

Analisis Beamforming Adaptif pada *Smart Antenna* Menggunakan Algoritma *Robust Kalman Filter* : kondisi stasioner dan nonstasioner

Andriana Kusuma Dewi, Sholeh Hadi Pramono, Onny Setyawati

Abstrak-- Permasalahan kurang efektifnya pola radiasi antenna sering terjadi pada sistem komunikasi personal dan bergerak. Hal ini diakibatkan gangguan dari pemakai komunikasi lain. Gangguan dapat diminimalisasi dengan menggunakan *Smart antenna* yang mengubah pola antenna untuk menyesuaikan diri terhadap noise dan interferensi. Paper ini berisi simulasi dan analisa beamforming adaptif pada *smart antenna* menggunakan algoritma *Robust Kalman filter*. Algoritma *robust Kalman filter* digunakan pada berbagai jarak antar elemen dan jumlah elemen antenna. Antena dengan 6 elemen dan jarak antar elemen 0.5 λ mencapai nilai pengarah beam pada AoA pada 0° dicapai dengan sudut 0.5273°, *Nulling* interferensi -40° dan 50° dicapai dengan -40.7° dan 49.8°, SINR 10.737, HPBW 23.99° dan NIS 0.96. Beberapa nilai parameter tersebut merupakan nilai yang terbaik dibandingkan jarak antar antenna dan jumlah elemen antenna yang lain. Nilai yang dicapai tidak terlalu jauh berbeda pada kondisi nonstasioner.

Kata Kunci—*Smart antenna, Beamforming Adaptif, Robust Kalman filter.*

I. PENDAHULUAN

SISTEM komunikasi *wireless* digunakan dalam berbagai macam aplikasi. Banyaknya pengguna dan *bandwidth* yang terbatas pada sistem ini dapat menyebabkan gangguan komunikasi satu sama lain. Sistem antenna konvensional umumnya mengatasi permasalahan ini dengan menggunakan antenna dengan pola radiasi ke segala arah (*omnidirectional*) atau berbagai arah dengan sudut tertentu (*sectorized*). Pola radiasi yang tidak tepat sasaran mengakibatkan gangguan terhadap pengguna lain dan terjadi ketidakefisienan pemakaian daya.

Salah satu solusi untuk mengatasi permasalahan ini adalah menggunakan sistem *beamforming* adaptif pada

Andriana Kusuma Dewi adalah mahasiswa program magister elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (penulis dapat dihubungi melalui nomor telepon 081216827347; email dewilee87@yahoo.co.id)

Sholeh Hadi Pramono adalah Ketua Jurusan Teknik Elektro sekaligus dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia (Program magister Teknik Elektro, Universitas Brawijaya Jl. MT Haryono 167, Malang 65145 Indonesia. <http://ppsub.ub.ac.id>)

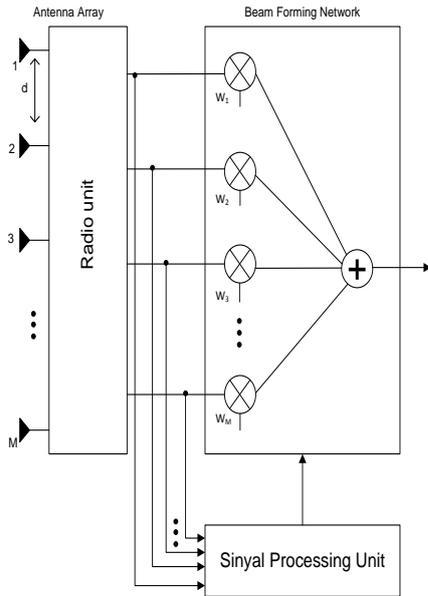
Onny Setyawati adalah salah satu dosen Teknik Elektro Universitas Brawijaya, Malang Indonesia, Indonesia Program magister Teknik Elektro, Universitas Brawijaya Jl. MT Haryono 167, Malang 65145 Indonesia. <http://ppsub.ub.ac.id>)

smart antenna. *Smart antenna* adalah susunan antenna *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[1].

