

PENERAPAN METODA SINTESIS CHEBYCHEV PADA ANTENA ARRAY UNTUK MENGHASILKAN TINGKAT SIDELOBE RENDAH

Yohandri

Jurusan Fisika, FMIPA Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Hamka Air Tawar, Padang,
Sumatera Barat, Indonesia 25131
andri_unp@yahoo.com

ABSTRACT

We have developed an array antenna consisting of 5 elements of square shaped with corner-truncated for circularly polarized synthetic aperture radar (CP-SAR) sensor. The CP-SAR sensor will be installed on unmanned aerial vehicle (UAV) and on-board small satellite as well as. This sensor targeted for various application such as land cover mapping, disaster monitoring, snow cover, oceanography mapping, etc. To maintain the quality of SAR data recording, a low sidelobe level array antenna is required to be implemented in the SAR system. In this work, the Chebychev synthesis method is implemented to manage the power distribution in feeding network. The proposed antenna is designed and optimized using a method of moment (MoM) and presented a good circular polarization and low sidelobe level at the targeted frequency (1,27 GHz). The fabricated antenna gives an impedance dan axial ratio bandwidth of 70,7 MHz and 9,8 MHz, respectively. On the other hand, the sidelobe level is obtained around of 20,7 dB.

Keywords: Chebychev, CP-SAR, Array antenna, Sidelobe

PENDAHULUAN

Sensor CP-SAR bekerja dengan cara memancarkan dan menerima gelombang yang terpolarisasi secara melingkar (*circularly polarized*). Sensor ini dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan pada sensor SAR yang terpolarisasi secara linier. Kelebihan utama dari sensor CP-SAR ini adalah dapat mengurangi ketidakcocokan polarisasi yang disebabkan oleh rotasi Faraday ketika gelombang merambat melalui ionosfir (Freeman, 2004 dan Mayer, 2008). Disamping itu, sensor CP-SAR diharapkan dapat menghasilkan informasi tambahan dari target seperti sudut perputaran (*tilt angle*) dan rasio aksial.

Untuk menghasilkan gambar yang berkualitas, antena sebagai gerbang sensor harus memenuhi beberapa karakteristik khusus. Karakteristik utama yang penting adalah mempunyai bobot yang ringan, berukuran kecil, dan memiliki rentangan

rasio aksial yang lebar (*broadband*). Parameter penting lainnya yang harus dipenuhi antena untuk sensor SAR adalah memiliki tingkat sidelobe yang rendah. Sidelobe adalah radiasi antena yang muncul disamping radiasi utama. Sidelobe yang rendah dapat menghilangkan data yang tidak diinginkan yang dihasilkan dari pantulan benda atau permukaan yang bukan sebagai target dari sensor.

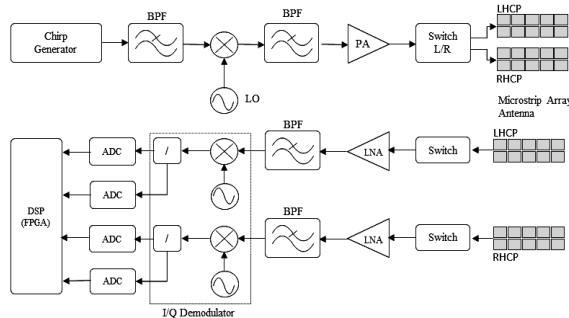
Dalam penelitian sebelumnya, sejumlah antena array sudah dikembangkan (Yohandri, 2011). Namun, hampir semua model yang dihasilkan memiliki tingkat sidelobe yang kurang memuaskan (<13 dB). Untuk memperoleh antena dengan tingkat sidelobe yang rendah, maka dalam rancangan ini digunakan metoda sintesis Chebychev untuk mengatur distribusi daya pada tiap elemen antena.

Tulisan ini secara umum akan membahas cara mengembangkan antena array

dengan tingkat sidelobe rendah menggunakan metoda sintesis Chebychev. Dalam uraian selanjutnya akan dibahas tentang sensor SAR, metoda sintesis Chebychev dan desain antenna. Metode penelitian akan disajikan dalam seksi kedua. Seksi ketiga akan menampilkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini. Terakhir pada seksi penutup akan disampaikan kesimpulan dari hasil penelitian ini.

