

Analisis Pencirian Parameter Ketebalan dan Kebertelusan Substrat bagi Elemen Cincin Segiempat Sepusat Bersela Antena Tatasusun Pantulan

(Analysis of Parameterization Substrate Thickness and Permittivity for Concentric Split Ring Square Reflectarray Element)

Norbahiah Misran, Siti Hafizah Yusop, Mohammad Tariqul Islam & Muhammad Yusof Ismail

ABSTRAK

Satu siri kajian pencirian parameter yang terdiri daripada ketebalan dan kebertelusan bahan substrat yang bertujuan meningkatkan prestasi lebar jalur elemen antena tatasusun pantulan telah dijalankan dan dibentangkan di dalam kertas kerja ini. Parameter yang digunakan untuk mengukur prestasi lebar jalur ini adalah kecerunan lengkung fasa dan julat fasa lurus yang merujuk kepada graf fasa pantulan terhadap frekuensi. Kehilangan balikan juga turut dianalisis bagi menentukan prestasi kehilangan oleh bahan substrat. Elemen yang direkabentuk dan dianalisis merupakan kombinasi cincin dan cincin segiempat dengan ruang sela dan dibangunkan menggunakan perisian komputer CST Microstripes. Analisis menunjukkan kedua-dua ciri ketebalan dan kebertelusan bahan substrat memberi kesan kepada prestasi lebar jalur elemen di mana pemilihan penggunaan bahan substrat yang betul perlu dilakukan bagi mendapatkan prestasi elemen yang optimum terutamanya bagi kecerunan fasa dan julat fasa.

Kata kunci: Antena tatasusun pantulan; lebar jalur; ketebalan substrat; kebertelusan substrat

ABSTRACT

A series of parameterization analysis consists of the substrate thickness and permittivity is carried out to enhance the bandwidth performance of reflectarray antenna element. The parameter to measure the bandwidth performance is including the phase curve slope and linear phase range according to reflection phase to the frequency graph. Return loss is also analysed to determine loss performance occurred by substrate material. The concentric split ring square element is designed and analysed using computer software tool CST Microstripes. The analysis shows that both substrate thickness and permittivity affects the bandwidth performance of element where the suitable selection of substrate material should be done to achieve the optimum performance of element especially the phase slope and phase range.

Keywords: Reflectarray; bandwidth; substrate thickness; substrate permittivity

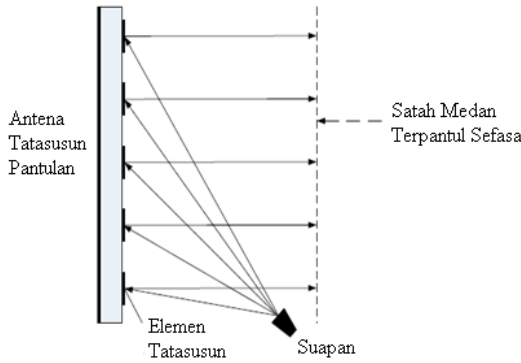
PENGENALAN

Antena gandaan tinggi merupakan keperluan yang tidak dapat dielakkan bagi kebanyakan aplikasi sistem komunikasi terutamanya bagi komunikasi jarak jauh. Pada kebiasaannya, antena gandaan tinggi yang digunakan merupakan antena pemantul parabola di mana antena ini mempunyai prestasi pemantul yang sangat baik. Walau bagaimanapun, antena jenis ini mempunyai struktur yang besar dan berat disebabkan keadaan geometrinya yang berbentuk parabola.

Oleh itu, antena tatasusun pantulan telah muncul pada sekitar tahun 1960an bagi memperbaiki kelemahan ini dengan pencirian antena yang mempunyai permukaan

pemantul yang rata tetapi masih mengekalkan kemampuan beroperasi sebagai sebuah antena gandaan tinggi (Huang 1995). Antena ini terdiri daripada susunan elemen jalur mikro yang diatur di dalam konfigurasi tatasusun dan dicetak di atas bahan substrat yang dibumikan. Sebuah antena suapan diletakkan dalam jarak yang sesuai di hadapan permukaan pemantul (Pozar et al. 1997).

