

Analisa Metode Dua Polinomial untuk Penekanan Sidelobe

Andi Yahya Lubis, Eko Setijadi, Puji Handayani

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

email: ekoset@ee.its.ac.id, puji@ee.its.ac.id

Abstrak—Dalam radar, antena *array* sangat umum digunakan karena memiliki nilai *gain* yang besar dan semakin banyaknya elemen yang digunakan nilai puncak *sidelobe* yang dihasilkan semakin rendah. Namun jumlah *sidelobe* akan semakin banyak dan sistem akan semakin kompleks. Untuk membatasi jumlah elemen, diperlukan metode yang menghasilkan nilai puncak *sidelobe* yang rendah. Metode *sidelobe suppression* (SLS) dengan teknik dua polinomial merupakan metode penekanan nilai *sidelobe* dengan cara mengalikan dua faktor *array*. Dengan jumlah elemen dan *null* yang ditentukan, pola radiasi yang didapat pada polinomial pertama digunakan untuk mencari posisi *null* kanan dan kiri yang berdekatan dengan *mainlobe*. Daerah diluar *null* tersebut dimanfaatkan untuk wilayah *sidelobe* serta digunakan untuk mencari *weight* dari polinomial kedua yang ditujukan untuk penekanan *sidelobe*. Dalam penelitian ini, metode dua polinomial dibuat berdasarkan rumus dan masukan data yang diberikan pada literatur penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad yang berjudul “Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique”. Hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan pola radiasi antena *array uniform* linier dengan 9 elemen dan jarak antar elemennya sebesar $\lambda/2$. Berdasarkan hasil simulasi, puncak *sidelobe level* (PSLL) yang dihasilkan pada antena *array* dengan metode dua polinomial sebesar -21,07 dB dan lebih rendah dibandingkan dengan PSLL pada antena *array* tanpa metode yaitu sebesar -11,92 dB.

Kata Kunci—*array factor, adaptive beamforming, null steering, sidelobe suppression, uniform linear array.*

I. PENDAHULUAN

DALAM radar, antena *array* sangat umum digunakan karena keunggulannya seperti memiliki nilai *gain* yang besar dan bagus dalam menerima sinyal yang datang pada sudut 90 derajat atau tergelong memiliki pola radiasi *directional*. Namun antena *array* memiliki kelemahan yaitu semakin banyak antena yang disusun semakin banyak *sidelobe* yang dihasilkan dan lebar *main lobe* akan semakin kecil. Hal ini sangat merugikan sebab pada sinyal, *main lobe* merupakan *lobe* radiasi yang memiliki informasi utama sedangkan *sidelobe* merupakan *lobe* radiasi yang bocor dalam pola radiasi *directional* sehingga *sidelobe* juga memiliki informasi yang ada pada *main lobe*. Akibatnya jika ada perangkat atau antena terdekat dengan *sidelobe* akan terjadi interferensi pada kanalnya. Oleh karena itu diperlukan metode untuk menekan *sidelobe* hasil dari antena *array* terutama dalam hal mendesain struktur antena.

II. URAIAN PENELITIAN

Pada beberapa penelitian ada yang menggunakan beberapa tahapan dalam menekan *sidelobe*. Seperti pada penelitian Vinod dan Ajit, “Grating lobe and Suppression using Multi-Objective Optimization Techniques [1]” dimana mereka menggunakan SFPT untuk mendapatkan sinyal LFM kemudian hasilnya akan dikelola untuk menekan *sidelobe* dengan memakai algoritma *Multiple-Objective Optimization*. Pada penelitian lain yang dilakukan oleh Shafqat, Ijaz, Fawad dan Aqdas dalam “Null Placement and Sidelobe Suppression in Failed Array Using Symmetrical Element Failure Technique and Hybrid Heuristic Computation” [2], mereka menggunakan *Genetic Algorithm* untuk menekan *null* dan *Pattern Search* untuk menentukan *null* mana yang akan ditekan. Contoh lainnya pada penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad “Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique” [3], mereka mengalikan dua *array factor polynomial* dimana faktor *array* yang pertama untuk *steering null* dan faktor *array* kedua untuk *sidelobe suppression*.

Jika dilihat dari kompleksitasnya, penelitian [1][2] lebih rumit dan kompleks dibandingkan dengan penelitian Zafar-Ullah, Aqdas dan Fahad [3][4] namun tidak banyaknya jurnal yang memanfaatkan metode ini membuat perlu adanya analisa kembali metode tersebut sehingga teruji atau tidaknya metode penekanan *sidelobe* menggunakan teknik dua polinomial dapat diketahui.