Sensor SAR

Secara garis besar, sensor SAR terdiri atas tiga bagian utama yaitu rangkaian pemancar (Tx), rangkaian penerima (Rx) dan antenna. Blok diagram dari sensor dapat diperhatikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram sensor SAR

Pemancar dibangun oleh sebuah pembangkit chirp, filter (BPF), up-converter, penguat daya tinggi (PA), saklar dan antenna dengan polarisasi melingkar. Jenis antenna yang akan digunakan dapat yang melingkar kekiri (LHCP) maupun melingkar kekanan (RHCP) yang dipilih menggunakan saklar. Sementara pada bagian penerima kedua jenis antenna (LHCP dan RHCP) digunakan secara bersamaan. Dalam tiap blok penerima ini terdapat penguat noise rendah (LNA), band pass filter (BPF), dua I/Q demodulators, 4 kanal rangkaian konversi analog ke digital (ADC) dan perekam data (memory).

Kemampuan dari sensor SAR dapat ditentukan oleh beberapa parameter yaitu sensitivitas, resolusi dalam arah rentang (*range*) dan azimuth, kualitas gambar, ambiguitas (*ambiguities*) dan jangkauan

swath (*swath coverage*) (Pokuls, 1998). Tabel 1 menampilkan spesifikasi yang dibutuhkan CP-SAR sensor untuk aplikasi UAV dan satelit kecil (Rizki Akbar, 2010 dan 2010).

Tabel 1. Speksifikasi sensor CP-SAR

Parameter	Spesifikasi	
	UAV	μSAT
Pusat frekuensi	1,27	
Lebar bandwidth	233,3	10
Rasio aksial (dB)	≤3	
Tingkat sidelobe (dB)	>15 dB	
Gain antenna (dBic)	14,32	36,6
Beamwidth azimuth	6,77°	1,08°
Beamwidth elevasi	3,57°	2,16°
Polarisasi (Tx/Rx)	RHCP+LHCP	

Metoda Sintesis Chebychev

Dalam desain ini, array antenna terdiri atas 5 elemen dengan jarak antar elemen dibuat tetap ($d = \lambda_0/2$) dan tingkat sidelobe dirancang 20 dB. Distribusi daya pada tiap elemen antenna diatur oleh rangkaian feed yang dibuat berdasarkan pada koefisien eksitasi faktor array antenna (AF). Untuk antenna lima elemen, factor array dapat dirumuskan seperti persamaan berikut (Stutzman, 1998).

$$AF(u) = a_0 + 2a_1 \cos u + 2a_2 \cos 2u \quad (1)$$

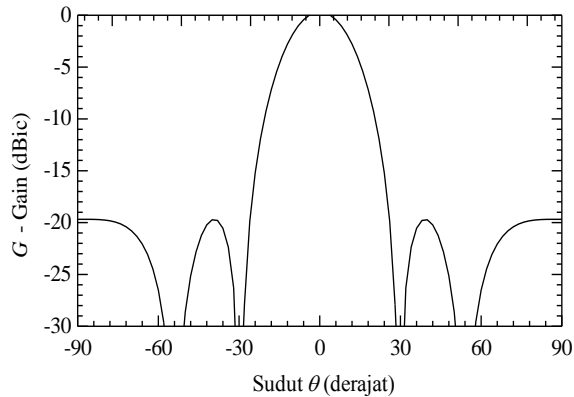
Dimana untuk jarak antar elemen setengah λ ($d = \lambda/2$) maka $2\pi(d/\lambda) \cos \theta = \pi \cos \theta$. Dengan mensubsitusi polinomial Chebyshev dan dinormalisasi terhadap pusat elemen (a_0), koefisien eksitasi antenna array 5 elemen diperoleh

$$AF(u) = 1 + 1.6654 \cos u + 1.0360 \cos 2u \quad (2)$$

Berdasarkan persamaan (2) dapat dituliskan koefisien eksitasi untuk tiap elemen seperti terlihat dalam Tabel 2. Sementara faktor array sebagai fungsi dari θ dapat diplot seperti terlihat pada Gambar 2.