Kunci asas bagi membentuk operasi yang menyamai antena pemantul parabola bagi antena tatasusun pantulan adalah dengan memastikan setiap elemen mampu memantulkan tenaga tuju dengan taburan fasa yang diubahsuai untuk membentuk fasa hadapan sesatah. Hal ini dapat difahami dengan merujuk Rajah 1 (Chul Min Han 2006).



RAJAH 1. Konfigurasi antena tatasusun pantulan dengan suapan offset
 Sumber: Chul Min Han 2006

Antena tatasusun pantulan mempunyai kelebihan dari segi strukturnya yang ringkas dan ringan selain mempunyai kos pembinaan yang rendah dan kemudahan pemasangan kepada banyak aplikasi komunikasi. Walau bagaimanapun, wujud satu kelemahan utama bagi antena ini di mana mempunyai ciri lebar jalur yang sempit yang disebabkan jarak yang tidak sama di antara antena suapan ke permukaan antena dan ralat fasa yang berlaku kerana perubahan saiz elemen (Sze & Shafal 1998). Selain itu, prestasi lebar jalur yang terhad ini juga banyak terkesan daripada ciri bahan substrat seperti ketebalan, kebertelusan dan kehilangan tange (Ismail et al. 2010).

Kertas kerja ini membentangkan ciri bahan substrat yang merangkumi ketebalan dan kebertelusan yang mampu mengubah prestasi lebar jalur elemen antena tatasusun pantulan yang seterusnya merumuskan cara pemilihan yang betul dalam memastikan prestasi lebar jalur elemen adalah pada tahap yang optimum.

Objektif yang difokuskan bagi pencapaian prestasi elemen yang optimum adalah pada peningkatan julat fasa lurus dan pengurangan kecerunan graf fasa pantulan. Julat fasa lurus yang optimum adalah melebihi 300° manakala, kecerunan fasa adalah kurang daripada 0.3°/µm.

Julat fasa lurus yang besar menunjukkan kestabilan kepada graf fasa pantulan apabila saiz elemen diubah. Manakala kecerunan fasa yang kecil memberikan pembaikan kepada prestasi lebar jalur sesuai dengan takrifan kecerunan fasa yang kecil memberikan pembesaran lebar jalur (Pozar 1997). Selain itu, kehilangan balikan turut dianalisis supaya tidak melebihi 3dB bersesuaian dengan konsep pemantul bagi antena tatasusun pantulan.

KAEDAH KAJIAN

Kehilangan balikan antena tatasusun pantulan selalunya dipengaruhi oleh dua faktor utama iaitu kehilangan oleh serapan dielektrik pada lapisan bahan substrat dan kehilangan pengalir pada lapisan bahan kuprum (Ismail & Inam 2009). Kehilangan ini bergantung kepada bahan substrat yang merangkumi ketebalannya serta bahan kuprum pengalir dan satah bumi yang boleh diberikan oleh persamaan berikut.

$$R_l = \alpha_d + \alpha_c \tag{1}$$

di mana R_l ialah kehilangan balikan dan α_d dan α_c mewakili faktor pengecilan oleh kehilangan substrat dan pengalir masing-masing dan boleh dikira dengan menggunakan Persamaan 2 dan 3 berikut.

$$\alpha_d = \frac{\omega}{2} \sqrt{(\mu_0 \epsilon_0 \epsilon_r)} \tan \delta \tag{2}$$

