= 1/4\lambda$	0,84	1,83	$40,76^\circ$	$0,62^\circ$	0,19	0,16
$d_3= 1/2\lambda$	0,82	1,87	$17,71^\circ$	$2,82^\circ$	0,18	0,17



**Gambar 3. Plot Amplitudo untuk Jarak antar Elemen  $d=1/2\lambda$  Sebelum dan Sesudah Filter Kalman Robust pada Kondisi Rician Fading**

**Tabel. 2 Hasil Perbandingan SINR, Rerata Bobot, dan AOA *Robust Kalman Filter* pada *Smart Antenna* pada Kondisi Rician Berbagai Jarak antar Elemen  $d$  ( $d_1 = 1/8\lambda$ ,  $d_2=1/4\lambda$ ,  $d_3=1/2\lambda$ )**

Jumlah Elemen <i>Array</i>	SINR		HPBW	AOA	Rerata Bobot	
	Sebelum	Sesudah			Sebelum	Sesudah
m1= 2 elemen	0,02	1,02	86,07°	3,97°	0,51 - 0,01i	0,51 + 0,02i
m2= 4 elemen	0,51	1,51	42,45°	-1,764°	0,25 - 0,01i	0,24 - 0,02i
m3= 6 elemen	0,69	1,69	24,23°	-0,05°	0,16 - 0,01i	0,16 + 0,001i
m4= 8 elemen	0,60	1,61	18,02°	-0,05°	0,12 + 0,003i	0,13 + 0,003i
m5= 10 elemen	0,60	1,58	14,20°	-0,05°	0,102 + 0,005i	0,10 + 0,003i

hingga daya lebih terpusat pada kondisi nonstasioner.

Perbandingan jumlah elemen *array* sebesar 2, 4, 6, 8, dan 10 dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 2 menunjukkan bahwa antenna dengan jumlah 10 elemen mempunyai HPBW paling sempit dengan pengarah sudut mendekati 0° yaitu 14,05°. Bobot paling minimum dicapai oleh antenna dengan 10 elemen sehingga pelemahan daya interferensi dapat dicapai lebih optimal.

## PEMBAHASAN

Algoritma *filter Kalman robust* yang digunakan pada penelitian ini adalah algoritma yang telah dipaparkan pada penelitian El Keyi, dkk. (2005). Pada penelitian tersebut dijabarkan pembentukan *state space* untuk pencapaian nilai *robust* dengan menggunakan dasar pada algoritma MVDR. Penyempurnaan algoritma MVDR dilakukan kembali oleh El Keyi, dkk. (2005) dengan berbasiskan *Kalman filter* sehingga mencapai kondisi *robust* pada keadaan *nonstasioner*.

Penelitian ini menerapkan algoritma MVDR pada kondisi *Rician fading* dengan keadaan nonstasioner. Keadaan *nonstasioner* dinyatakan dengan mengubah nilai  $\gamma = 1,00001$ .  $\gamma$  memegang peranan dalam perubahan keadaan stasioner menjadi nonstasioner. Pemodelan sinyal yang diterima oleh antenna merujuk pada penelitian Khan dan Razzaq (2010).

Algoritma *filter Kalman robust* dapat mencapai nilai iterasi yang cukup cepat pada jarak antar antenna  $\lambda/2$  yaitu tidak lebih dari 10 iterasi. Kecepatan konvergensi mencapai nilai bobot minimum juga ditunjukkan pada jarak antar antenna  $\lambda/4$  dan  $\lambda/8$  yaitu tidak melebihi 30 iterasi. Algoritma adaptif *beamforming* yang lain menunjukkan hasil yang kurang baik untuk kecepatan konvergensi nilai bobot minimum. Pada penelitian Rahaman, dkk. (2013) algoritma LMS menunjukkan kecepatan konvergensi bobot minimum pada 60 iterasi. Penelitian Narayadas dan Ashok (2012) yang dilakukan sebelum penelitian Rahaman, dkk. (2013) menggunakan algoritma LMS yang dipadukan dengan algoritma Kalman filter. Perpaduan kedua algoritma tersebut menunjukkan perbaikan pencapaian konvergensi bobot minimum menjadi 50 iterasi. Penelitian Sahwan dan Shireen (2015) membandingkan kombinasi algoritma MVDR dengan LMS dan MUSIC dengan LMS. Hasil yang didapatkan MVDR dengan LMS mempunyai *nulling* interferensi yang lebih baik.

Penelitian Khan dan Razzaq (2010) mencoba mengembangkan *robust adaptive beamforming* dengan memadukan *Kalman filter* dengan MVDR pada kondisi stasioner. Pencapaian konvergensi bobot minimum pada kondisi *rician fading* nonstasioner yang didapat pada penelitian ini sesuai dengan penelitian Khan dan Razzaq (2010) yang memaparkan bahwa algoritma *filter Kalman robust* da-

pat melakukan konvergensi bobot yang cukup singkat tidak lebih dari 25 iterasi untuk beberapa kondisi pemodelan non stasioner yang telah dilakukan. Konvergensi yang cukup cepat oleh *filter Kalman robust* sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Welch dan Bishop (2006), bahwa dengan penentuan variabel awal yang tepat akan membuat filter Kalman melakukan estimasi dan mencapai nilai konvergensi yang lebih cepat.

Pencapaian nilai AOA pada algoritma *filter Kalman robust* dapat dicapai, meskipun pada keadaan nonstasioner. Hal ini sesuai dengan penelitian Khan dan Razzaq (2010). Algoritma yang telah digunakan pada beberapa penelitian sebelumnya, juga mencapai nilai AOA yang cukup baik. Penelitian Omgond dan Hema (2014) mensimulasikan algoritma *constrained Kalman filter* pada sinyal yang diinginkan  $0^\circ$  dan didapatkan AOA yang tepat yaitu  $0^\circ$ .