Tabel 2. Koefisien eksitasi tiap elemen

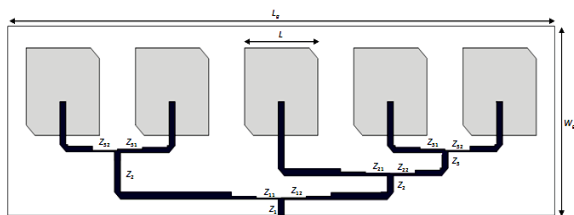
Nomor elemen	Koefisien eksitasi
1	1,398
2	2,247
3	2,698
4	2,247
5	1,398



Gambar 2. Faktor array Chebychev antenna untuk 5 elemen dengan jarak elemen $\lambda/2$

Desain Antena

Desain geometri antenna di optimalkan menggunakan *method of moment* (MoM) dengan asumsi model ground terbatas. Dengan pengaturan beberapa parameter seperti yang terdapat dalam Gambar 3, distribusi daya optimum dari desain antenna diperoleh seperti terlihat dalam Tabel 3.



Gambar 3. Desain geometri array antenna menggunakan metode sintesis Chebyshev pada antenna mikrostrip persegi dengan sudut dipotong.

Desain antenna dirancang menggunakan dua lapis substrat dengan tebal masing-masing $t = 1,6$ mm, tebal konduktor $t_c = 35$ μ m, konstanta dielectric $\epsilon_r = 2,17$ dan factor disipasi daya $\delta = 0,0005$. Berdasarkan hasil simulasi diperoleh ukuran bidang

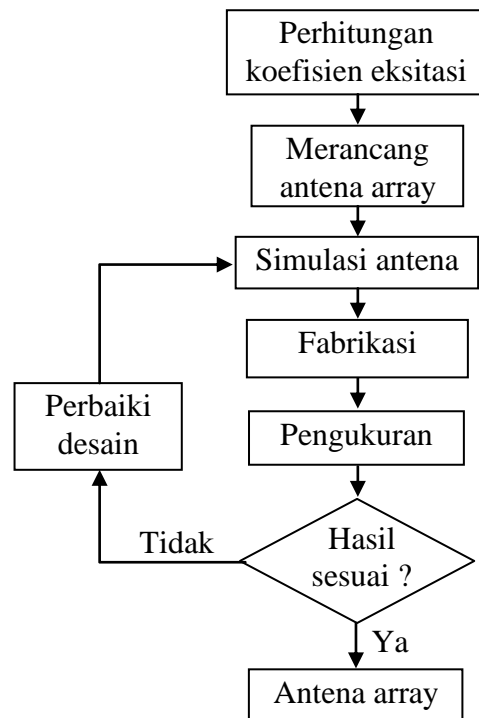
ground $L_g = 593,75$ mm dan $W_g = 170,48$ mm. Ukuran elemen radiator persegi adalah 79,55 mm.

Tabel 3. Distribusi daya dalam rangkaian feed.

Port	Perhitungan (Ω)	Simulasi (Ω)
Z_{11}	109,61	109,60
Z_{12}	62,98	63,00
Z_{21}	94,03	94,00
Z_{22}	69,61	69,60
Z_{31}	56,77	64,00
Z_{32}	91,26	77,00
Z_1	42,50	42,00
Z_2	40,13	40,00
Z_3	40,23	40,00

METODE

Secara umum ada beberapa tahap yang harus dilakukan dalam pengembangan antenna array. Alur sederhana tahap-tahap pengembangan antenna seperti terlihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahap-tahap pengembangan antenna array

Pemodelan Elektromagnetik

Pemodelan elektromagnetik dari desain antenna dilakukan menggunakan perangkat lunak dengan metode *moment* (*method of moment*). Salah satu perangkat lunak yang menggunakan algoritma metode *moment* adalah IE3D dari Zeland. IE3D adalah *software* simulasi yang mengintegrasikan gelombang elektromagnetik dan paket optimasi sehingga dapat menghasilkan analisis dengan akurasi yang tinggi. *Software* ini dapat digunakan untuk berbagai analisis termasuk antenna planar atau tiga dimensi (Zeland Software Inc., 2006). Hasil yang dapat diperoleh dari IE3D antara lain koefisien refleksi, impedansi masukan, bentuk radiasi dan distribusi arus.