Teknik pada antenna *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 LMS, NLMS [2], *Recursive Least Square* (RLS) [3], *Constant Modulus Algorithm* (CMA)[4], *Sample Matrix Inversion* (SMI) [5], *Minimum Variance Distortionless Response* (MVDR) [5], *Robust Kalman filter* [1][5] dan lain sebagainya. Simulasi dan analisa *beamforming adaptif* menggunakan algoritma *Robust Kalman filter* dilakukan pada penelitian ini karena *robust Kalman filter* terbukti memiliki ketahanan yang baik pada kondisi nonstasioner dan konvergensi yang cukup cepat dibandingkan dengan algoritma *beamforming adaptif* yang lain. Parameter dari beberapa macam antenna yang berbeda pada *smart antenna* diteliti untuk mengetahui jumlah elemen antenna dan jarak antar antenna yang terbaik pada keadaan stasioner dan nonstasioner.

II. TEORI FILTER KALMAN

Model *smart antenna* yang digunakan adalah *Uniform Linear Array* dengan elemen sebanyak M dan ditempatkan sama dengan jarak d dan sinyal user datang pada arah sudut θ seperti ditunjukkan pada Gambar. 1[10]. Algoritma *Robust Kalman filter* digunakan untuk mengatur bobot secara adaptif untuk mengoptimalkan penerimaan pada arah yang diinginkan θ_0 . Faktor *array* untuk elemen (M) yang ditempatkan dengan jarak sama (



Gambar. 1 [10]. Sistem smart antenna

$$AF(\theta) = \sum_{n=0}^{N-1} A_n \cdot e^{jn(-\frac{2\pi d}{\lambda} \sin\theta + \alpha)} \quad (1)$$

α adalah elemen pergeseran fasa yang dideskripsikan sebagai berikut :

$$\alpha = \frac{2\pi d}{\lambda_0} \sin\theta_0 \quad (2)$$

θ_0 merupakan sudut sinyal yang diinginkan.

Robust Kalman filter merupakan filter Kalman yang tahan pada perubahan lingkungan, yang dimaksud perubahan lingkungan disini adalah perubahan parameter. Adapun *robust Kalman filter* yang dimaksud adalah metode *robust MVDR* yang berbasiskan filter Kalman. Metode *beamformer robust MVDR* mencoba untuk meminimalkan keluaran total gangguan sekaligus menjaga sinyal keluaran konstan dalam arah pengguna yang diinginkan. [9]. Perhitungan bobot pada algoritma *robust Kalman filter* adalah sebagai berikut [1][4] untuk $k \geq 0$

$$y(k) = \mathbf{w}^T(k-1)\mathbf{x}(k) = \mathbf{w}^H(k)\mathbf{x}(k) \quad (12)$$

$y(k)$ adalah output filter, $\mathbf{w}(k)$ adalah fungsi bobot yang telah mengalami pembaharuan pada algoritma *robust Kalman filter*. Untuk pembaharuan nilai bobot pada *robust Kalman filter* terbagi menjadi beberapa tahap yaitu pemodelan *state space*, prediksi proses, perhitungan gain, prediksi pengukuran dan proses filtering. Filter Kalman yang digunakan adalah *Second Order Cone Programming (SOCP)* sehingga algoritma *Robust Minimum Variance Distortionless Response (MVDR)* tercapai :

$$\min_{\mathbf{w}} MSE \text{ subject to } h_2(\mathbf{w}(k))=1 \quad (14)$$

Dengan nilai

$$h_2(\mathbf{w}(k)) = \varepsilon^2 \mathbf{w}^H(k)\mathbf{w}(k) - \mathbf{w}^H(k)\mathbf{a}\mathbf{a}^H\mathbf{w}(k) + \mathbf{w}^H(k)\mathbf{a} + \mathbf{a}^H\mathbf{w}(k) \quad (15)$$

Proses pembaharuan bobot dimodelkan dalam bentuk *state space* sebagai berikut :

$$\mathbf{w}(k+1) = \gamma\mathbf{w}(k) + \mathbf{v}_s(k) \quad (16)$$

γ merupakan parameter tetap untuk pemodelan keadaan stasioner dan nonstasioner. $\mathbf{v}_s(k)$ adalah vektor *noise* proses yang diasumsikan merupakan *Additive White Gaussian Noise (AWGN)* dengan rata nol dan mempunyai *covariance* matriks $\mathbf{Q} = \sigma_s^2\mathbf{I}$. Sehingga persamaan pengukuran menjadi :

$$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^H(k)\mathbf{w}(k) \\ h_2(\mathbf{w}(k)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_1(k) \\ v_2(k) \end{bmatrix} \quad (17)$$

Persamaan pengukuran dapat disederhanakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\mathbf{z} = \mathbf{h}(\mathbf{w}(k)) + \mathbf{v}_m(k) \quad (18)$$

