

Analisis Penyerakan Isyarat Gelombang Mikro Elemen Gelung Segi Tiga dari Pelbagai Jenis Filem Pengalir Lutsinar pada Jalur- K_u

(Scattering Microwave Signal Analysis from Triangular Loop Element of Different Transparent Conductive Thin Films at K_u -band)

Arshad Selamat*, Norbahiah Misran, Mohd Fais Mansor, Mohammad Tariqul Islam & Saleem H. Zaidi

ABSTRAK

Kajian mengenai perbandingan penyerakan isyarat gelombang mikro jalur- K_u dari satu reka bentuk elemen berbentuk gelung segi tiga yang diperbuat dari pelbagai jenis filem lutsinar bersifat pengalir dibincangkan dalam kertas kerja ini. Dalam kajian ini, empat jenis filem lutsinar telah digunakan, iaitu Kapton, ITO, AgHT-4 dan AgHT-8. Setiap filem ini kemudiannya diletakkan di atas panel kaca suria dan diikuti dengan lapisan RT/Duroid 5880 sebagai dasar. Elemen ini telah direka untuk beroperasi pada julat frekuensi jalur- K_u . Keputusan simulasi yang diperolehi dari perisian CST studio gelombang mikro menunjukkan bahawa elemen diperbuat dari filem Kapton telah mempamerkan keputusan yang sangat baik. Julat fasa leluarnya mencapai 361° , manakala kecerunan fasanya sangat rendah dengan nilai $0.063^\circ/\mu\text{m}$ telah diperolehi. Didapati juga bahawa elemen yang beroperasi pada frekuensi dua ini boleh mencapai lebar jalur sebanyak 15.2% dan amat sesuai dijadikan elemen antena tatasusun pantulan solar untuk aplikasi-aplikasi di atas permukaan bumi.

Kata kunci: Jalur lebar; julat fasa; kecerunan fasa; gelung segi tiga; filem pengalir lutsinar

ABSTRACT

A study on the performance of scattering K_u -band microwave signals from an element designed with triangular loop shape made of different types of conductive thin film is presented in this paper. In this study, four types of transparent film have been used i.e. Kapton, ITO, AgHT-4 and AgHT-8. Each of this film was then positioned on top of glass of solar panel which is based with RT/Duroid 5880 substrate. The element was designed to be operated at K_u -band frequency range. Simulation results obtained from the CST microwave studio software showed that element of Kapton film exhibits the best performance. The linear phase range reaches 361° , while the phase slope goes down as low as $0.063^\circ/\mu\text{m}$. It is also demonstrated that the dual frequency operational element contributes the highest bandwidth of around 15.2% and also the best candidate to form a solar reflectarray antenna for terrestrial applications.

Keywords: bandwidth; phase range; phase slope; triangular loop, transparent conductive film

PENGENALAN

Antena tatasusun pantulan adalah antena gandaan tinggi dengan teknologi terkini yang mana perkembangan dan pendedahannya agak baru di Malaysia. Antena baru ini dibangunkan sebagai alternatif baru kepada pengguna yang menjanjikan pelbagai manfaat bagi menggantikan antena pemantul parabola atau antena piring sedia ada. Antena pemantul parabola sedia ada menggunakan teknologi lama di mana bentuk piringnya direka dengan bentuk melengkung supaya ia dapat memantulkan semula isyarat gelombang yang datang dari penyuar atau sebaliknya. Manakala, antena tatasusun pantulan pula dicipta dengan permukaan yang rata sama sekali. Antena baru ini juga menggunakan prinsip pantulan, di mana isyarat gelombang yang datang akan dikawal oleh beribu-ribu elemen yang disusun di atas kepingan substrat yang telah dibumikan. Elemen-elemen ini akan membekalkan fasa-fasa yang dikehendaki untuk membentuk fasa gelombang sesatah dari penyuar atau

sebaliknya, sama seperti prinsip yang digunakan oleh antena piring sedia ada. Antara kelebihan yang boleh diperolehi dari antena baru ini adalah manfaat dari permukaannya yang rata di mana ia membolehkan antena ini dilekatkan di atas permukaan dinding atau diletakkan di atas atap sesebuah bangunan atau rumah persendirian. Tambahan pula, bahan-bahan mentah yang digunakan adalah murah dan bersifat ringan menyebabkan antena baru ini sangat perlu untuk dikaji dan diteroka secara mendalam.

