

“Beamforming” menggunakan Antena Array untuk Memperbaiki Kinerja Sistem Penerimaan Sinyal Komunikasi

Budi Aswoyo¹, Arifin²

^{1,2)}Teknik Telekomunikasi, Departemen Teknik Elektro

Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, Jl.Keputih Sukolilo, Surabaya

Email : budias@pens.ac.id; arifin@pens.ac.id

ABSTRAK

Dalam makalah ini, dipaparkan hasil simulasi tentang *beamforming* pada antena array linier menggunakan Algoritma *Least Mean Square* (LMS). Dari proses *beamforming* ini, menghasilkan suatu gambar pola faktor array (*AF Patern*) dari antena array, yang mampu beradaptasi dengan cara mengarahkan pancaran utama ke arah sinyal yang dikehendaki (*signal of interest* atau SOI) , dan sekaligus menekan serendah mungkin arah-arah sinyal yang tidak dikehendaki (*signal not of interest* atau SNOI). Perbandingan antara level sinyal dari SOI dan SNOI dari pola pancar tersebut, akan menghasilkan suatu parameter yang merupakan kinerja sistem, dan disebut dengan *signal of interference ratio* (SIR). Simulasi dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem terhadap pengaruh jumlah elemen antena array, dengan arah SOI yang bervariasi dari 0°, 20°, 40° dan 50° dengan arah SNOI=60°, dengan nilai konstanta konvergensi Algoritma LMS sebesar 0,001, dan nilai ambang minimum SIR 40 dB. Dari hasil simulasi disimpulkan, jika selisih sudut antara SOI dan SNOI relatif jauh (60°; 40° dan 20°), maka proses *beamforming* yang terbentuk berhasil menempatkan sinyal-sinyal tersebut pada arah SOI dan SNOI yang telah ditentukan, dengan SIR yang relatif tinggi, di atas nilai ambang 40 dB. Semakin kecil selisih sudut antara SOI dan SNOI, maka semakin kecil nilai SIR yang dihasilkan. Sedangkan, pada saat sudut antara SOI dan SNOI sebesar 10°, proses *beamforming* tidak berhasil menempatkan sinyal pada sudut-sudut yang telah ditentukan, dan nilai ambang SIR lebih kecil dari nilai ambang 40 dB.

Kata Kunci: *beamforming*, antena array, Algoritma LMS

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

I. PENDAHULUAN

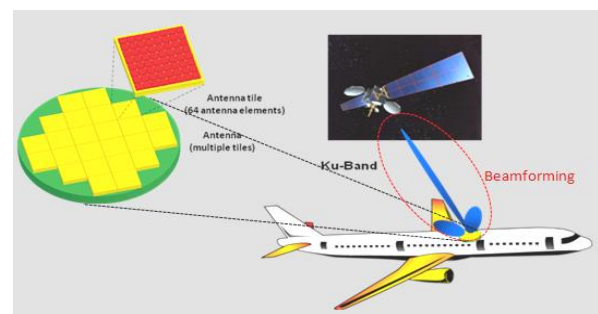
Beamforming atau pembetulan pola pancar pada antena array didefinisikan sebagai pencarian atau pemberian nilai pembobot pada setiap masukan antena array, agar pancaran utamanya (*main beam*) mengarah pada arah sinyal yang dikehendaki. Dengan demikian, pengarahan pancaran antena dapat dilakukan secara elektronik, tanpa membutuhkan pemutaran elemen-elemen antena tersebut secara mekanik, seperti yang diilustrasikan Gambar 1. Sistem tersebut dapat dibangun dari serangkaian antena yang disusun secara array, dimana masing-masing elemen dihubungkan dengan unit penguat dan atau penggeser fasa yang diatur dengan suatu signal processor, sehingga membutuhkan suatu algoritma pemrosesan signal untuk mencari nilai-nilai pembobot yang sesuai. Proses *beamforming* ini dapat diterapkan pada sistem telekomunikasi modern, seperti pada sistem radar, sistem komunikasi satelit, navigasi, dan sebagainya, dimana sistem antena array akan berusaha menangkap sinyal dari arah yang dikehendaki (*signal of interest* atau SOI), dan dinetralisir arah-arah sinyal-sinyal pengganggu yang tidak dikendaki (*signal not of interest* atau SNOI), sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan kinerja penerimaan sinyal pada sistem komunikasi.

Untuk mengatur pengarahan antena array, ada beberapa parameter yang dapat diubah. David K.Cheng dalam paper khususnya (*Inveted paper*)[2] memaparkan tentang metode optimasi array untuk memaksimalkan harga direktivitas, dengan mengubah parameter teknis, antara lain: eksitasi amplitudo, pengaturan fase, konfigurasi dan jarak elemen-elemennya. Ching-Sung Shieh dan Ching-Teng Lin[3] mengilustrasikan estimasi *direction of arrival* (DOA) dengan

mengatur perbedaan beda fasa relatif antar elemen array.