Fabrikasi Antena

Fabrikasi antenna dilakukan dengan teknik pemidahan desain menggunakan cahaya ultraviolet (UV) dan pelarutan dalam zat kimia (*etching*). Untuk memindahkan desain ke substrat, desain dicetak ke kertas transparan kemudian ditempelkan pada substrat yang sudah dilapisi dengan film kering (*dry film*). Selanjutnya desain yang sudah ditempel pada substrat disinari menggunakan cahaya UV hingga desain jadi berpindah. Tahap berikutnya adalah membuang lapisan film kering pada daerah yang tidak dibutuhkan.

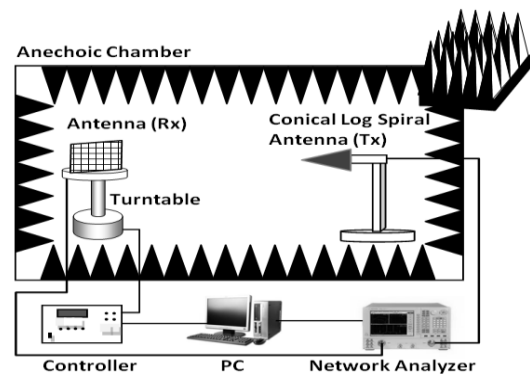
Proses *etching* digunakan untuk membuang lapisan copper yang tidak dibutuhkan pada substrat. Setelah tahap ini, antenna dibersihkan dan dilobangi untuk memasang baut plastik. Sebagai tahap akhir adalah pemasangan konektor (penyolderan) dan antenna siap untuk diukur karakteristiknya.

Pengukuran Antena

Koefisien refleksi dan impedansi masukan diukur menggunakan RF *Vector Network Analyzer* (Agilent VNA E8364C). sebelum melakukan pengukuran, proses kalibrasi perlu dilakukan untuk mengurangi kesalahan data pengukuran. Ada tiga

kalibrasi standar yang perlu dilakukan yaitu rangkaian terhubung (*short*), rangkaian terbuka (*open*) dan tahanan beban (*load*). Untuk kalibrasi koefisien refleksi dapat dilakukan menggunakan satu port VNA.

Gain, rasio aksial, bentuk radiasi dari antenna diukur dalam ruangan tanpa pantulan (*anechoic chamber*). Dua antenna standar yang memiliki polarisasi melingkar yaitu LHCP dan RHCP digunakan sebagai antenna referensi. Untuk menghasilkan data pengukuran yang akurat dan presisi, pengukuran harus dilakukan dengan teliti. Skema sistem pengukuran antenna dan foto antenna dalam proses pengukuran seperti terlihat pada Gambar 5 dan Gambar 6 secara berurutan.



Gambar 5 Skema sistem pengukuran antenna



Gambar 6 Foto pengukuran antenna dalam anechoic chamber.

Untuk mendapatkan respon antenna dengan baik, maka jarak antara antenna standar dengan antenna yang mau di karakterisasi harus berada dalam daerah *far-field*. Daerah *far-field* adalah suatu daerah

dimana antenna dapat menerima gelombang datar (*plane wave*). Secara teori jarak minimum ini dapat dihitung dengan persamaan berikut

$$r = \frac{2D^2}{\lambda}, \quad (3)$$

dimana r adalah jarak antara antenna yang uji dengan antenna standar (m) dan D dimensi antenna yang paling besar.

Dalam daerah yang lebih kecil dari radius r , terdapat distribusi medan elektromagnetik hasil dari banyak kontribusi gelombang yang dipancarkan oleh antenna. Bentuk radiasi dari antenna selalu diukur pada jarak far-field. Dalam pengukuran, antenna yang akan diuji diatur sebagai penerima, dimana antenna spiral standar dipasang sebagai pemancar.