Pencapaian *nulling* interferensi didapatkan cukup baik pada kondisi *Rician fading nonstasioner* yaitu mencapai nilai lebih dari -30dB. Penelitian Omgond dan Hema (2014) sedikit berbeda dengan yang dicapai Khan dan Razzaq (2010) yang mencapai kedalaman *nulling* lebih dari -50 dB. Hal ini dapat diakibatkan penentuan parameter beberapa *kovarian state*. Nilai kovarian ini merupakan variabel yang dapat diubah-ubah sehingga akan mempengaruhi hasil iterasi akhir dari nilai bobot minimum yang diinginkan. Pada penelitian Traa dan Smaragdis (2014) perubahan kovarian nilai *error* awal dan penentuan nilai *state* awal secara acak dapat merubah kecepatan konvergensi dan jumlah iterasi dari *filter Kalman*. Penentuan variabel *variance* dari pengukuran juga menentukan hasil akhir dan kecepatan konvergensi.

Pencapaian nilai tersebut masih dikatakan cukup baik mengingat bahwa kondisi yang digunakan adalah *Rician fading nonstasioner*. Penelitian yang di-

lakukan oleh Yadav dan Pathil (2013) menunjukkan performansi pola radiasi menggunakan beberapa algoritma pada kondisi stasioner. Algoritma LMS mencapai *nulling* interferensi tidak lebih dari -40 dB. Algoritma NLMS mencapai nilai *nulling* antara -60 dB tetapi iterasi yang dibutuhkan mencapai lebih dari 200 iterasi sehingga kurang baik untuk kondisi nonstasioner.

Jarak antar elemen berpengaruh pada kecepatan nilai konvergensi bobot minimum. Jumlah elemen antenna berpengaruh terhadap jumlah *nulling* dan lebar HPBW. Yasin, dkk. (2010) memaparkan beberapa perbandingan jarak antar elemen dan jumlah elemen array yang mempengaruhi banyaknya *nulling* yang muncul. Nilai HPBW umumnya tidak dimunculkan pada beberapa penelitian *beamforming* adaptif. Nilai HPBW dapat menunjukkan pola radiasi sudah menuju sinyal yang diinginkan. Penghematan daya dapat dilakukan bila nilai HPBW sempit dan mengarah pada sinyal yang diinginkan.

## SIMPULAN DAN SARAN

Hasil *filter Kalman robust* pada kondisi *rician fading* cukup menunjukkan hasil yang baik. Hal ini dapat dilihat dari perbandingan hasil pada kondisi *Rician fading nonstasioner* dengan kondisi stasioner pada algoritma adaptif *beamforming* yang lain. Perubahan dan penentuan variabel awal pada beberapa kovarian masih harus diteliti kembali sehingga dapat dihasilkan hasil yang lebih optimal. Berdasarkan hasil penelitian disarankan untuk: (1) penerapan algoritma *filter Kalman robust* diterapkan pada konfigurasi antenna *array* yang lain, misalkan *Circular Array (UCA)* atau antenna geometris dengan matriks  $m \times m$  dan (2) perbandingan parameter estimasi awal pada *filter Kalman robust* dapat diteliti sehing-

ga mendapatkan hasil estimasi awal yang dapat mempercepat konvergensi sistem.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bakhar, Md., Vani, R.M., & Hunagund, P.V. 2010. Performance Analysis of MUSIC and LMS Algorithms for Smart Antenna Systems. *International Journal of Electronics Engineering*, 2(2): 271–275.
- El-Keyi, A., Kirubarajan, T., & Gershman, A.B. 2005. Signal Processing, *IEEE Transactionson*. 53(8): 3032–3041.
- Ivica, S., Anja, S., & Juan R.M. 2003, *Smart Antenna Systems for Mobile Communications*. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne.
- Khan, M.N. & Razzaq, M.S. 2010. Performance Comparison of Adaptive Beamforming Algorithms for Smart Antenna Systems. *World Applied Sciences Journal*, 11(7): 775–785.
- Narayadas, M. & Ashok, K. 2012. Kalman Based LMS and RLS Techniques in Smart Antenna. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 2(5): 116–118.
- Omgond, P.D. & Hema, S. 2014. *Constrained Kalman Filter Based Interference Suppression in Phased Arrays*. International Microwave and RF Conference.
- Rahaman, D.M.M., Hossain, Md.M., & Rana, Md.M. 2013. Least Mean Square (LMS) for Smart Antenna. *Universal Journal of Communications and Network*. 1(1): 16–21.
- Sahwan, M. & Shireen, S. 2015. Adaptive Beam Forming Music & MVDR LMS Algorithm Over Smart Antenna. *International Journal of Engineering Technology and Applied Science*, 1(2): 1–4.
- Traa, J. & Smaragdis, P. 2014. *A Wrapped Kalman Filter for Azimuthal Speaker Tracking*. IEEE signal processing letters.
- Welch, G. & Bishop, G. 2006. UNC-Chapel Hill, TR 95-041, July 24: 1–16.
- Yadav, P. & Pathil, S. 2013. A Comparative Beamforming Analysis of LMS & NLMS Algorithms for Smart Antenna. *International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology (IJARCET)*. 2(8): 2478–2481.
- Yasin, M., Akhtar, P., & Valliuddin. 2010. Performance Analysis of LMS and NLMS Algorithms for a Smart Antenna System. *International Journal of Computer Applications*. 4(9): 25–32.