Banyak algoritma adaptasi yang dapat digunakan dalam proses adaptasi pada antena optimal, diantaranya: *Griffith Algorithm*, *Frost Algorithm*, *Blind Adaptive Algorithm* [5] dan *Neural Network* [6], dan Algoritma Genetika [6-8].

Dalam sistem adaptif, Algoritma Least Mean Square (LMS) merupakan algoritma adaptif yang paling banyak digunakan, dikarenakan kompleksitas perhitungannya yang relatif rendah, tetapi mempunyai keandalan yang cukup baik. Algoritma ini mengubah vektor pembobot (*weight vector*) sejalan dengan arah dari perkiraan gradien berdasarkan metode turunan negatif, dan sesuai diimplementasi pada sistem adaptif dengan penggabungan pada sistem linier adaptif [9].



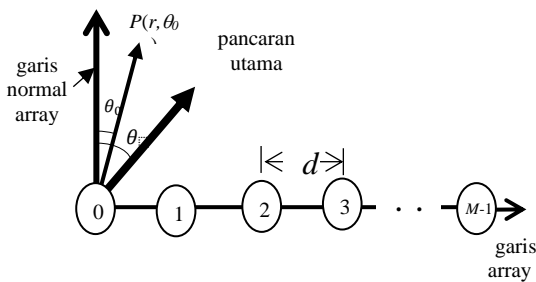
Gambar 1. Ilustrasi *beamforming* pada sistem komunikasi di pesawat terbang

Dalam makalah ini dipaparkan hasil simulasi tentang *beamforming* menggunakan array linier dengan jumlah array 5 dan 8 elemen menggunakan Algoritma LMS dengan mengoptimasi SIR sistem (dengan harapan lebih besar dari 40 dB) untuk kondisi tertentu.

II. LANDASAN TEORI

II.1 Antena Array Linier

Gambar 2 menyatakan suatu antena array linier dengan M elemen (dari elemen ke-0 sampai $M-1$), dimana semua antena diasumsikan sebagai sumber isotropis. Jarak antar sensor diasumsikan sama panjang d (dengan satuan panjang gelombang). $W(m)$ menyatakan amplitudo arus eksitasi elemen ke- m . Sudut θ menyatakan sudut pengamatan pada medan jauh, yang ditinjau dari normal array, dan θ_0 menyatakan arah dari pancaran utama (*main beam*).



Gambar 2. Konfigurasi sensor array linier N elemen

Beam dari pola faktor array (*AF Pattern*) dari susunan antena array linier yang demikian dinyatakan dengan

$$F(\theta) = \sum_{m=0}^{M-1} W_m e^{j(mkd_x \sin\theta \cos\phi - \alpha_x)} \quad (1)$$

II.2 Algoritma LMS

Dalam Algoritma LMS, proses adaptasi akan mengubah vektor pembobot w sejalan dengan arah dari perkiraan gradien berdasarkan metode turunan negatif. Salah satu implementasi dari sistem adaptif adalah struktur transversal yang menggunakan

penggabung linier adaptif. Sinyal keluaran sistem adaptif orde M untuk masukan dan keluaran tunggal adalah

$$y_k = w_k x_k^T \quad (2)$$

dimana :

y_k = nilai keluaran sistem kendali

$w_k = [w_{0k} \ w_{1k} \ \dots \ w_{M-1k}]$ adalah pembobot

$x_k^T = [x_k \ x_{k-1} \ \dots \ x_{k-M+1}]$ adalah masukan

T = transpose matriks

k = indeks iterasi

Dalam sistem kendali adaptif, pembobot W_k selalu diperbaiki agar nilai $y_k = d_k$, dengan d_k adalah nilai yang diharapkan, sedangkan nilai x_k diperoleh dari pencuplikan. Perbaikan pembobot menurut algoritma LMS adalah [9] :

$$w_{k+1} = w_k + 2\mu x_k \varepsilon_k \quad (3)$$

Dimana:

μ = konstanta konvergensi > 0 , dan

$$\varepsilon_k = d_k - y_k \quad (4)$$

dengan

$$0 < \mu < \frac{1}{\lambda_{max}}$$

II.3 Perancangan Sistem

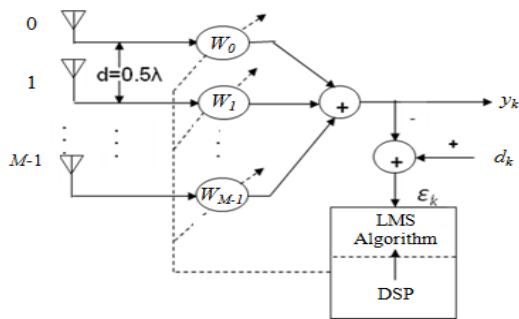
Gambar 3 merupakan diagram blok sistem yang disimulasikan. Sistem ini terdiri dari M elemen array antena yang tersusun secara linier, dengan jarak $d = 0,5\lambda$, dimana λ = panjang gelombang sinyal. Masing-masing elemen ke- m ($m = 0, 1, \dots, M-1$) dihubungkan dengan pembobot W_n (W_0, W_1, \dots, W_{M-1}), dan dijumlahkan dengan sebuah kombiner menjadi y_k . Dimana y_k merupakan hasil *beamforming* yang dihasilkan dari keluaran sistem dengan harga SIR tertentu. Selanjutnya, keluaran sistem y_k dibandingkan dengan sinyal referensi d_k , dan dihitung kesalahannya ε_k . Dengan