Pembaharuan kovarian matriks diformulasikan sebagai berikut :

$$\mathbf{P}(k | k-1) = \gamma^2\mathbf{P}(k-1 | k-1) + \mathbf{Q} \quad (21)$$

Setelah dilakukan pembaharuan nilai kovarian, dilakukan

$$\mathbf{H}_w(k, \gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1)) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^H(k) \\ \varepsilon^2\gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1)^H(k) - (\mathbf{a}\mathbf{a}^H\gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1))^H + \mathbf{a}^H \end{bmatrix} \quad (22)$$

$$\mathbf{S}(k) = \mathbf{H}_w(k, \gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1))\mathbf{P}(k | k-1) \mathbf{H}_w^H(k, \gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1)) + \frac{1}{2} \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (23)$$

$$\mathbf{G}(k) = \mathbf{P}(k | k-1)\mathbf{H}_w^H(k, \gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1))\mathbf{S}(k)^{-1} \quad (24)$$

Setelah perhitungan gain, maka dilakukan prediksi pengukuran sebagai berikut :

$$\hat{\mathbf{z}}(k, k-1) = \begin{bmatrix} \gamma\mathbf{x}^H(k)\hat{\mathbf{w}}(k-1) \\ h_2(\gamma\hat{\mathbf{w}}(k-1)) + \frac{1}{2} \text{tr}\{\mathbf{H}_{ww}^{(2)}\mathbf{P}(k | k-1)\} \end{bmatrix} \quad (25)$$

$\mathbf{H}_w(k, \mathbf{w}(k))$ dan $\mathbf{H}_{ww}^{(2)}$ merupakan matriks Jacobian dan Hessian dari matriks $\mathbf{h}(\mathbf{w}(k))$.

$$\mathbf{H}_w(k, \mathbf{w}(k)) = \begin{bmatrix} \mathbf{x}^H(k) \\ \varepsilon^2\mathbf{w}^H(k) - (\mathbf{a}\mathbf{a}^H\mathbf{w}(k))^H + \mathbf{a}^H \end{bmatrix} \quad (25)$$

$$\mathbf{H}_{ww}^{(2)} = \nabla_w \nabla_w^H \{\mathbf{h}(\mathbf{w}(k))\} = \varepsilon^2\mathbf{I} - \mathbf{a}\mathbf{a}^H$$

(26) Sedangkan \mathbf{R} adalah noise matriks kovarian sebagai berikut :

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 \\ 0 & \sigma_2 \end{bmatrix} \quad (27)$$

Setelah prediksi pengukuran selesai, maka dilakukan proses filtering dengan melakukan pembaharuan bobot melalui proses pembaharuan prediksi bobot dan matriks kovarian sebagai berikut :

$$\hat{\mathbf{w}}(k) = \hat{\mathbf{w}}(k-1) + \mathbf{G}(k)[z - \hat{z}(k|k-1)] \quad (28)$$

$$\mathbf{P}(k|k) = \mathbf{P}(k|k-1) - \mathbf{G}(k)\mathbf{S}(k)\mathbf{G}^H(k) \quad (29)$$

Proses pembaharuan bobot ini akan terus berulang sesuai jumlah iterasi yang diinginkan (sesuai dengan sinyal sample).

III. METODOLOGI PENELITIAN

Ada berbagai kondisi sinyal pada saat ditransmisikan. Pada umumnya sinyal tersebut akan mengalami gangguan berupa noise dan *interference*. Ada beberapa kondisi *noise* pada transmisi sinyal yaitu AWGN pada keadaan stasioner dan nonstasioner. Permasalahan *noise* dan *interference* ini dapat diatasi dengan menggunakan *smart antenna* pada *receiver*.