Teknik dua polinomial merupakan optimasi dari teknik polinomial *schelkunoff*. Didasari pada teori matematis *schelkunoff* yang menjelaskan bahwa sebuah *array* linier dengan faktor ruang yang sama dengan hasil dari faktor ruang dua *array* linier [5]. Sintesis antena merupakan salah satu cara dalam mendesain antena, pada umumnya. Desain dengan cara sintesis yaitu sebuah struktur antena diturunkan untuk memenuhi kriteria karakteristik kinerja yang telah ditetapkan, umumnya seperti pola radiasi (sintesis pola antena). Pada teknik polinomial *schelkunoff*, desainnya memerlukan informasi mengenai jumlah *null* dan letaknya. Untuk memperoleh informasi tersebut, didapat melalui jumlah elemen dan koefisien eksitasinya atau *Array Factor*nya. Formulasi *Array Factor* untuk N-elemen, spasi antar elemen sama, amplitudo non-uniform, dan eksitasi fasa progresif dapat dituliskan sebagai berikut:

Dimana a_n adalah eksitasi amplitude nonuniform dari masing-masing elemen. d adalah jarak antar elemen dan β merupakan pergeseran fasa progresif.

Jika

$$z = x + jy = e^{j\psi} = e^{j(kd \cos \theta + \beta)} \quad (1)$$

Maka AF diubah menjadi:

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(kd \cos \theta + \beta)} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\psi} \quad (2)$$

yang merupakan sebuah polinomial sudut (N-1). Dari matematika varibel kompleks dan aljabar, semua polinomial sudut (N-1) memiliki akar-akar (N-1) dan dapat dinyatakan sebagai hasil dari (N-1) istilah linear. Sehingga dapat ditulis menjadi:

$$AF = a_n (z - z_1)(z - z_2)(z - z_3) \dots (z - z_{N-1}) \quad (3)$$

dimana $z_1, z_2, z_3, \dots, z_{N-1}$ adalah akar-akar, yang mungkin kompleks, dari polinomial. Magnitudo dari (3) dapat dinyatakan seperti:

$$|AF| = |a_n| |z - z_1| |z - z_2| |z - z_3| \dots |z - z_{N-1}| \quad (4)$$

Variabel kompleks z pada persamaan diatas dapat ditulis dalam bentuk lain:

$$z = |z| e^{j\psi} = |z| \angle \psi \quad (5)$$

$$\psi = kd \cos \theta + \beta = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \theta + \beta \quad (6)$$

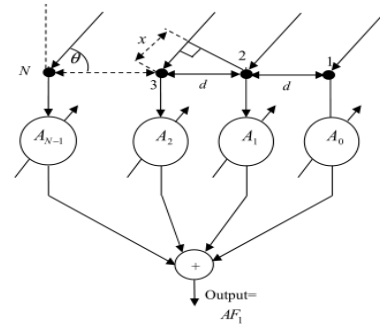
Nilai d, θ , atau β magnitudo dari z terletak pada sebuah unit lingkaran; namun fasanya tergantung pada d, θ , dan β . Pada unit lingkaran terbagi menjadi dua bagian yaitu daerah terlihat, bagian yang dapat direalisasikan, dan daerah tidak terlihat, bagian sisanya. Luas dari daerah terlihat dapat diatur dengan jarak antar elemen dan posisi relatifnya pada lingkaran dengan eksitasi dari element fasa progresif [6].

III. METODE PENELITIAN

Terdapat tiga tahapan utama pada metode dua polinomial yaitu yang pertama adalah mencari faktor *array* pertama, mencari faktor *array* kedua dan mengkalikan kedua faktor *array* tersebut.

Faktor *array* pertama dapat dicari dengan metode polinomial schelkunoff dan jika diasumsikan sebuah *array* uniform linier (ULA) dengan N elemen omnidirectional dengan jarak antar elemen d dan pergeseran fase progresif α . sudut datang θ dari gelombang datar yang mengenai *array* dan perbedaan jalur gelombang dari gelombang tersebut pada elemen yang berdekatan dirumuskan $x = d \cos \theta$ sesuai dengan gambar 1.

Keluaran dari elemen-elemen *array* akan ditambahkan setelah dikalikan dengan beban yang sudah dipilih secara tepat A_0, A_1, \dots, A_{N-1} untuk mengatur null pada arah *jammer*.