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

Algoritma LMS, nilai pembobot ini akan diperbarui dan dihitung SIR dari pola y_k , sampai dengan iterasi tertentu.



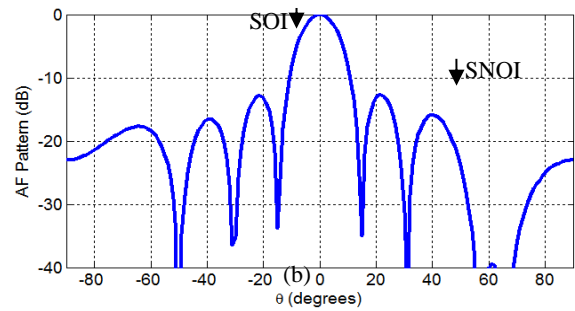
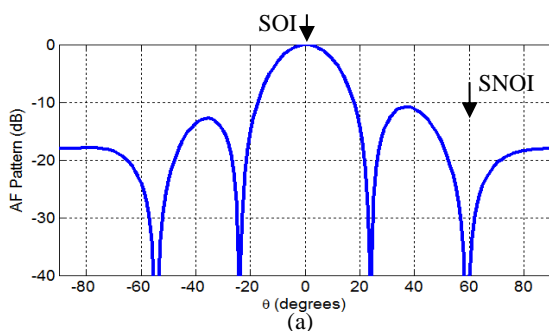
Gambar 3. Diagram blok sistem

Dimana : w = pembobot, d = jarak antar elemen array, d_k = sinyal referensi, y_k = keluaran dari sistem adaptif, ϵ_k = error yang terjadi, dan DSP = digital signal processing.

III. HASIL SIMULASI DAN PEMBAHASAN

Simulasi *beamforming* ini dilakukan untuk jumlah elemen 5 dan 8 elemen, dengan mengubah-ubah arah SOI ($SOI = 0^\circ, 20^\circ, 40^\circ$, dan 50°), sementara arah SNOI dibuat tetap ($SNOI=60^\circ$), dengan konstanta konvergensi sebesar $\mu = 0,001$ dan nilai ambang minimum SIR sebesar 40 dB.

Gambar 4 sampai Gambar 7 di bawah ini merupakan hasil *beamforming* untuk kondisi di atas. Sedangkan Tabel 1 sampai Tabel 4 adalah nilai pembobot amplitudo dan fasa pada setiap elemen array antenna.



Gambar 4. *Beamforming* untuk $SOI=0^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$
(a) 5 elemen (b) 8 elemen

Tabel 1a. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 5 elemen array antenna dengan arah $SOI=0^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$

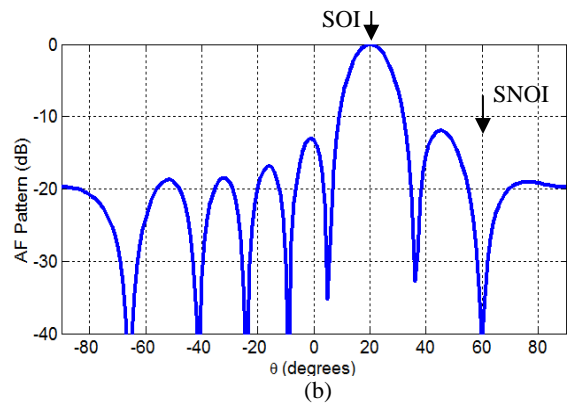
Elemen ke- n	Pembobot amplitudo (unitless)		Pembobot fasa (deg)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.183 233	1.000 000	4.1916 77	0.00000 0
1	0.211 799	1.155 901	- 1.7269 74	354.081 349
2	0.177 190	0.967 023	- 0.0534 56	355.754 867
3	0.211 392	1.153 683	2.2395 63	358.047 886
4	0.184 088	1.004 665	- 4.1550 58	351.653 265

Tabel 1b. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 8 elemen array antenna dengan arah $SOI=0^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$

	Pembobot amplitudo (unitless)	Pembobot fasa (deg)