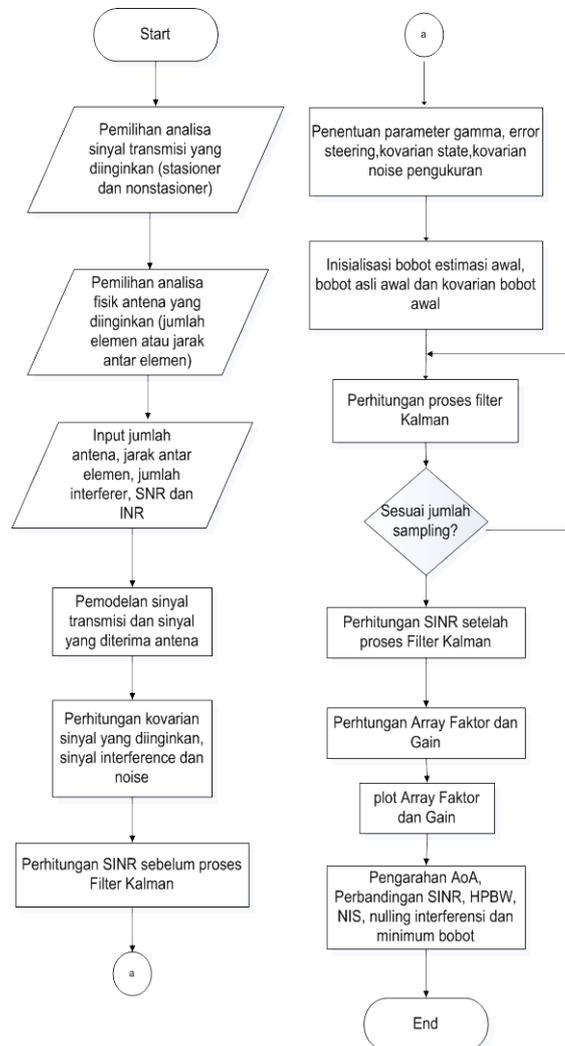
Konfigurasi *smart antenna* yang digunakan adalah *Uniform Linear Array* (ULA) dengan berbagai macam jarak antar *array* dan menggunakan metode *beamformer* adaptif untuk pengaturan *beamformernya*. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi *robust Kalman filter* pada *smart antenna* sebagai metode optimasi *beamformer* kemudian dilakukan analisis *error*. Analisis perbandingan untuk mencari jumlah *array* dan jarak antar *array* antenna yang optimal pada kondisi-kondisi yang diteliti. Performansi antenna yang dibandingkan adalah *Nulling interference*, *Signal to Interference and Noise Ratio* (SINR), nilai *Normalized Innovation Square* (NIS), pengarah sudut pada *Angle of Arrival* (AoA), nilai *Half Power Beamwidth* (HPBW) dan bobot minimum. Langkah penelitian dijabarkan sebagai berikut :

1. Penentuan nilai parameter yang akan dianalisis. Menentukan data-data parameter yang mengacu pada beberapa penelitian yang telah dilakukan, yaitu penentuan sudut kedatangan sinyal yang diinginkan dan sudut sinyal gangguan, penentuan SNR dan INR pada masing-masing sinyal.
2. Penentuan jumlah elemen *array* dan jarak *array*. Jumlah elemen *array* dan jarak *array* merupakan variable dalam simulasi ini, sehingga nilainya ditentukan terlebih dahulu sehingga dapat ditemukan jumlah dan jarak *array* yang optimal pada sudut sinyal yang diinginkan dan sudut *interference* tertentu
3. Pemodelan sinyal. Dari asumsi-asumsi parameter yang telah ditentukan, sinyal dimodelkan dalam bentuk matematis sehingga mempermudah perhitungan, simulasi dan analisa yang akan dilakukan.
4. Perhitungan *robust Kalman filter*.

Setelah penentuan jumlah elemen *array* dan jarak antar *array*, dilakukan perhitungan *robust Kalman filter* dengan parameter yang telah ditentukan

5. Simulasi *robust Kalman filter* pada *smart antenna*. Setelah dilakukan perhitungan *robust Kalman filter*, dilakukan simulasi filter Kalman pada *smart antenna* dengan menggunakan MATLAB 7.0.1 Tahap ini dilakukan hingga mendapatkan hasil yang diinginkan.

6. Analisis Performansi antenna dengan menggunakan *robust Kalman filter* dengan kondisi stasioner dan nonstasioner yang dianalisis dari segi SINR, nilai NIS, pengarah pada sudut AoA, *nulling interference* dan bobot minimum pada arah sinyal dan *interference* tertentu. Kesimpulan diambil dari analisa yang dilakukan yaitu merupakan perbandingan performansi antenna dalam berbagai jumlah *array* dan dalam berbagai nilai penempatan *array* dengan menggunakan *robust Kalman filter*