Gambar 1. Sebuah N elemen ULA dengan N-1 null yang dapat diatur

Pada Gambar 1 seluruh elemen pada *array* dijadikan sebagai referensi dan perbedaan fasa sinyal yang diterima pada elemen dituliskan dengan rumus:

$$\psi = \alpha + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cos(\theta) \quad (7)$$

dimana $2\pi/\lambda = k$ merupakan jumlah gelombang. Pergeseran fasa progresif α akan mengatur arah main lobe sesuai yang diinginkan. Ditunjukkan pada persamaan sebelumnya :

$$\alpha = -\left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cos(\theta_s) \quad (8)$$

Jika $z = e^{j\psi}$, maka faktor *array* pertama dapat dinyatakan sama dengan

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n z^{n-1} = a_1 + a_2 z + a_3 z^2 + \dots + a_N z^{N-1} \quad (9)$$

Faktor *array* kedua merupakan penekanan *sidelobe* dan dapat dinyatakan dengan rumus:

$$AF_2 = b_0 + b_1 z + \dots + b_{N_2-1} z^{N_2-1} = s_{N_2} \mathbf{b} \quad (10)$$

dimana $\mathbf{b} = [b_0, b_1, \dots, b_{N_2-1}]^T$ adalah vector beban kompleks dan $s_{N_2} = [1, z, \dots, z^{N_2-1}]$ adalah vector *steering*. Syarat pada vektor \mathbf{b} yaitu menjamin penekanan *sidelobe* dan mengarahkan main lobe pada arah yang sama dengan faktor *array* pertama (AF_1). Untuk mencari vektor \mathbf{b} diperlukan beberapa tahapan yaitu mencari sudut yang dapat menekan *sidelobe* θ_i , mencari vektor *steering* s_{N_2} dengan sudut θ_i sebagai syarat \mathbf{b} .

Untuk mencari sudut yang dapat menekan *sidelobe* θ_i , suatu daerah pengukuran harus ditentukan. Daerah tersebut diasumsikan sebagai S_R , yaitu gabungan dari dua bagian yang berisi sudut dari daerah *sidelobe* kiri dan kanan *main beam* dengan lebar *beam* θ_{mb} tertentu.

$$S_R = \{ 0^\circ < \theta \leq \theta_s - \frac{\theta_{mb}}{2} \} \cup \{ \theta_s + \frac{\theta_{mb}}{2} < \theta \leq 180^\circ \} \quad (11)$$

Setelah menentukan banyaknya sampel yang akan diambil, p , sudut-sudut yang disampel harus melalui syarat sebagai berikut:

$$A_{SR} = \{\theta_i | \theta_i \in S_R \wedge \theta_i = \theta_0 + i\delta\theta\} \subseteq S_R, \quad (12)$$

dimana θ_0 adalah sudut sampel permulaan, i merupakan urutan sampel $p-1$, dan $\delta\theta$ adalah jarak antar sampel. Sudut-sudut hasil sampel pada A_{SR} dibuat menjadi vektor *steering* S_{N_2} dan ditaruh pada matriks \mathbf{A} dan dituliskan dengan persamaan:

$$\mathbf{A} = [S_{N_2}(\theta_0) \ S_{N_2}(\theta_1) \ \dots \ S_{N_2}(\theta_{p-1})]^T \quad (13)$$

dengan

$$s_{N_2}(\theta_i) = [1, z_i, \dots, z_i^{N_2-1}] \quad (14)$$

dan

$$z_i = \exp(j(\alpha + \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) d \cos(\theta_i))) \quad (15)$$

Karena tujuan dari AF_2 adalah sebagai penekan *sidelobe* maka daya keluaran *array* harus diperkecil sepanjang sudut θ_i yang berada pada A_{SR} dengan batasan unit keluaran sepanjang arah *main beam* yang diinginkan θ_s . Hal tersebut dapat dicapai jika puncak daya keluaran dibatasi dalam daerah *sidelobe*, yaitu *sidelobe level* tertinggi yang memiliki nilai terkecil. Masalah ini dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \min_p \max(|s_{N_2}(\theta_i) \mathbf{b}|), \quad \theta_i \in A_{SR} \\ & \text{subject to} \quad s_{N_2}(\theta_s) \mathbf{b} = \mathbf{1} \end{aligned} \quad (16)$$

Minimalisasi daya ini dapat dicari dengan menggunakan *second-order cone programming* (SOCP) yang merupakan bagian dari optimasi *convex*. Sehingga menjadi persamaan baru:

$$\begin{aligned} & \text{Minimize} \quad t \\ & \text{subject to} \quad |\mathbf{A}\mathbf{b}| \leq t \\ & \quad \quad \quad S_{N_2}(\theta_s) \mathbf{b} = \mathbf{1} \end{aligned} \quad (17)$$

Masalah optimasi ini dapat diselesaikan dengan menggunakan [7] yang merupakan sebuah program matlab bernama *cvx* program.