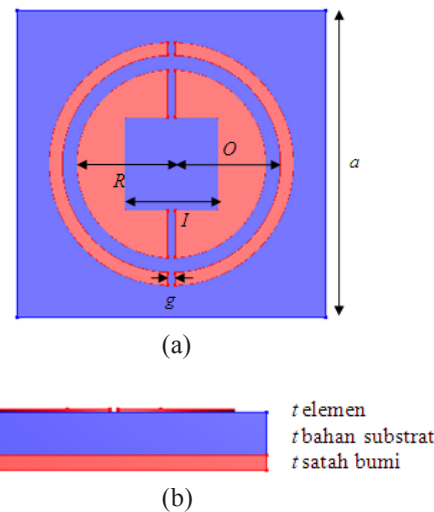
di mana α_d ialah faktor kehilangan dielektrik, ω ialah frekuensi sudut iaitu $2\pi f$, μ_0 ialah kebolehtelapan piawai, ϵ_0 ialah kebertelusan piawai, ϵ_r ialah kebertelusan bahan substrat dan $\tan \delta$ ialah kehilangan tange bahan substrat.

$$\alpha_c = \frac{8.68}{WZ_m} \sqrt{\frac{\omega \mu_0}{2\sigma_c}} (dB/cm) \tag{3}$$

di mana α_c ialah faktor kehilangan pengalir, W ialah jumlah tenaga, Z_m ialah jumlah galangan, ω ialah frekuensi sudut iaitu $2\pi f$, μ_0 ialah kebolehtelapan piawai dan σ_c ialah keberaliran bahan pengalir.

Kehilangan dielektrik terjadi disebabkan medan elektrik yang tinggi di dalam kawasan substrat manakala kehilangan pengalir terjadi disebabkan penghasilan arus yang tinggi di permukaan elemen (Rajagopalan & Samii 2008). Taburan medan elektrik dan arus permukaan ini adalah paling tinggi berlaku pada keadaan salunan yang menjelaskan keadaan kehilangan kuasa yang banyak berlaku pada keadaan frekuensi salunan.

Elemen yang dibangunkan merupakan kombinasi dengan ruang sela elemen cincin dan elemen cincin segiempat seperti yang ditunjukkan di dalam Rajah 2. Struktur satu lapis digunakan berbanding banyak lapis bagi mengurangkan kos pembinaan selain daripada ingin mengurangkan kehilangan yang banyak berlaku dengan penggunaan banyak lapis bahan substrat (Abbosh 2010). Perisian komputer CST Microstripes digunakan bagi proses merekabentuk dan menganalisis elemen ini.



RAJAH 2. Kombinasi dengan ruang sela elemen cincin dan elemen cincin segiempat
 (a) pandangan atas
 (b) pandangan sisi

Merujuk kepada Rajah 2, I ditakrifkan sebagai panjang lubang segiempat, R pula jejari elemen cincin segiempat dan O ialah jejari elemen cincin luar. Manakala, g ialah jarak ruang sela, a ialah keberkalan elemen dan t ialah nilai-nilai ketebalan lapisan elemen antena.

Kombinasi dwi-elemen ini bertujuan mencapai objektif operasi dwi-frekuensi manakala pengenalan konsep ruang sela adalah untuk memperbaiki prestasi lebar jalur yang sempit pada elemen antena tatasusun pantulan (Norbahiah Misran 2004).

Bagi kajian ketebalan bahan substrat, nilai ketebalan elemen dan satah bumi ditetapkan pada nilai $t_{\text{elemen}} = 0.1$ mm dan $t_{\text{bumi}} = 0.5$ mm masing-masing kerana kehilangan yang berlaku disebabkan sifat dielektrik bahan substrat ingin dianalisis. Nilai ketebalan bahan substrat ini ditetapkan dan dianalisis pada tiga nilai iaitu $t = 0.764$ mm, $t = 1.524$ mm dan $t = 3.044$ mm. Nilai-nilai ini dipilih berdasarkan ketebalan yang disediakan oleh pengeluar bahan substrat RF35. Spesifikasi saiz elemen adalah seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1. Kebertelusan substrat bagi analisis ketebalan ditetapkan pada nilai $\epsilon_r = 3.54$.