Gambar 2. Flowchart tahapan pembentukan *robust Kalman filter*

IV. SIMULASI ROBUST KALMAN FILTER

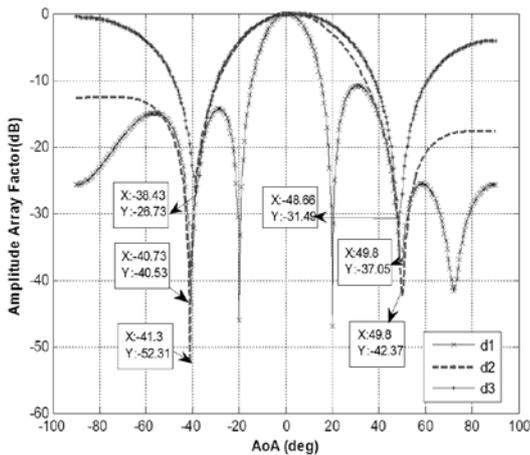
Simulasi dilakukan dengan menggunakan software MATLAB 7.01. Simulasi *smart antenna* dilakukan

dengan mengubah jarak antar elemen antenna, merubah jumlah elemen antenna dan parameter γ rasio adaptasi pada keadaan stasioner dan nonstasioner.

Selanjutnya dilakukan analisa pengaruh perubahan parameter tersebut pada pembentukan beam antenna. Sinyal yang diinginkan berupa sinyal digital acak yang dimodulasi menggunakan *phase shift keying* (PSK). Model antenna yang dipakai pada simulasi adalah antenna *Uniform Linear Array* (ULA) dengan jumlah *sample* sinyal sebanyak 100. Sinyal yang diinginkan berada pada sudut 0° dengan SNR 10 dB. Sinyal diasumsikan mempunyai dua *interferer* pada sudut 50° dan -40° dengan INR masing-masing sebesar 20 Db. Langkah-langkah pembuatan *robust Kalman filter* dapat dirangkum dalam *flow chart* yang digambarkan pada Gambar 2.

V. HASIL DAN ANALISIS

Parameter hasil simulasi yang dianalisis adalah nilai *Nulling* interferensi, SINR, nilai NIS, pengarah sudut pada AoA, nilai HPBW dan bobot minimum. Nilai parameter tersebut akan menunjukkan performansi yang terbaik dari jumlah elemen dan jarak antar elemen tertentu pada kondisi stasioner dan nonstasioner.

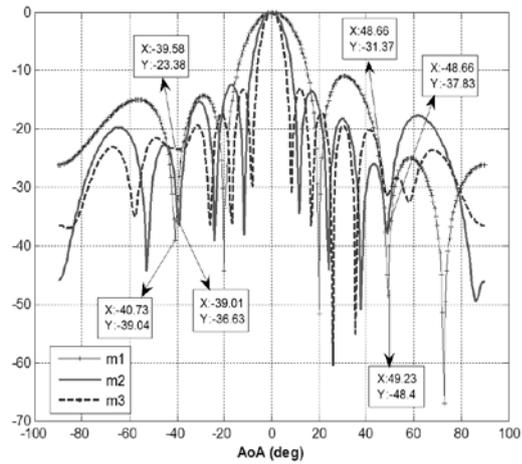


Gambar. 3. Faktor *array* dengan berbagai jarak antar elemen ($d1=0.5\lambda, d2=0.25\lambda, d3=0.125\lambda$) dengan $m = 6$ pada kondisi stasioner

A. Kondisi stasioner

Analisa pertama dilakukan dengan mengubah parameter jarak antar elemen d . Jarak antar elemen yang dianalisa adalah $d1 = 0.5\lambda, d2 = 0.25\lambda$ dan $d3 = 0.125\lambda$. Hasil simulasi ditunjukkan pada Gambar 3 dan dijelaskan lebih detail pada Tabel 1 Tabel 1 dan Gambar 3, menunjukkan bahwa jarak antar elemen sebesar 0.5λ mempunyai performansi yang paling baik dibandingkan jarak antar elemen yang lain.

Nilai HPBW dan *beamwidth* yang paling sempit dan *nulling interferer* terdekat dengan sudut sinyal gangguan maka dapat disimpulkan beam antenna yang dihasilkan semakin terarah pada arah yang diinginkan dan penolakan gangguan yang lebih baik dibandingkan jarak antar elemen $d = 0.25\lambda$ dan $d = 0.125\lambda$. Nilai rata-rata bobot minimum juga dicapai oleh antenna dengan jarak antar elemen 0.5λ .