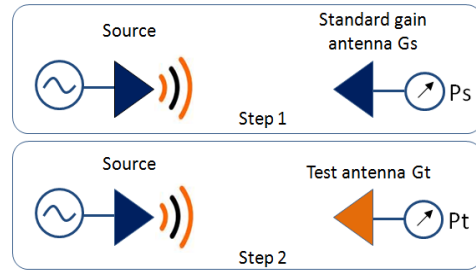
Pengukuran rasio aksial (AR) dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama adalah mengukur daya dari antenna dengan pemancar antenna spiral standar LHCP. Tahap kedua adalah mengukur sinyal yang diterima dari pemancar RHCP. Nilai rasio aksial ditentukan menggunakan persamaan yang dapat ditulis sebagai

$$\text{Aksialrasio} = 20 \log \left| \frac{10^{\frac{P_R}{20}} + 10^{\frac{P_L}{20}}}{10^{\frac{P_R}{20}} - 10^{\frac{P_L}{20}}} \right| \text{ dB}, \quad (4)$$

dimana P_R adalah daya yang diterima dari pemancar RHCP dan P_L adalah daya dari pemancarnya LHCP.

Untuk menentukan besarnya gain dari sebuah antenna dapat dilakukan dengan membandingkan gain hasil pengukuran dengan gain dari antenna yang telah diketahui. Sebagai referensi, dalam pengukuran ini digunakan antenna dipole Anritsu MP651A. Perhitungan nilai gain dari antenna dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan (5). Ilustrasi pengukuran gain antenna dapat dilihat seperti pada Gambar 7.

$$\text{Gain} = 10 \log (P_t/P_s) \text{ dBic}, \quad (5)$$

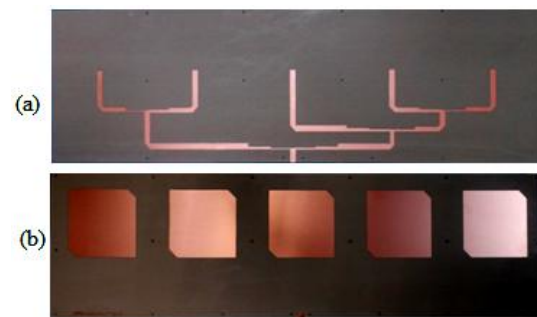


Gambar 7. Pengukuran gain antenna.

dimana P_t adalah nilai gain dari antenna yang ingin diketahui, sementara P_s adalah nilai gain dari antenna referensi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Antena array dengan tingkat sidelobe rendah telah difabrikasi untuk memverifikasi hasil silmulasi. Untuk menghasilkan karakteristik antenna yang sama dengan model simulasi dibutuhkan proses fabrikasi yang hati-hati dan teliti. Foto hasil fabrikasi seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

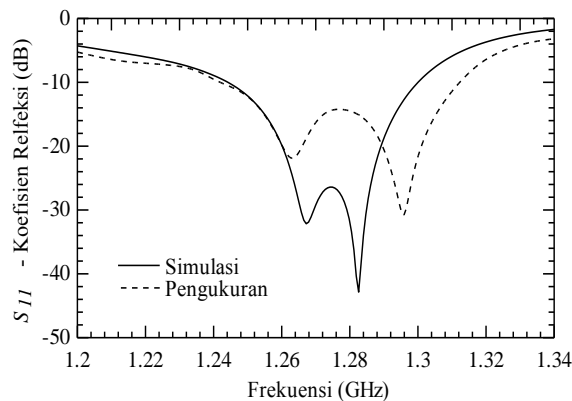


Gambar 8. Foto hasil pabrikan antenna, (a) rangkaian feed dan (b) Radiator persegi dengan sudut dipotong.

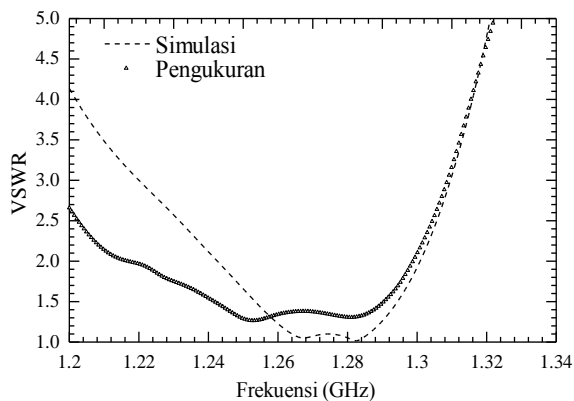
Berbandingan karakteristik antenna antara hasil simulasi dan pengukuran ditampilkan pada Gambar 9 hingga Gambar 14. Karakteristik yang diamati meliputi koefisien refleksi (S_{11}), *voltage standing wave ratio* (VSWR), rasio aksial (AR), gain dan bentuk radiasi (*radiation pattern*).