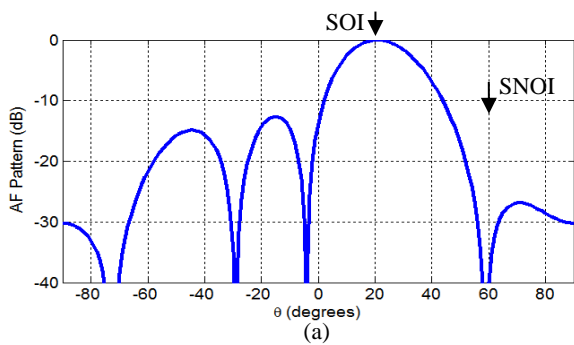
APPROACH

Elemen ke-n	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.109947	1.000000	-0.741481	0.000000
1	0.137309	1.248860	3.023696	3.765177
2	0.116447	1.059119	-5.801817	354.939664
3	0.128289	1.166824	6.387531	7.129011
4	0.128302	1.166942	-6.379019	354.362462
5	0.116436	1.059012	5.804971	6.546452
6	0.137315	1.248916	-3.012004	357.729477
7	0.109946	0.999986	0.740937	1.482418



Gambar 5. Beamforming untuk SOI=20° dan SNOI=60°
(a) 5 elemen (b) 8 elemen

Tabel 2a. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 5 elemen array antenna dengan arah SOI= 20° dan SNOI= 60°

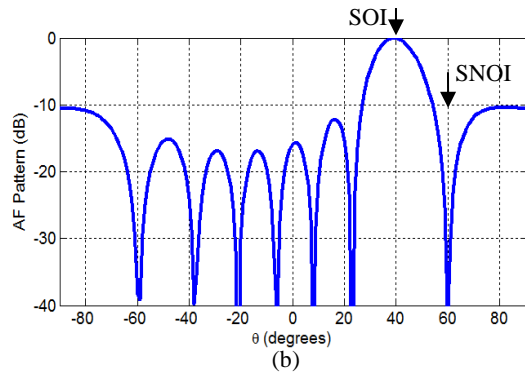
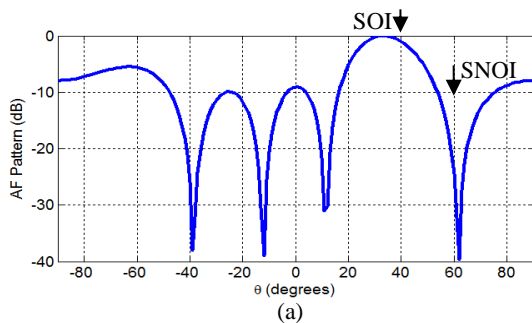


Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.161433	1.000000	-2.274006	0.000000
1	0.206996	1.282241	-49.228153	313.045853
2	0.249618	1.546265	-123.21625	239.057752
3	0.206373	1.278383	-197.08438	165.189623
4	0.161553	1.000744	-243.79509	118.478916

APPROACH

Tabel 2b. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 8 elemen array antenna dengan arah SOI= 20° dan SNOI= 60°

Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.103654	1.000000	1.063041	0.000000
1	0.111489	1.075584	-58.855464	300.081496
2	0.114149	1.101247	-124.47771	234.459246
3	0.106085	1.023448	-187.30354	171.633416
4	0.104505	1.008211	-244.36514	114.571817
5	0.112905	1.089245	-305.61357	53.323384
6	0.113159	1.091695	-371.44468	347.492285
7	0.104738	1.010460	-432.97135	285.965614



Gambar 6. Beamforming untuk SOI=40° dan SNOI=60°
(a) 5 elemen (b) 8 elemen

Tabel 3a. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 5 elemen array antenna dengan arah SOI= 40° dan SNOI= 60°

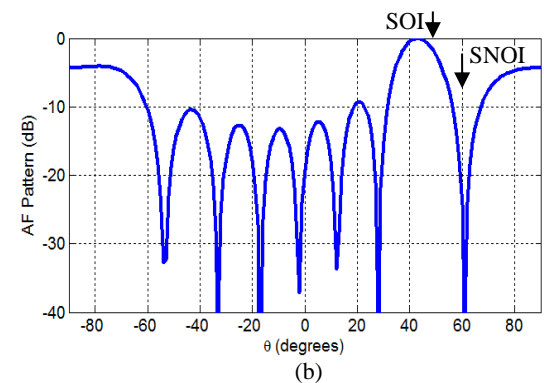
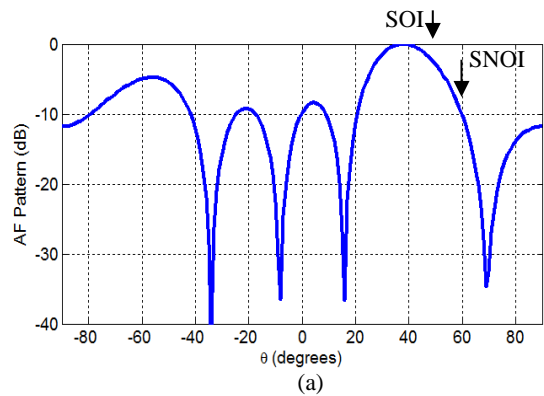
Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.284437	1.000000	-29.983462	0.000000
1	0.186143	0.654429	-145.84014	244.143323
2	0.127161	0.447064	-231.92998	158.053485