JADUAL 1. Spesifikasi elemen kajian

Spesifikasi parameter	Nilai
I/R	1
R/O	0.86
Panjang segiempat, I	3.06 mm
Jejari elemen cincin segiempat, R	3.06 mm
Jejari elemen cincin, O	3.56 mm
Lebar elemen cincin	0.4 mm
Keberkalan, a	10 mm
Kehilangan tangen substrat, $\tan \delta$	0.0018
Jarak ruang sela, g	0.28 mm
Frekuensi salunan f_1	13.44 GHz
Frekuensi salunan f_2	18.36 GHz

Dengan menggunakan nilai yang sama seperti dalam Jadual 1, kajian perubahan kebertelusan substrat kemudiannya dijalankan. Ketebalan substrat ditetapkan pada $t = 1.524$ mm. Kebertelusan bahan substrat ini ditetapkan dan dianalisis pada tiga nilai iaitu $\epsilon_r = 1.5$, $\epsilon_r = 3.54$ dan $\epsilon_r = 10$. Nilai-nilai yang dikaji ini dipilih secara rawak kerana nilai kebertelusan pada bahan substrat RF35 sedia ada mempunyai kebertelusan yang tidak jauh berbeza, seterusnya menyukarkan perbezaan nilai prestasi dijalankan, berbanding nilai rawak yang dipilih ini kerana perbezaan yang besar boleh dikaji untuk menilai prestasi elemen.

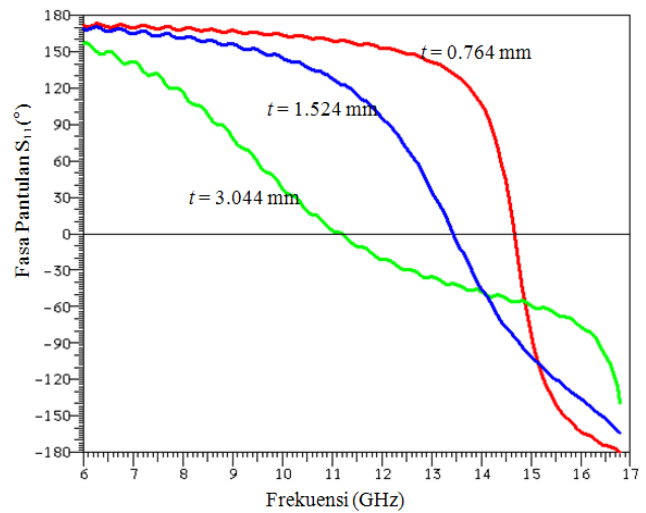
Analisis yang dijalankan adalah merujuk kepada graf fasa pantulan dan kehilangan balikan terhadap frekuensi. Graf ini disimulasi dengan menggunakan perisian komputer CST Microstripes di mana parameter julat fasa, kecerunan fasa dan kehilangan balikan akan dianalisis. Di dalam kajian ini, bentuk radiasi, gandaan atau kehilangan antena tidak dianalisis kerana hanya sel unit sahaja yang

dibangunkan untuk tujuan analisis awal elemen tunggal berbanding sekiranya keseluruhan antena dibangunkan maka, analisis kajian bentuk radiasi dan sebagainya dapat dijalankan.