Dalam Gambar 9, koefisien refleksi (S_{11}) diplot sebagai fungsi dari frekuensi pada pusat frekuensi kerja (1,27 GHz).

Koefisien refleksi minimum hasil pengukuran diperoleh sebesar -30,8 dB, sementara untuk hasil simulasi yaitu -42,8 dB. Bandwidth impedansi pada -10 dB dari antenna adalah 70,7 MHz dan 56,0 MHz untuk hasil pengukuran dan simulasi secara berurutan. Sedikit perbedaan antara hasil pengukuran dan simulasi diduga terkait dengan perbedaan kecil pada ukuran jalur feed antara simulasi dengan model yang telah difabrikasi.



Gambar 9. Hasil simulasi dan pengukuran koefisien refleksi diplot sebagai fungsi dari frekuensi.



Gambar 10. Hasil simulasi dan pengukuran VSWR diplot sebagai fungsi dari frekuensi.

Hasil simulasi dan pengukuran dari VSWR versus frekuensi ditampilkan dalam Gambar 10. Secara umum, hasil pengukuran dan simulasi memiliki kemiripan. Bandwidth impedansi untuk $VSWR \leq 2$ adalah 6,4% yang berkisar dari 1,217 GHz hingga 1,299 GHz. Sementara itu pada hasil

simulasi bandwidth yang diperoleh adalah 4,57% dengan rentangan frekuensi dari 1,243 GHz sampai 1,301 GHz. Pada pusat frekuensi kerja 1,27 GHz, nilai VSWR adalah 1.38 untuk hasil pengukuran dan 1,17 untuk hasil simulasi. Berdasarkan data ini terlihat hasil simulasi dan pengukuran memiliki kecocokan yang sangat tinggi (*matching*) antara jalur feed dengan antenna pada frekuensi kerja yang dirancang.

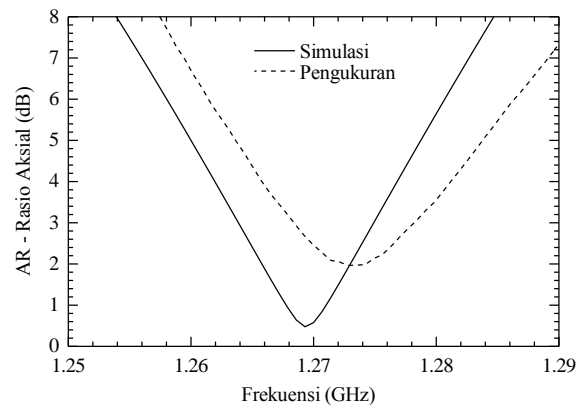
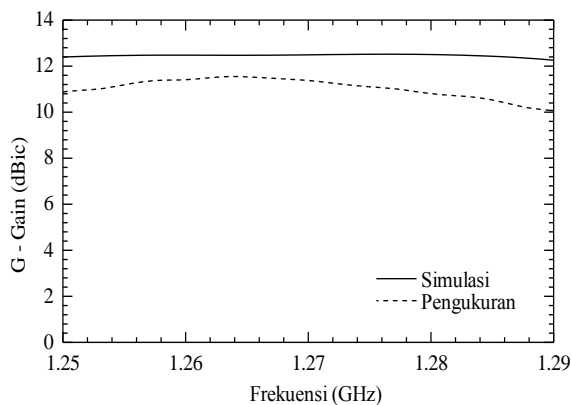


Figure 11. Hasil simulasi dan pengukuran aksial rasio (AR) diplot sebagai fungsi dari frekuensi.