Jika vektor beban kompleks \mathbf{b} sudah didapat maka faktor *array* kedua bisa didapat dengan mengkalikan beban dengan vektor *steering*. Hasil AF_1 akan dikalikan AF_2 untuk mendapatkan *AF* dengan *sidelobe level* yang rendah.

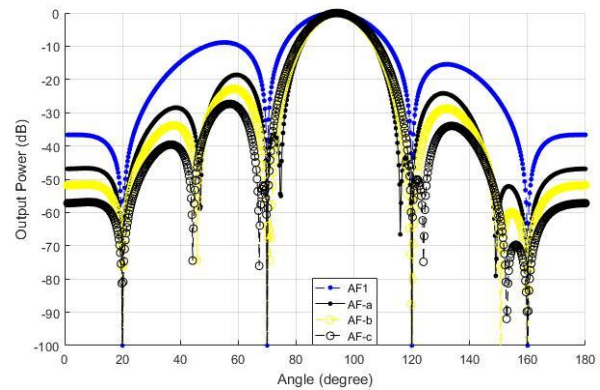
IV. PRINSIP-PRINSIP PUBLIKASI

Untuk mengetahui sesuai atau tidaknya program simulasi yang telah dibuat, faktor *array* hasil simulasi akan dibandingkan dengan hasil simulasi pada literatur [3]. Dengan parameter berikut:

Tabel 1.
Parameter Simulasi

No	Parameter	Jumlah	Keterangan
1	N_1	5	Jumlah elemen <i>array</i> linier pertama
2	N_2	5	Jumlah elemen <i>array</i> linier kedua
3	d	$\lambda/2$	Jarak antar elemen
4	θ_s	95°	Arah <i>main beam</i>
5	θ_{li}	$20^\circ, 70^\circ, 120^\circ, 160^\circ$	Sudut <i>Null</i>
6	θ_{mb}	$30^\circ, 40^\circ, 50^\circ$	Lebar <i>main beam</i>

Hasil yang didapat sesuai dengan hasil simulasi pada literatur. Berikut hasil pada simulasi:

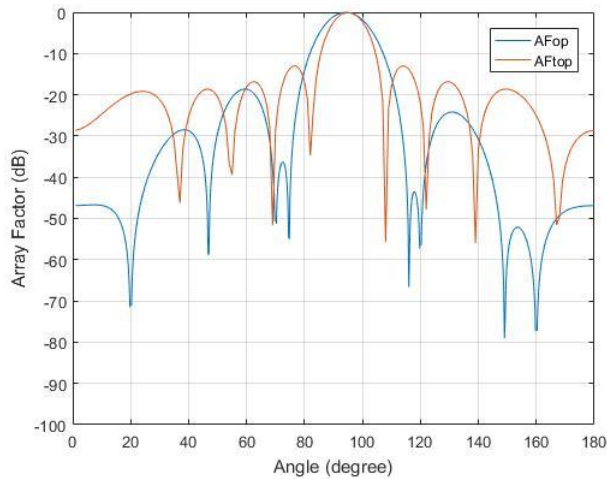


Gambar 2. Hasil Faktor *Array* pada Simulasi

Selanjutnya nilai faktor *array* pada simulasi dengan metode akan dibandingkan dengan nilai faktor *array* simulasi tanpa metode. Hasilnya ditampilkan pada Gambar 3.

Garis biru pada Gambar 3 merupakan hasil faktor *array* pada antenna *array* 9 elemen yang menggunakan metode dua polinomial. Sedangkan garis merah merupakan hasil faktor *array* pada antenna *array* 9 elemen tanpa metode.