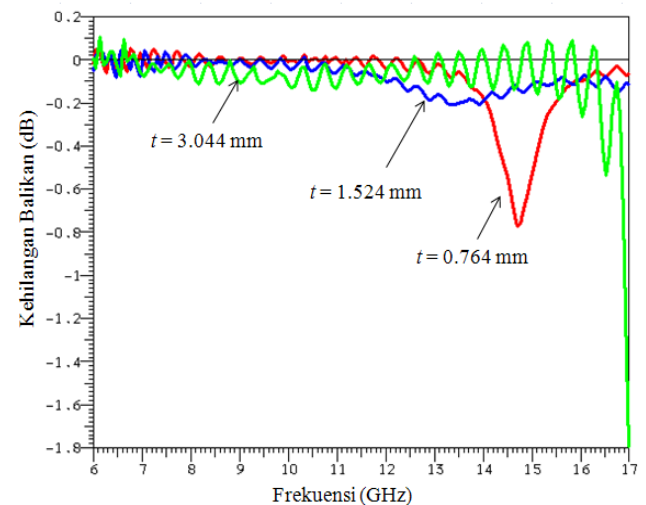
KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Rajah 3 menunjukkan hasil analisis ketebalan bahan substrat bagi graf fasa pantulan dan kehilangan balikan terhadap frekuensi bagi tiga nilai ketebalan $t = 0.764$ mm, $t = 1.524$ mm dan $t = 3.044$ mm. Nilai kebertelusan untuk kajian ini ditetapkan pada nilai $\epsilon_r = 3.54$ yang dipilih berdasarkan bahan yang ada di makmal.

Merujuk kepada Rajah 3, nilai ketebalan substrat yang tinggi menghasilkan frekuensi salunan yang rendah di mana hasil kajian ini menyatakan bahawa semakin tinggi nilai ketebalan bahan substrat yang dipilih, maka semakin rendah frekuensi salunan yang terhasil.



(a)



(b)

RAJAH 3. Kesan perubahan ketebalan substrat, t pada (a) graf fasa pantulan terhadap frekuensi (b) graf kehilangan balikan terhadap frekuensi

Merujuk Rajah 3 (a), diperhatikan bahawa substrat yang paling tebal memberikan kecerunan lengkung fasa paling rendah di mana boleh ditakrifkan sebagai penambahbaikan dalam prestasi lebar jalur.

Walau bagaimanapun, julat fasa lurus juga turut berkurangan kerana kehilangan kuasa yang tinggi pada lapisan substrat. Ini dapat dilihat daripada Rajah 3 (b) di mana $t = 0.764$ mm memberikan julat fasa lurus, $\Delta\varphi = 310^\circ$, $t = 1.524$ mm memberikan $\Delta\varphi = 300^\circ$ dan $t = 3.044$ mm memberikan $\Delta\varphi = 230^\circ$.

Substrat yang terlalu nipis pula mengakibatkan perubahan yang mendadak kepada fasa di sekitar salunan dan menjadi perlahan di sekitar saiz elemen terlalu kecil dan terlalu besar. Perubahan yang mendadak ini menyebabkan taburan fasa menjadi terlalu sensitif kepada ralat fabrikasi.

Maka, ketebalan substrat $t = 1.524$ mm dipilih sebagai ketebalan yang optimum kepada prestasi kecerunan dan julat fasa dengan kehilangan balikan yang kecil iaitu sekitar 0.2dB. Diperhatikan juga daripada Rajah 3 (b), kehilangan balikan bagi $t = 3.044$ mm ialah 0.1dB manakala kehilangan balikan bagi $t = 0.764$ mm ialah 0.8dB.

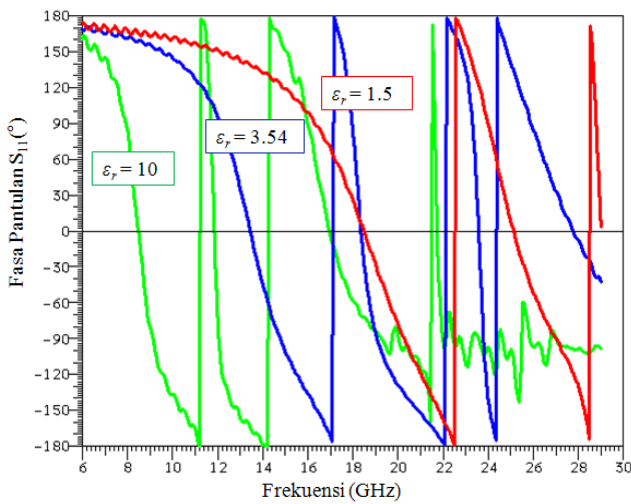
Rajah 4 menunjukkan hasil analisis kebertelusan bahan substrat bagi graf fasa pantulan dan kehilangan balikan terhadap frekuensi bagi tiga nilai kebertelusan $\epsilon_r = 10$, $\epsilon_r = 3.54$ dan $\epsilon_r = 1.5$. Nilai ketebalan bahan substrat untuk