Hubungan antara rasio aksial (AR) ditampilkan pada Gambar 11. Bandwidth rasio aksial hasil pengukuran pada $\theta = 0^\circ$ (yaitu antenna diatur tegak lurus terhadap antenna standar) adalah sekitar 9,8 MHz atau sama dengan 0,77 % terhadap frekuensi operasi 1,27 GHz. Sementara itu, hasil simulasi diperoleh bandwidth sekitar 11,2 MHz atau 0,88% terhadap frekuensi operasi. Nilai minimum dari rasio aksial diperoleh sebesar 0,58 dB untuk simulasi dan 1,97 untuk data pengukuran. Rentang rasio aksial hasil pengukuran sedikit bergeser dari pusat frekuensi 1,270 ke frekuensi 1,273 GHz. Pergeseran ini disebabkan oleh ketidak sempurnaan dalam proses fabrikasi. Disamping itu, perbedaan kecil dalam ukuran bidang ground juga dapat menyebabkan terjadinya perubahan pada bandwidth dari rasio aksial. Berdasarkan karakteristik rasio aksial baik pada model simulasi dan pengukuran terlihat antenna

yang dibuat telah memenuhi target spesifikasi dari sensor CP-SAR (10 MHz).

Hasil simulasi dan pengukuran gain antenna sebagai fungsi dari frekuensi ditunjukkan dalam Gambar 12. Dari Gambar terlihat, pada pusat frekuensi kerja gain antenna hasil simulasi diperoleh sekitar 12,5 dBic, sementara itu gain hasil pengukuran adalah 11,37 dBic. Nilai 1,13 dBic lebih rendah pada hasil pengukuran diperkirakan karena beberapa faktor antara lain hambatan kabel, konektor dan karena pengaruh dari bahan substrat antenna itu sendiri.

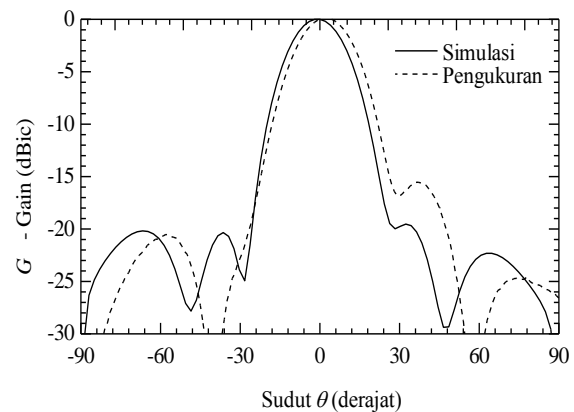


Gambar 12. Hubungan antara gain dan frekuensi pada sudut $\theta = 0^\circ$.

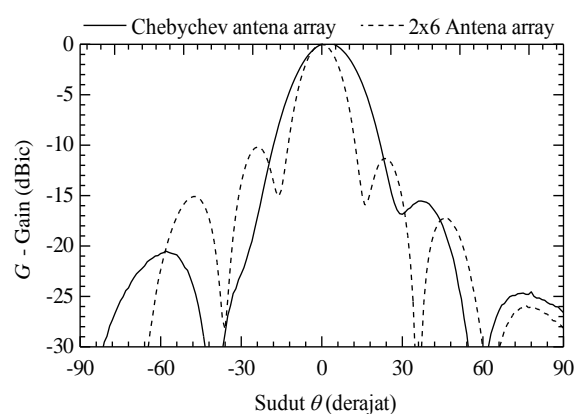
Bentuk radiasi (radiation pattern) antenna ditampilkan dalam grafik gain versus sudut θ dalam bidang $Az = 0^\circ$ and 180° ($x - z$ plane) seperti pada Gambar 13. Seperti terlihat pada gambar, berkas radiasi utama dipancarkan pada arah $Az = 0^\circ$. Berdasarkan data hasil pengukuran, sidelobe pertama pada radiasi muncul pada $\theta = +35^\circ$ dengan puncak amplitudo -15,5 dB dan $\theta = -56^\circ$ dengan puncak amplitudo -20,7 dB. Dengan kata lain disini terlihat perbedaan amplitudo antara lobe utama dengan sidelobe adalah sekitar 15,5 dB untuk $\theta = +35^\circ$ dan 20,7 dB untuk $\theta = -56^\circ$. Hasil pengukuran memiliki karakteristik yang mirip dengan hasil simulasi. Perbedaan antara hasil pengukuran dan simulasi disebabkan ketidaksempurnaan pada proses pengukuran, khususnya pada

variasi kecil saat antenna mengalami perputaran dalam proses pengukuran.