APPROACH

3	0.184 902	0.650 064	- 317.56 398	72.419 482
4	0.283 197	0.995 640	- 433.18 934	316.79 4125

Tabel 3b. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 8 elemen array antenna dengan arah SOI= 40° dan SNOI= 60°

Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.134 103	1.000 000	- 3.6513 25	0.0000 00
1	0.126 586	0.943 947	- 121.80 784	241.84 3484
2	0.117 232	0.874 193	- 237.32 262	126.32 8710
3	0.110 535	0.824 255	- 349.73 065	13.920 674
4	0.110 309	0.822 569	- 460.57 431	263.07 7020
5	0.116 693	0.870 169	- 572.81 665	150.83 4678
6	0.126 021	0.939 727	- 688.13 791	35.513 417
7	0.133 759	0.997 434	- 806.16 551	277.48 5818



Gambar 7. Beamforming untuk SOI=50° dan SNOI=60°
(a) 5 elemen (b) 8 elemen

Tabel 4a. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 5 elemen array antenna dengan arah SOI= 50° dan SNOI= 60°

Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Exact Value	Normalized	Exact Value	Normalized
0	0.279 830	1.000 000	- 51.372 663	0.0000 00

APPROACH

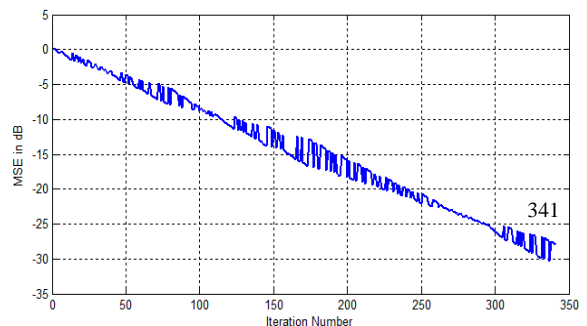
1	0.167 994	0.600 343	- 181.04 063	230.33 2034
2	0.105 023	0.375 311	- 275.86 123	135.51 1438
3	0.168 555	0.602 348	- 370.92 584	40.446 818
4	0.280 471	1.002 291	- 500.69 334	270.67 9325

Tabel 4b. Pembobot amplitudo dan fasa untuk 8 elemen array antenna dengan arah SOI=50° dan SNOI=60°

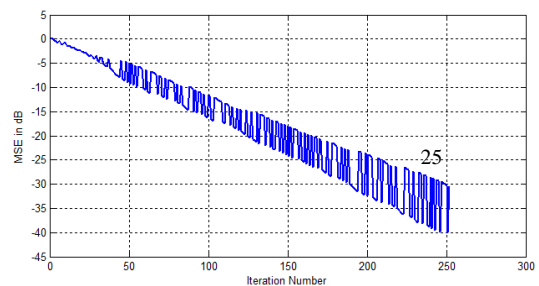
Elemen ke-n	Pembobot amplitudo (tanpa satuan)		Pembobot fasa (derajat)	
	Nilai eksak	Normalisasi	Nilai eksak	Normalisasi
0	0.242 479	1.000 000	- 44.076 306	0.0000 00
1	0.184 234	0.759 793	- 184.56 040	219.51 5902
2	0.125 903	0.519 235	- 319.04 570	85.030 608
3	0.079 341	0.327 210	- 436.02 041	328.05 5894
4	0.078 786	0.324 919	- 530.07 309	234.00 3211
5	0.124 887	0.515 045	- 646.54 414	117.53 2170

6	0.183 153	0.755 337	- 780.85 195	343.22 4358
7	0.241 445	0.995 738	- 921.27 044	202.80 5870

Gambar 4(a) dan 4(b) berturut-turut menunjukkan hasil *beamforming* pada arah SOI=0° dan SNOI=60° menggunakan 5 dan 8 elemen antenna array. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa arah SOI dan SNOI tepat pada arah yang telah ditentukan (0° dan 60°), dengan mencapai nilai SIR 56 dB (di atas level ambang 40 dB) untuk 5 elemen pada iterasi ke-341 (Gambar 8(a)), dan SIR 62 dB untuk 8 elemen pada iterasi ke-252 (Gambar 8(b)).