analisis ini ditetapkan pada nilai $t = 1.524$ mm, berdasarkan kewujudan bahan yang sedia ada di makmal.

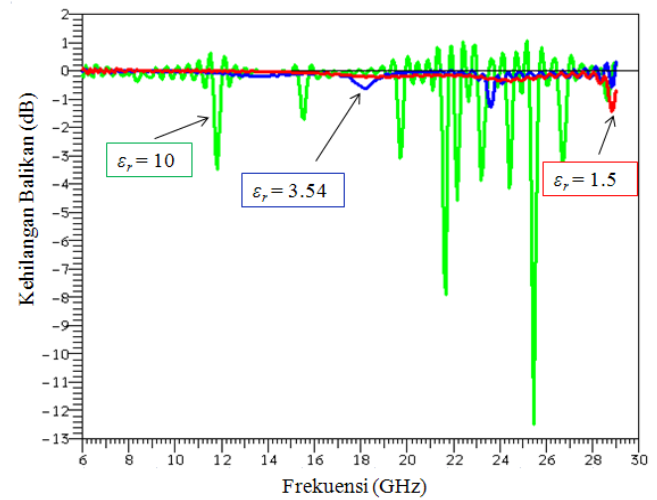
Merujuk kepada Rajah 4, nilai kebertelusan yang tinggi menghasilkan frekuensi salunan yang rendah di mana hasil kajian ini mengesahkan bahawa semakin tinggi nilai kebertelusan bahan substrat yang dipilih, maka semakin rendah frekuensi salunan yang terhasil.

Kebertelusan boleh difahami sebagai kemampuan sesuatu bahan untuk menghantar atau membenarkan medan elektrik melaluinya di mana semakin tinggi nilai kebertelusan maka semakin mudah medan elektrik terhasil. Maka, semakin tinggi nilai kebertelusan, semakin mudah isyarat yang dihantar untuk bersalun yang seterusnya menghasilkan frekuensi salunan yang rendah.

Merujuk Rajah 4 (a), substrat dengan kebertelusan yang tinggi iaitu $\epsilon_r = 10$ menghasilkan kecerunan fasa yang tinggi dan mengurangkan prestasi lebar jalurnya. Kebertelusan yang tinggi ini menyebabkan tenaga gelombang mikro mengalami pantulan yang lebih banyak dan seterusnya menyebabkan kehilangan pantulan yang besar. Hal ini dapat dibuktikan dengan merujuk Rajah 4 (b) di mana kebertelusan $\epsilon_r = 10$ memberikan kehilangan balikan yang paling banyak iaitu sehingga 4dB pada frekuensi salunan yang kedua yang seterusnya mengurangkan prestasi pemantul antenna tatasusun pantulan.



(a)



(b)

RAJAH 4. Kesan perubahan kebertelusan substrat, ϵ_r pada (a) graf fasa pantulan terhadap frekuensi (b) graf kehilangan balikan terhadap frekuensi

Kebertelusan yang terlalu rendah iaitu $\epsilon_r = 1.5$ menyebabkan masalah ralat fasa berlaku. Ralat fasa terjadi secara maksimum kerana ketidakmampuannya memberikan julat fasa pantulan 360° . Oleh itu, kebertelusan substrat $\epsilon_r = 3.54$ mm dilihat sebagai nilai yang paling optimum dalam mengimbangi keperluan prestasi kecerunan lengkung fasa ($<0.3^\circ/\mu\text{m}$) dan julat fasa yang besar ($>300^\circ$) dengan kehilangan balikan yang kecil ($<1\text{dB}$).