Walau bagaimanapun, antena dengan teknologi baru ini juga datang dengan beberapa kekurangan yang telah menghadkan keupayaannya. Kekurangan ini termasuklah kelemahan pada julat fasanya yang sangat terhad (kurang dari 360°), batasan operasi terhadap jalur lebar yang sememangnya sempit (3% hingga 5%), dan kecerunan fasa yang sangat curam. Kelemahan-kelemahan ini bergantung seratus peratus pada parameter rekaan elemen itu sendiri termasuklah ketebalan substrat, kebertelusan substrat, sudut tuju dll, juga tidak dilupakan pada rupa bentuk elemen

tersebut. Dewasa ini, banyak kajian telah dijalankan untuk mengatasi permasalahan berkaitan dengan batasan yang disumbangkan dari antenna baru ini. Ini termasuklah kajian yang menggunakan substrat berlapis-lapis (Encinar 2003), pendekatan pada perubahan saiz elemen (Boalkowski 2008), penggunaan elemen berkembar atau berganda (Misran et al. 2003), dan penggunaan ruang sela pada elemen yang dibentuk (Misran & Yusop 2011). Kajian-kajian ini telah menyelesaikan beberapa kekurangan antaranya termasuklah mencapai prestasi jalur lebar melebihi 10% dan prestasi julat fasa lurus melebihi 360°. Namun begitu, masih terdapat ruang yang boleh diperbaiki agar kemampuan antenna ini setanding antenna pantulan parabola sedia ada dengan hanya menggunakan satu reka bentuk elemen tunggal yang lebih ringkas dan mudah.

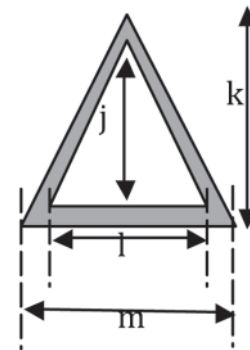
Permukaan yang rata merupakan satu kelebihan bagi antenna tatasusun yang diperolehi dari teknologi baru ini. Ciri-ciri istimewa ini membolehkan antenna ini diintegrasikan dengan panel suria yang sememangnya mempunyai permukaan rata. Satu kajian mengenai integrasi atau paduan kedua-dua antenna tatasusun pantulan dan panel suria ini telah dibuat oleh Zawadzki dan Huang (2000). Dalam kajian tersebut, mereka telah menggunakan filem Kapton dan memilih bentuk silang dwikutub sebagai elemen antenna, namun begitu hanya pencapaian antenna tatasusun pantulan dan panel suria sahaja yang dibincang dan diterbitkan. Selain filem Kapton, terdapat juga filem lutsinar lain yang juga bersifat pengalir telah digunakan dalam menghasilkan paduan antenna dan panel solar. Antaranya termasuklah penggunaan filem Timah Oksida Terdop-florin (*Flourine-doped Tin Oxide*, FTO), filem Timah Oksida Indium (*Indium Tin Oxide*, ITO) (Tursunjan Yaasin 2011), dan filem Polister Bersadur Perak (*Silver Coated Polyester*, AgHT-4 dan AgHT-8) (Selamat et al. 2013). Filem-filem ini memberi lembaran rintangan sebanyak 1 ~ 2 ohm/persegi yang membolehkan berlakunya pengaliran arus elektrik pada setiap filem di samping mengekalkan sifatnya yang lutsinar. Sekiranya filem-filem ini boleh digunakan sebagai elemen untuk antenna tatasusun pantulan, maka elemen tersebut boleh terus diletakkan di atas permukaan kaca panel suria tanpa mengganggu cahaya matahari untuk menyinari panel suria tersebut.