(a)



(b)

Gambar 8. Proses MSE pada beamforming SOI=0° dan SNOI=60° (a) 5 elemen (b) 8 elemen

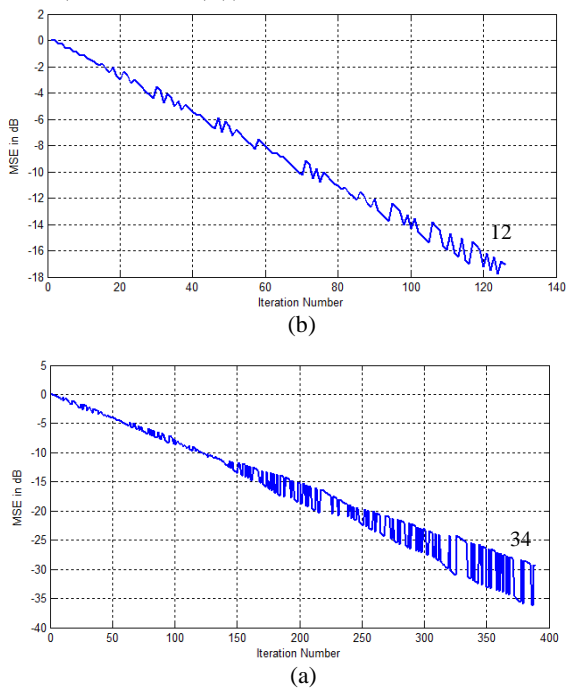
Gambar 5(a) dan 5(b) berturut-turut menunjukkan hasil *beamforming* pada arah SOI= 20° dan SNOI= 60° menggunakan 5 dan

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

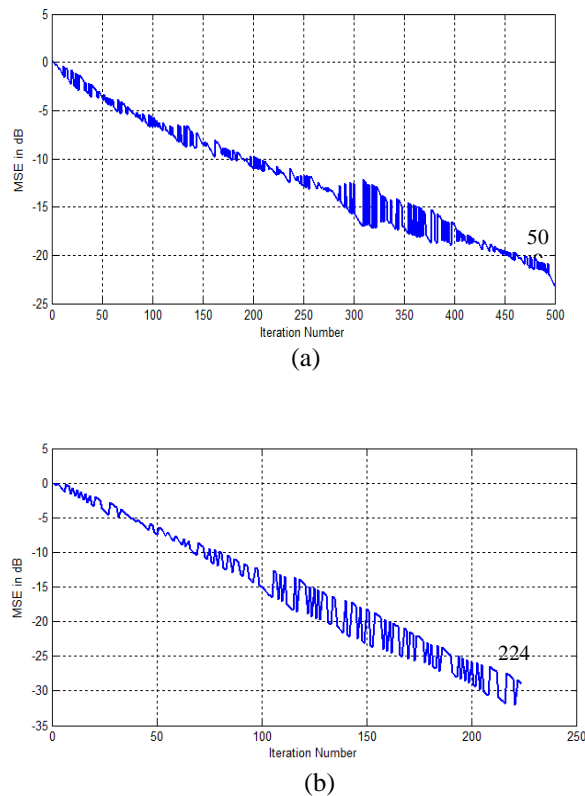
ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

8 elemen antenna array. Kedua gambar tersebut menunjukkan bahwa arah SOI dan SNOI juga tepat pada arah yang telah ditentukan (20° dan 60°), dengan mencapai nilai SIR 48 dB untuk 5 elemen pada iterasi ke-341 (Gambar 9(a)), dan SIR 52 dB untuk 8 elemen pada iterasi ke-126 (Gambar 9(b)).



Gambar 9. Proses MSE pada beamforming SOI= 20° dan SNOI= 60° (a) 5 elemen (b) 8 elemen

Lebih lanjut, Gambar 6(a) dan 6(b) berturut-turut menunjukkan hasil *beamforming* pada arah SOI= 40° dan SNOI= 60° menggunakan 5 dan 8 elemen antenna array. Kedua gambar menunjukkan bahwa arah SOI dan SNOI juga tepat pada arah yang telah ditentukan (40° dan 60°), dengan mencapai nilai SIR 38 dB untuk 5 elemen pada iterasi ke-500 (Gambar 10(a)), dan SIR 46 dB untuk 8 elemen pada iterasi ke-224 (Gambar 10(b)).



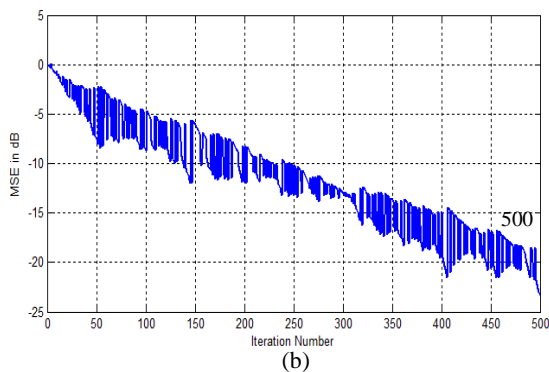
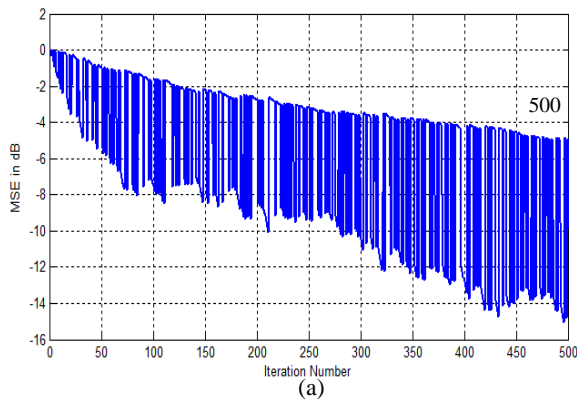
Gambar 10. Proses MSE pada beamforming SOI= 40° dan SNOI= 60° (a) 5 elemen (b) 8 elemen