KESIMPULAN

Analisis ketebalan dan kebertelusan bahan substrat bagi kombinasi dengan ruang sela elemen cincin dan elemen cincin segiempat telah dijalankan bagi memantau prestasi lebar jalur elemen antenna tatasusun pantulan. Hasil analisis menunjukkan lebar jalur boleh diperbaiki dengan menggunakan ketebalan dan kebertelusan bahan substrat yang sesuai. Kedua-dua parameter ini perlu dipilih pada

nilai yang optimum supaya tidak mengurangkan prestasi kecerunan fasa pantulan dan julat fasa lurus bagi graf fasa pantulan terhadap frekuensi. Analisis yang dijalankan menunjukkan ketebalan substrat yang sesuai bagi elemen antena yang dibangunkan ialah $t = 1.524$ mm manakala kebertelusannya ialah $\epsilon_r = 3.54$. Nilai kehilangan balikan yang dikaji bagi mengoptimumkan kehilangan yang berlaku pada lapisan substrat pula kurang daripada 1dB sesuai dengan konsep pemantul antena.

PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada pihak MOSTI dan UKM di atas pembiayaan penyelidikan (01-01-02-SF0608) yang diberikan.

RUJUKAN

- Abbosh, A. M. 2010. Design of Dual-band Microstrip Reflectarray Using Single Layer Multiresonance Double Cross Elements. *Progress In Electromagnetics Research Letters* 13: 67-74.
- Chul Min Han. 2006. Dual-Band Reflectarrays Using Microstrip Ring Elements and Their Applications with Various Feeding Arrangements. Disertasi Ph.D. Texas A&M University, Texas.
- Huang, J. 1995. Analysis of a Microstrip Reflectarray Antenna for Microspacecraft Applications. *Spacecraft Telecommunications Equipment Section TDA Progress Report*, 42-120.
- Ismail, M. Y. & Inam, M. 2009. Numerical analysis and equivalent circuit modeling for loss quantification of reflectarrays using different substrate materials. *IEEE International Conference on Antennas, Propagation and Systems (INAS 2009)* Johor, Malaysia.
- Ismail, M. Y., Inam, M. & Zaidi, A. M. A. 2010. Reflectivity of Reflectarrays Based on Dielectric Substrates. *American J. of Engineering and Applied Sciences* 3(1): 180-185.
- Norbahiah Misran. 2004. Design Optimisation of Ring Elements for Broadband Reflectarray Antennas. Tesis Ph.D. Queen's Belfast University, UK.
- Pozar, D. M., Targonski, S. D. & Syrigos, H. D. 1997. Design of millimeter wave microstrip reflectarrays. *IEE Trans. Antennas and Propag.* 45: 287-295.
- Rajagopalan, H. & Samii, Y. R. 2008. Dielectric and Conductor Loss Quantification for Microstrip Reflectarray: Simulations and Measurements. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 56 (4): 1192-1196.
- Sze, K. Y. & Shafal, L. 1998. Analysis of phase variation due to varying patch length in a microstrip reflectarray. *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium 2*: 1134-1137.
- Norbahiah Misran & Siti Hafizah Yusop*
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik dan Sistem,
Fakulti Kejuruteraan dan Alam Bina,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 Bangi, Malaysia.
- Mohammad Tariqul Islam
Institut Sains Angkasa,
Universiti Kebangsaan Malaysia,
43600 UKM Bangi, Malaysia
- Muhammad Yusof Ismail
Jabatan Kejuruteraan Komunikasi,
Fakulti Kejuruteraan Elektrik dan Elektronik,
Universiti Tun Hussein Onn Malaysia,
86400 Parit Raja, Johor, Malaysia.

*Corresponding author: yuzai_angah@yahoo.com