Gambar 14 menampilkan kinerja antenna yang dirancang dibandingkan dengan hasil yang diperoleh pada 2×6 antenna array penelitian sebelumnya (Yohandri dkk, 2011). Pada penelitian sebelumnya, perbedaan antara *mainlobe* dengan *sidelobe* adalah sekitar 10,22 untuk $\theta = -24^\circ$ dan 11,36 dB untuk $\theta = 23^\circ$. Terlihat dari gambar, penerapan metoda sintesis Chebychev memberikan hasil yang cukup baik dalam mengurangi tingkat sidelobe pada antenna array.



Gambar 13. Normalisasi bentuk radiasi antenna array dalam bidang theta pada frekuensi 1,27 GHz.



Gambar 14. Perbandingan hasil pengukuran sidelobe antenna menggunakan metoda Chebychev dengan tanpa menggunakan Chebychev (2×6).

PENUTUP

Antena array dengan tingkat sidelobe rendah menggunakan metode sintesis Chebychev telah dirancang dan difabrikasi. Elemen antena disusun secara linier dengan jarak satu elemen ke elemen berikutnya adalah setengah panjang gelombang ($d = \lambda_0 / 2$). Karakteristik antena sangat baik terlihat dari hasil pengukuran yang hampir sama dengan model simulasi. Sementara itu, tingkat sidelobe antena diperoleh sekitar 20 dB sesuai dengan rancangan yang dibuat. Dibanding dengan hasil penelitian sebelumnya, antena array dengan menggunakan metoda sintesis Chebychev menunjukkan hasil yang memuaskan dalam mengurangi tingkat sidelobe. Berdasarkan karakteristik yang ditunjukkannya, maka antena ini cukup menjanjikan untuk digunakan pada sensor CP-SAR.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada Professor Josaphat Tetuko Sri Sumantyo, JMRS, Chiba University, Japan atas fasilitas dan diskusi yang berharga dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Freeman, A. and Saatchi, S., **On the detection of Faraday rotation in linearly polarized, L-band SAR backscatter signatures**, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 42, No. 8, 1607–1616, 2004.
- Meyer, F.J. and Nicoll, J.B., **Prediction, detection, and correction of Faraday rotation in full-polarimetric L-band SAR data**, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*, Vol.46, 3076-3086, 2008.
- Pokuls, R., J. Uher, and D. M. Pozar, **Dual-frequency and dual polarization microstrip antennas for SAR applications**, *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, Vol. 46, No. 9, 1289-1296, 1998.
- Rizki Akbar, P., Sri Sumantyo, J.T., and Kuze, H., 2010. **CP-SAR UAV development**, *International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Science*, Vol. XXXVIII, Part 8, Kyoto Japan, pp. 203-208.
- Rizki Akbar, P., Tetuko S. S, J. and Kuze, H., **A novel circularly polarized synthetic aperture radar (CP-SAR) onboard spaceborne platform**. *International Journal of Remote Sensing*, 31(04), pp. 1053 – 1060, 2010.
- Stutzman, W.L., and Thiele, G.A., **Antenna Theory and Design, 2nd Edition**, John Wiley & Sons, Inc., New York, 537-541, 1998.
- Struzak, R., 2007, **Basic Antenna Theory**, presented at ICTP-ITU-URSI School on Wireless Networking for Development The Abdus Salam International Centre for Theoretical Physics ICTP, Trieste (Italy), 5 to 24 February 2007.
- Yohandri, V. Wissan, I. Firmansyah, P. Rizki Akbar, Sri Sumantyo, J.T., and H. Kuze, **Development of circularly polarized array antenna for synthetic aperture radar sensor installed on UAV**, *Progress in Electromagnetics Research C*, Vol. 19, 119-133, January 2011.
- Yohandri, J.T. Sri Sumantyo, Hiroaki Kuze, **Circularly Polarized Array Antennas for Synthetic Aperture Radar**, *Progress in Electromagnetics Research Symposium (PIERS)*, Suzhou, China, September 2011.
- Zeland Software Inc., January 2006, **IE3D User's Manual Release 11.2**.