Sementara itu, Gambar 7(a) dan 7(b) berturut-turut menunjukkan hasil gambar hasil *beamforming* pada arah SOI= 50° dan SNOI= 60° menggunakan 5 dan 8 elemen antenna array. Kedua gambar menunjukkan bahwa arah SOI dan SNOI bergeser dari arah yang telah ditentukan (50° dan 60°), dengan mencapai nilai SIR 18 dB untuk 5 elemen pada iterasi ke-500 (Gambar 11(a)), dan SIR 36 dB untuk 8 elemen pada iterasi ke-500 (Gambar 11(b)).

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X



Gambar 11. Proses MSE pada beamforming SOI=50° dan SNOI=60° (a) 5 elemen (b) 8 elemen

Selanjutnya, nilai *signal to interference ratio* (SIR) yang dihasilkan dari proses *beamforming* dengan arah SOI dan SNOI tertentu pada Tabel 5. Pola pancar dengan 5 elemen dan 8 elemen, untuk SOI=0° dan SNOI=60°, menghasilkan SIR berturut-turut sebesar 56 dB dan 62 dB. Untuk SOI=20° dan SNOI=60°, menghasilkan SIR berturut-turut sebesar 48 dB dan 52 dB, sedangkan untuk SOI=40° dan SNOI=60°, menghasilkan SIR berturut-turut sebesar 38 dB dan 46 dB. Selanjutnya, untuk SOI=50° dan SNOI=60°, menghasilkan SIR berturut-turut sebesar 18 dB dan 36 dB.

Tabel 5. Hasil SIR untuk 5 dan 8 elemen antenna array

Simulasi ke- <i>n</i>	Arah SOI dan SNOI	Signal to interference ratio (SIR)	
		5 elemen	8 elemen
1	SOI=0°; SNOI=60°	56 dB	62 dB
2	SOI=20°; SNOI=60°	48 dB	52 dB
3	SOI=40°; SNOI=60°	38 dB	46 dB
4	SOI=50°; SNOI=60°	18 dB	36 dB

Berdasarkan ketentuan awal simulasi, bahwa nilai ambang SIR yang harus dicapai minimum 40 dB, maka dari Tabel 5 terlihat bahwa nilai ambang ini dicapai oleh simulasi ke-1 dengan SOI=0° dan SNOI=60° baik untuk 5 elemen (56 dB), maupun 8 elemen (62 dB). Nilai ambang ini juga dicapai oleh simulasi ke-2 dengan SOI=20° dan SNOI=60° baik untuk 5 elemen (48 dB) maupun 8 elemen (52 dB). Untuk simulasi ke-3, nilai ini dicapai oleh SOI=40° dan SNOI=60° dengan 8 elemen (46 dB), tetapi tidak dapat dicapai dengan 5 elemen (38 dB). Dan untuk simulasi ke-4, untuk SOI=50° dan SNOI=60°, nilai ambang SIR tidak berhasil dicapai dengan 5 elemen (18 dB) maupun 8 elemen (36 dB).

Dari hasil simulasi di atas, terlihat bahwa proses *beamforming* untuk SOI=0° dan SNOI=60° dengan 5 dan 8 elemen berhasil menempatkan sinyal SOI dan SNOI tersebut pada tempatnya, dengan SIR sebesar 56 dB dan 62 dB. Hal ini dikarenakan selisih sudut antara SOI dan SNOI relatif masih jauh, yaitu

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

sebesar 60° . Begitu juga untuk $SOI=20^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$ dengan 5 dan 8 elemen, masih berhasil menempatkan pola sinyal-sinyal tersebut pada tempatnya dengan SIR sebesar 48 dB dan 52 dB, dan selisih sudut SOI dan SNOI masih 40° . Sedangkan untuk $SOI=40^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$ dengan 5 dan 8 elemen berhasil pola sinyal-sinyal tersebut pada tempatnya, dengan SIR sebesar 38 dB (di bawah level ambang) dan 46 dB. Dalam hal ini untuk 5 elemen, SIR ambang tidak berhasil dicapai, karena perbedaan sudut antara SOI dan SNOI sudah relatif kecil (20°). Tapi konsisi ini berhasil dicapai dengan 8 elemen. Terakhir untuk $SOI=50^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$, proses *beamforming* tidak berhasil menempatkan sinyal pada sudut-sudut yang telah ditentukan, dan nilai ambang SIR tidak berhasil dicapai dengan 5 elemen (18 dB) maupun 8 elemen (36 dB). Karena perbedaan sudut antara SOI dan SNOI relatif kecil, yakni 10° .