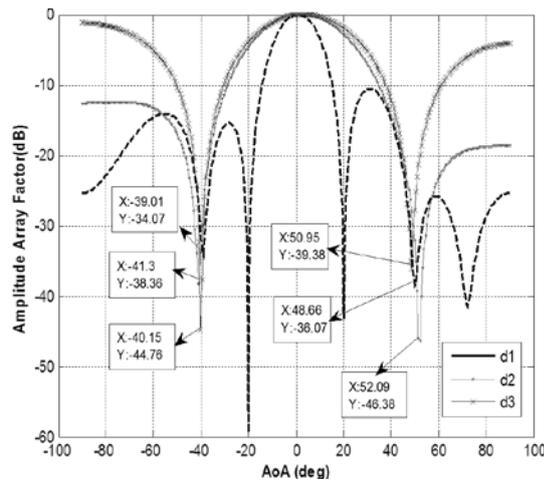


Gambar. 4. Faktor *array* dengan berbagai elemen m ($m1=6$ elemen, $m2=10$ elemen, $m3=14$ elemen) dengan $d = 0.5 \lambda$ pada kondisi stasioner

Analisa kedua dilakukan dengan mengubah parameter jarak antar elemen m . Jarak antar elemen yang dianalisa adalah $m1 = 6$ elemen, $m2 = 10$ elemen dan $m3 = 14$ elemen. Tabel 2 dan Gambar 4 menunjukkan bahwa antenna dengan 6 elemen mempunyai performansi yang paling baik dibandingkan jarak antar elemen yang lain.

B. Kondisi nonstasioner

Keadaan nonstasioner adalah keadaan dengan antenna penerima dalam kondisi berubah-ubah. Parameter-parameter yang mempengaruhi suatu kondisi sinyal transmisi adalah parameter γ yang diberikan nilai $\gamma = 1.0001$ serta $\sigma_s = 10^{-8}$ untuk kondisi nonstasioner. Analisa pertama dilakukan dengan mengubah parameter jarak antar elemen d . Jarak antar elemen yang dianalisa adalah $d1=0.5\lambda, d2=0.25\lambda$ dan $d3=0.125\lambda$. Hasil simulasi ditunjukkan pada Tabel 3 dan Gambar 7.



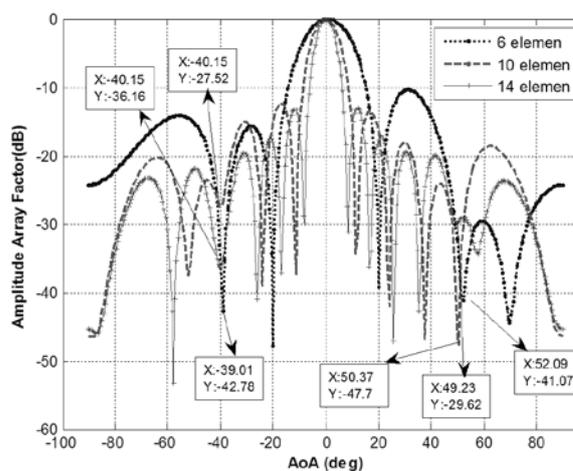
Gambar.5 Faktor *array* dengan berbagai jarak antar elemen ($d1=0.5\lambda, d2=0.25\lambda, d3=0.125\lambda$) dengan $m = 6$ pada kondisi nonstasioner

Tabel 3 dan Gambar 5 menunjukkan bahwa jarak antar elemen sebesar 0.5λ mempunyai performansi yang paling baik dibandingkan jarak antar elemen yang lain. Nilai HPBW dan *beamwidth* yang paling sempit dan *nulling interferer* terdekat dengan sudut sinyal

gangguan maka dapat disimpulkan *beam* antenna yang dihasilkan semakin terarah pada arah yang diinginkan dan penolakan gangguan yang lebih baik dibandingkan jarak antar elemen $d = 0.25\lambda$ dan $d = 0.125\lambda$.

Nilai rata-rata bobot minimum juga dicapai oleh antenna dengan jarak antar elemen 0.5λ . Analisa kedua dilakukan dengan mengubah parameter jarak antar elemen m . Jarak antar elemen yang dianalisa adalah $m_1 = 6$ elemen, $m_2 = 10$ elemen dan $m_3 = 14$ elemen.

Tabel 4 dan Gambar 6 menunjukkan bahwa antenna dengan 14 elemen mempunyai performansi yang paling baik dibandingkan jarak antar elemen yang lain. Beamforming semakin terarah pada arah yang diinginkan dengan HPBW yang sempit. Nilai rata-rata bobot minimum dan nilai NIS terbesar juga dicapai oleh antenna dengan 14 elemen.