Dalam kertas kerja ini, kajian mengenai satu elemen tunggal berbentuk gelung segi tiga yang diperbuat dari pelbagai filem lutsinar bersifat pengalir telah dijalankan untuk menambah baik prestasi elemen sedia ada sekaligus mengatasi batasan yang dihadapi antenna tatasusun pantulan. Kajian ini melibatkan filem Kapton, ITO, AgHT-4 dan AgHT-8. Pencapaian prestasi arus permukaan bagi setiap filem juga akan dibincangkan. Elemen ini direka untuk beroperasi pada julat frekuensi jalur- K_u dan berfungsi sebagai antenna tatasusun pantulan bersolar untuk aplikasi-aplikasi di daratan.

REKA BENTUK ELEMEN

Semua filem pengalir lutsinar yang telah dipilih akan diletakkan di atas permukaan kaca panel suria dan bertindak

sebagai elemen terpancar. Bentuk gelung segi tiga telah dipilih untuk dijadikan bentuk elemen bagi setiap filem kerana bentuk ini telah menunjukkan prestasi kehilangan balikan yang sangat kecil (Selamat et al. 2013) yang mana ia amat diperlukan untuk memantulkan isyarat gelombang mikro yang datang. Penulis juga menjelaskan bahawa gelung segi tiga ini yang pada asalnya berbentuk tompok segi tiga telah berfungsi pada dua frekuensi berbeza di jalur- K_u tersebut berbanding bentuk-bentuk lain yang hanya berfungsi pada satu frekuensi sahaja. Pada masa yang sama, bentuk ini juga telah menunjukkan prestasi yang baik pada julat fasa lurus di samping prestasi jalur lebar yang besar seperti yang dibincangkan oleh Selamat et al. (2013). Lubang tengah pada tompok segi tiga ini juga memudahkan lebih banyak sinaran matahari menyinari bahagian panel suria. Rajah 1 menunjukkan dimensi bagi gelung segi tiga yang digunapakai pada setiap filem.



RAJAH 1. Dimensi elemen gelung segi tiga

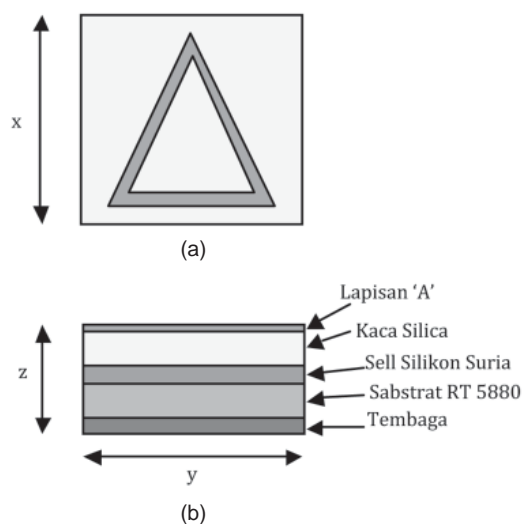
Prestasi setiap filem akan dikaji dan disiasat berdasarkan pada perubahan saiz struktur elemen tersebut. Panjang 'k' dalam unit mm dipilih sebagai rujukan kajian dengan mengubah kepanjangannya bermula dari 5.2 mm hingga 9.6 mm. Dimensi yang lebih terperinci bagi elemen ini ditunjukkan dalam Jadual 1 di mana panjang 'k' telah ditetapkan pada 8 mm dan terpakai untuk semua jenis filem. Nilai-nilai yang ditunjukkan dalam Jadual 1 adalah nilai optimum bagi reka bentuk tersebut.