IV. PENUTUP

IV.1 Simpulan

Dari penelitian ini dapat diambil simpulan sebagai berikut:

- Telah dilakukan simulasi proses *beamforming* menggunakan algoritma LMS dengan konstanta konvergensi sebesar 0,001 menggunakan elemen berkonfigurasi linier, dengan jumlah 5 elemen dan 8 elemen antena array. Simulasi dilakukan untuk mendapatkan nilai ambang minimum SIR sebesar 40 dB.
- Jika selisih sudut antara SOI dan SNOI relatif jauh (60° , 40° , dan 20°) untuk 5 elemen dan 8 elemen, maka pola adaptif yang terbentuk berhasil menempatkan sinyal-sinyal tersebut pada arah SOI dan SNOI yang telah ditentukan, dengan SIR yang relatif tinggi di atas nilai ambang 40 dB. Pada saat $SOI=0^\circ$

dan $SNOI=60^\circ$, SIR= 56 dB untuk 5 elemen, dan SIR=62 dB untuk 8 elemen. Pada saat $SOI=20^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$, SIR=48 dB untuk 5 elemen, dan SIR=22 dB untuk 8 elemen. Kecuali saat $SOI=40^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$ (selisih sudut 20°) dengan 5 elemen, menghasilkan SIR sebesar 38 dB (di bawah level ambang 40 dB). Semakin kecil selisih sudut antara SOI dan SNOI, maka semakin kecil nilai SIR yang dihasilkan.

- Pada saat selisih sudut relatif kecil ($SOI=50^\circ$ dan $SNOI=60^\circ$, dimana perbedaan sudut, antara SOI dan SNOI sebesar 10° , proses *beamforming* tidak berhasil menempatkan sinyal pada sudut-sudut yang telah ditentukan, dan nilai ambang SIR tidak berhasil dicapai menggunakan 5 elemen (18 dB) maupun 8 elemen (36 dB).

IV.2 Saran

- Perlu dicoba Algoritma LMS dengan konstanta konvergensi yang lain (selain konstanta $\mu = 0,001$), dengan jumlah elemen antena array yang lebih besar.
- Untuk membuktikan teori yang ada, perlu dibangun sistem yang riil dan dilakukan *test bed* di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Lal.C.Godara, "Application of Antenna Array to Mobile Communication, Part I: Performance
- (2) Improvement, Feasibility, and System Considerations", *Proceeding of the IEEE*, Vol.85, No.7, July 1997, pp.1031-1060.
- (3) David K.Cheng, "Optimization Techniques for Antenna Arrays (Invited Paper)", *Proc. of The IEEE*, vol.59, No.12, December 1971.
- (4) Ching-Sung Shieh and Ching-Teng Lin, "Direction of Arrival Estimation Based

APPROACH

Jurnal Teknologi Penerbangan

ISSN : 2548-8090 e-ISSN : 2548-810X

- on Phased Differences Using Neural Fuzzy Network”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol.48, No.7, July 2000.
- (5) B.Agee,”Blind Separation and Capture of Communication Signals Using a Multi-targer Constant Modulus Beamformer,” *1989 IEEE Military Communications Conf.*, Boston, MA, Oct.1989.
- (6) B.W.Kwan, Ruben D.Maury, L.Jtung,” Adaptive Beamforming Using Neural Network Based Array”, *Thesis 2000*, Dept.of Electrical Engeneering - Florida State University P.O. Box 2175, Tallahassee, FL 323 16-2175.
- (7) Budi Aswoyo, dkk ” Optimasi Pembentukan Pola Radiasi berbasis Antena Array Planar menggunakan Algoritma Genetika”, Mei 2002.
- (8) TS.Jeyali Laseetha, R.Sukanesh,” Synthesis of Linear Antenna Array Linear using Genetic Algorithm to Maximize Sidelobe Level Reduction”, *International Journal of Computer Applications (0975-8887)*, vol 20, no.7, Appril 2011.
- (9) Francisco J, Juan A.R-Gonzalez, Emilio V-Lopez, S.R.Rengarajan, “Genetic Algorithms in the Design and Optimization of Antenna Array Patterns”, *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol.47, No.3, March 1999.
- (10) B. Widro, P.E.Mantey, L.J.Griffiths, and B.B.Goode, ”Adaptive Antenna Systems”, *Proc.of The IEEE*, Vol.55, No.12, Dec.1967, pp.2143-2159.
- (11) Balanis, Constantine A. “*Antenna Theory: Analysis and Design*, 3th ed”. John Willey and sons. New York, 2005.