Gambar.6. Faktor array dengan berbagai elemen m ($m_1 = 6$ elemen, $m_2 = 10$ elemen, $m_3 = 14$ elemen) dengan $d = 0.5\lambda$ pada kondisi nonstasioner

VI. KESIMPULAN DAN SARAN

Serangkaian percobaan yang telah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa filter Kalman melakukan optimasi paling baik pada antenna dengan jarak antar elemen $1/2\lambda$ untuk kondisi stasioner, dan nonstasioner. Pada kondisi stasioner, antenna dengan 6 elemen dan jarak antar elemen 0.5λ mencapai nilai pengarahan beam pada AoA pada 0° dicapai dengan sudut 0.5273° , *Nulling* interferensi -40° dan 50° dicapai dengan -40.7° dan 49.8° , SINR 10.737, HPBW 23.99° dan NIS 0.96. Pada kondisi nonstasioner, antenna dengan 14 elemen dan jarak antar elemen 0.5λ mencapai nilai pengarahan beam pada AoA pada 0° dicapai dengan sudut -0.04563° , *Nulling* interferensi -40° dan 50° dicapai dengan -40.15° dan 48.66° , SINR 8.279, HPBW 10.016° dan NIS 0.96.

Beberapa nilai parameter tersebut merupakan nilai yang terbaik dibandingkan jarak antar antenna dan jumlah

elemen antenna yang lain. *Robust Kalman filter* juga menunjukkan performansi yang baik untuk antenna dengan berbagai macam jumlah elemen. Berdasarkan simulasi yang dilakukan, jumlah elemen tidak menunjukkan konsistensi dalam tiap performansi optimasi. Jumlah elemen nampak tidak berpengaruh pada perbaikan *nulling* interferensi namun memperbaiki pengarahan sinyal AoA dan rata-rata bobot minimum yang dicapai. *Robust Kalman filter* menunjukkan konsistensinya dalam pencapaian nilai NIS sebagai standard dalam penentuan keandalan algoritma pada sistem *online*.

REFERENCES

- [1] El-Keyi. et al .2005. A State Space Approach to Robust Adaptive Beamforming. IEEE Xplore
- [2] Yasin. M, Akhtar. P, dan Valiuddin, "Performance Analysis of LMS and NLMS Algorithms for a *Smart antenna* System," International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 2010, vol4– No.9.
- [3] Yasin. M, Akhtar. P, dan Khan, J.M, "Tracking Performance of RLS and KAPA Algorithms for a *Smart antenna* System," World Applied Sciences Journal 10 , 2010, ISSN 1818-4952.
- [4] Yasin. M, Akhtar. P, dan Khan, J.M, "CMA an Optimum Beamformer for a *Smart antenna*", International Journal of Computer Applications (0975 – 8887), 2010, Volume 5– No.7.
- [5] Mohammad S.R, dan Noor MK. 2010. Performance Comparison of Adaptive Beamforming Algorithms for *Smart antenna* Systems. World Applied Sciences Journal 11 (7): 775- 785, 2010, ISSN 1818-4952.
- [6] Yasin. M, Akhtar. P, dan Naqvi, S.H.Z, "Design and Performance Analysis of Blind Algorithms for *Smart antenna* System Using Window Techniques." Middle-East Journal of Scientific Research 7(4), 2011, ISSN 1990-9233.
- [7] Diniz.P. S. *Adaptive Filtering Algorithm and Practical Implementation* , 3rd ed, Springer, 2008, pp. 77-145.
- [8] Das,S. "Smart Antenna Design for Wireless Communication using Adaptive Beam-forming Approach," 2007, Electrical Engineering Department National Institute of Technology Rourkela -769008, Orissa, India.
- [9] Zooghyby A.L. *Smart Antena Engineering*. Artech House Inc. Boston-London, 2005, pp. 100-130.
- [10] Ivica Stevanović, Anja Skrivervik dan Juan R. Mosig. 2003, "Smart antenna Systems for Mobile Communications." , Ecole Polytechnique F'ed'erale de Lausanne

Andriana Kusuma Dewi, S. T lahir di Malang tanggal 21 Mei 1987. Menyelesaikan pendidikan S1 dari bidang studi pengaturan, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada tahun 2009. Sejak tahun 2010 sampai sekarang sedang menempuh studi S2 di Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Brawijaya.