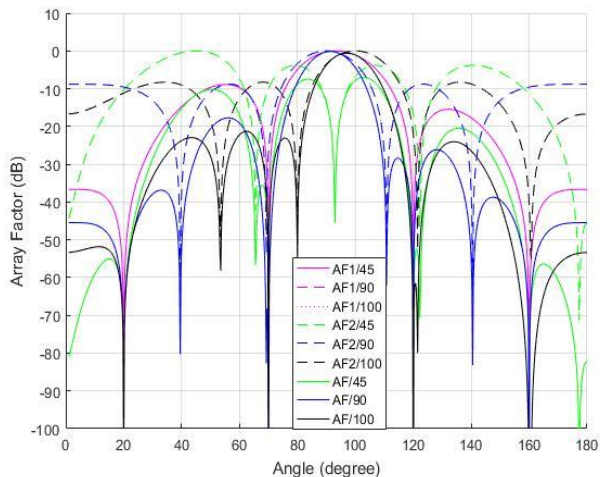
Pada Gambar 3, puncak *sidelobe level* (PSLL) yang dihasilkan metode polinomial pada antenna *array* 9 elemen sebesar -21,07 dB, sedangkan PSLL dari antenna *array* 9 elemen tanpa metode sebesar -11,92 dB.



Gambar 3. Hasil Perbandingan Faktor Array antara Metode Dua Polinomial dan Tanpa Metode

Pengujian juga dilakukan dengan merubah-ubah nilai parameter sehingga batasan nilai yang dapat dimasukkan dapat diketahui sesuai dengan perubahan pola radiasi yang ditampilkan dalam simulasi. Contohnya pada perubahan arah *main beam* dan lebar *main beam* ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 7.

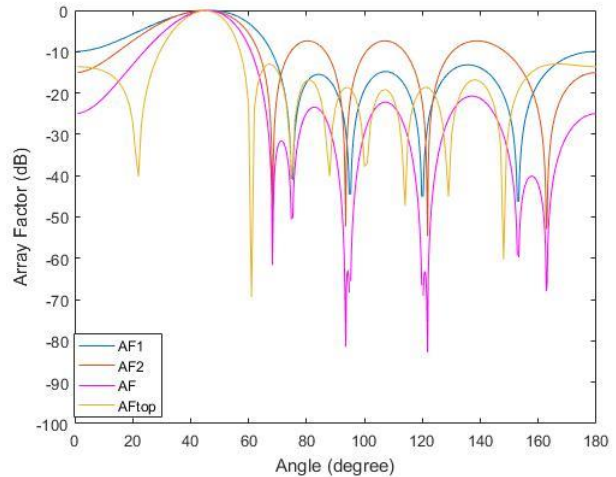
Pada kedua gambar tersebut, garis berwarna magenta merupakan hasil faktor array pada array pertama (AF₁), garis berwarna hijau, biru, dan hitam putus-putus menggambarkan hasil faktor array pada array kedua. Sedangkan garis berwarna yang sama tanpa putus-putus menggambarkan hasil faktor array pada array keseluruhan. Array keseluruhan merupakan array yang berisi array pertama dan kedua dan faktor array dari array tersebut merupakan penjumlahan faktor array pertama dan array kedua dalam satuan decibel (dB).



Gambar 4. Hasil Faktor Array pada Perubahan Arah Main Beam $\theta_s = 45^\circ, 90^\circ,$ dan 100°

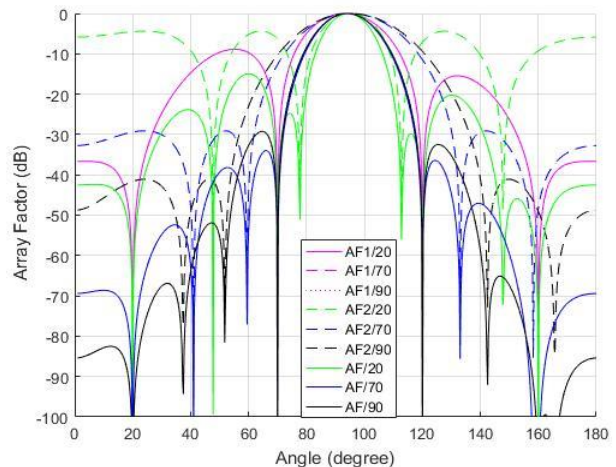
Dari hasil simulasi pada perubahan arah *main beam* $\theta_s = 45^\circ$, nilai PSLL dan AF *main beam* hanya memiliki selisih 0,259 dB. Untuk menyesuaikan arah *main beam* tersebut, sudut *null* yang ditentukan diawal perlu diubah sesuai dengan

sudut *null* antenna array tanpa metode pada arah *main beam* yang sama. Sehingga nilai faktor array akan menghasilkan pola yang sama dengan pola radiasi yang diinginkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dan PSLL yang dihasilkan sebesar -20,74 dB sedangkan PSLL pada antenna array tanpa metode dengan elemen yang sama, yaitu 9 elemen, sebesar -12,99 dB.