Dr.Ir.Sholeh Hadi Pramono, MS., lahir di Kediri, 28 Juli 1958. Menyelesaikan pendidikan S1 dari Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Menyelesaikan studi S2 di magister teknik elektro Universitas Indonesia. Pada tahun 2009 menyelesaikan studi S3 di Universitas Indonesia

Dr-ing Onny Setyawati, ST., MT. Menyelesaikan pendidikan S1 Teknik elktro di Universitas Gajah Mada. Tahun 2001 menyelesaikan S2 di pascasarjana Intitut Teknologi Bandung. Sejak tahun 2005 melakukan penelitian di University of Kassel, Germany dan menyelesaikan pendidikan S3 pada tahun 2012 di Fakultas Teknik Elektro/Informatika

TABEL. 1 HASIL PERBANDINGAN PARAMETER *ROBUST KALMAN FILTER* PADA *SMART ANTENNA* PADA KONDISI STASIONER BERBAGAI JARAK ANTAR ELEMEN D ($D1=0.5\lambda$, $D2=0.25\lambda$, $D3=0.125\lambda$)

Jarak antar elemen (d)	HPBW	SINR		NIS	Bobot minimal		Arah AoA 0°	Nulling interferer terdekat
		Sebelum	Sesudah		Sebelum	Sesudah		
0.5λ	23.99°	10.651	10.737	0.96	0.16667	0.16644	0.5273°	49.80°(-37.05 dB) -40.7° (-40.53dB)
0.25λ	50.26°	6.1485	9.4527	0.98	0.16644	0.16636	1.673°	49.80°(-42.37 dB) -41.3° (-52.31 dB)
0.125λ	55.68°	3.319	2.3447	0.96	0.16667	0.16792	3.392°	48.66°(-31.49 dB) -38.43° (-26.73 dB)

TABEL. 2 HASIL PERBANDINGAN PARAMETER *ROBUST KALMAN FILTER* PADA *SMART ANTENNA* PADA KONDISI STASIONER BERBAGAI JUMLAH ELEMEN M ($M1=6$ ELEMEN, $M2=10$ ELEMEN, $M3=14$ ELEMEN)

Jumlah elemen (m)	HPBW	SINR		NIS	Bobot minimal		Arah AoA 0°	Nulling interferer terdekat
		Sebelum	Sesudah		Sebelum	Sesudah		
6 elemen	24.01°	6.3073	10.437	0.96	0.16667	0.16644	0.5273°	49.23°(-48.4dB) -40.7° (-39.04 dB)
10 elemen	14.015°	7.0223	10.334	0.98	0.1	0.099734	-0.04563°	48.66°(-37.83 dB) -39° (-36.63dB)
14 elemen	10.036°	7.8178	4.0765	0.96	0.07143	0.071939	-0.04563°	48.66°(-31.37 dB) -39.58° (-23.38 dB)

TABEL. 3 HASIL PERBANDINGAN PARAMETER *ROBUST KALMAN FILTER* PADA *SMART ANTENNA* PADA KONDISI NONSTASIONER BERBAGAI JARAK ANTAR ELEMEN D ($D1=0.5\lambda$, $D2=0.25\lambda$, $D3=0.125\lambda$)

Jarak antar elemen (d)	HPBW	SINR		NIS	Bobot minimal		Arah AoA 0°	Nulling interferer terdekat
		Sebelum	Sesudah		Sebelum	Sesudah		
0.5λ	24.02°	5.1947	6.6027	0.95	0.16846	0.16589	0.5273°	48.66°(-30.38 dB) -39° (-34.07dB)
0.25λ	50.67°	6.5474	5.7019	0.97	0.1689	0.16647	2.819°	52.09°(-36.07 dB) -41.3° (-38.36 dB)
0.125λ	56.4°	2.6372	2.5443	1	0.16868	0.16696	2.819°	50.95°(-46.38 dB) -40.15° (-44.76 dB)

TABEL. 4 HASIL PERBANDINGAN PARAMETER *ROBUST KALMAN FILTER* PADA *SMART ANTENNA* PADA KONDISI NONSTASIONER BERBAGAI JUMLAH ELEMEN M ($M1=6$ ELEMEN, $M2=10$ ELEMEN, $M3=14$ ELEMEN)

Jumlah elemen (m)	HPBW	SINR		NIS	Bobot minimal		Arah AoA 0°	Nulling interferer terdekat
		Sebelum	Sesudah		Sebelum	Sesudah		
6 elemen	24.13°	6.2213	6.297	0.96	0.16816	0.16618	0.5273°	49.23°(-48.4dB) -39° (-42.78 dB)
10 elemen	14.02°	5.3479	5.3922	0.98	0.10131	0.099753	-0.04563°	48.66°(-37.83 dB) -40.15° (-27.52 dB)
14 elemen	10.016°	8.3588	8.279	0.96	0.071883	0.07108	-0.04563°	48.66°(-31.37 dB) -40.15° (-36.16 dB)