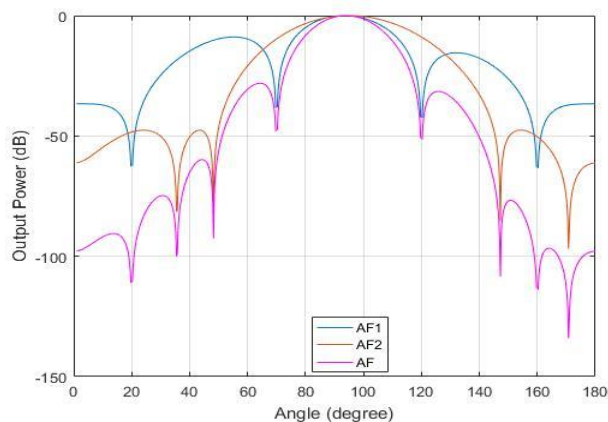


Gambar 5. Hasil Perbandingan antara Metode Dua Polinomial dengan Tanpa Metode pada arah main beam $\theta_s = 45^\circ$

Perubahan lebar *main beam* θ_{mb} akan menyebabkan perubahan pada lebar *Half Power Beamwidth* (HPBW) namun nilai FNBW akan mencapai maksimum pada batas sudut yang sama dengan sudut *null* yang ditentukan. Jadi nilai HPBW juga akan mencapai maksimum saat FNBW maksimum. Pada Gambar 6, HPBW saat lebar *main beam* 90° sama dengan HPBW saat lebar *main beam* 100° (Gambar 6), yaitu sebesar $17,55^\circ$.



Gambar 6. Hasil Faktor Array pada Perubahan Lebar Main Beam $\theta_{mb} = 20^\circ, 70^\circ, 90^\circ$



Gambar 7. Hasil Faktor Array pada Perubahan Lebar Main Beam $\theta_{mb} = 100^{\circ}$

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil simulasi dan setelah dilakukan proses analisa, maka diperoleh kesimpulan bahwa penggunaan metode dua polinomial pada antena *array uniform* linier 9 elemen dapat menekan *sidelobe* sebanyak 9,15 dB. Selain itu perubahan arah *main beam* pada sudut 45° tidak dapat menghasilkan pola radiasi dengan arah *main beam* 45° , dan nilai PSL dan faktor array *main beam* hanya memiliki selisih 0,259 dB. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, sudut *null* perlu diubah sesuai dengan sudut *null* pada faktor array tanpa metode. Pada perubahan lebar *main beam*, nilai HPBW saat lebar *main beam* 90° sama dengan HPBW saat lebar *main*

beam 100° , yaitu sebesar 17,55 dB. Hal tersebut didapat jika kondisi sudut *null* yang diinginkan pada sudut 20° , 70° , 120° , dan 160° .

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis AYL mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan dosen-dosen bidang studi telekomunikasi multimedia yang telah memberikan banyak masukan serta arahan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. K. S. V. Kumar, "Grating lobe and Sidelobe Suppression using Multi-Objective Optimization Techniques," in *IEEE Conference Publication*, 2015.
- [2] dan A. N. S. U. Khan, I. M. Qureshi, F. Zaman, "Null Placement and Sidelobe Suppression in Failed Array Using Symmetrical Element Failure Technique and Hybrid Heuristic Computation," *Prog. Electromagn. Res. B*, vol. 52, pp. 165–184, 2013.
- [3] dan F. M. Z. U. Khan, A. Naveed, "Efficient Sidelobe Suppression by Matching Beam in Two Polynomial Technique," in *Intelligent Systems Engineering (ICISE)*, 2016.
- [4] S. A. H. and A.-R. K. Zafar-Ullah Khan, Aqdas Naveed Malik, Fawad Zaman, "Sidelobe Suppression with Null Steering by Independent weight Control," *Int. J. Antennas Propag.*, p. 6, 2015.
- [5] S. A. Schelkunoff, "A mathematical theory of linear arrays," *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 22, pp. 80–107, 1943.
- [6] W. L. dan G. . T. Stutzman, *Antenna Theory and Design Third Edition*. Amerika: John Wiley & Sons, Inc, 2012.
- [7] M. G. and S. Boyd, "CVX: a system for disciplined convex programming: cvx version 1.21." 2011.