JADUAL 1. Dimensi elemen gelung segi tiga

Jenis filem / Dimensi	j (mm)	k (mm)	l (mm)	m (mm)
Kapton, AgHT-4, AgHT-8, ITO	6.2	8	6	8

Konfigurasi struktur elemen dari setiap jenis filem adalah seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2. Lapisan 'A' mewakili jenis-jenis filem yang terdiri dari Kapton, ITO, AgHT-4 dan AgHT-8. Setiap filem telah direka dan disimulasi secara berasingan menggunakan aturcara CST studio

gelombang mikro. Dengan menggunakan teknik integrasi terbatas (*Finite Integration Tehcnique*), jaringan seakan ikatan benang halus telah digunakan untuk memeta setiap ruangan permukaan antenna yang telah direka. Kemudian persamaan Maxwell yang wujud pada rekaan antenna tersebut dapat diselesaikan dalam bentuk kamiran. Panjang sisi bagi setiap filem adalah lebih kurang 10 mm × 10 mm. Terlebih dahulu antenna elemen tunggal telah menjalani ujian jarak antara elemen, di mana panjang setiap sisi telah berubah bermula dari 8 mm × 8 mm hingga 14 mm × 14 mm. Proses optimasi telah dijalankan dan didapati saiz 10 mm × 10 mm adalah saiz yang paling ideal. Ketebalan lapisan 'A' adalah berbeza dan berubah dari 0.151 mm ke 0.175 mm mengikut jenis filem yang digunakan. Natijahnya, ketebalan keseluruhan rekaan ini juga berubah bermula dari 3.576 mm hingga 3.6 mm. Ukuran sebenar yang lengkap bagi setiap lapisan ditunjukkan dalam Jadual 2.



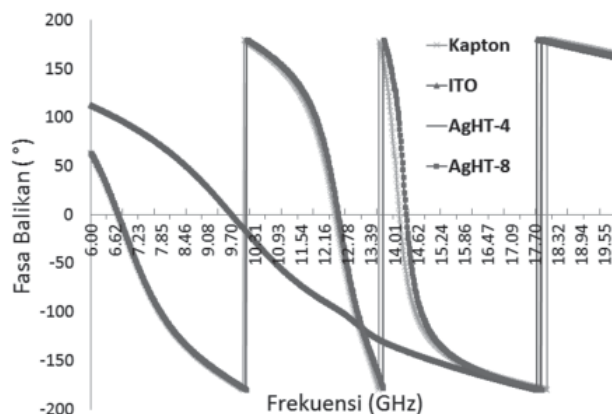
RAJAH 2. Gelung segi tiga (a) pandangan atas (b) pandangan sisi

JADUAL 2. Dimensi setiap lapisan

Lapisan / Dimensi	x (mm)	y (mm)	z (mm)
Keberkalaan	10	10	3.576 ~ 3.6
Lapisan 'A'	10	10	0.151 ~ 0.175
Kaca Silica	10	10	1.2
Sell Silikon Suria	10	10	0.55
RT/Duroid 5880	10	10	1.575
Tembaga	10	10	0.1

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Keputusan untuk penyerakan isyarat dari elemen tunggal berbentuk gelung segi tiga yang diperbuat dari pelbagai jenis filem berpengalir lutsinar akan dibincangkan dalam seksyen ini. Parameter pertama merujuk pada prestasi fasa balikan dalam unit darjah (°) seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 3.



RAJAH 3. Graf fasa balikan melawan frekuensi bagi empat jenis filem berpengalir lutsinar

Didapati bahawa graf fasa balikan untuk filem Kapton, AgHT-4 dan AgHT-8 adalah hampir sama antara satu sama lain. Filem-filem ini yang kesemuanya mempunyai kehilangan balikan kurang dari 1 dB juga menawarkan julat fasa statik maksima (*maksimum static phase range*) tidak lebih dari 285°. Manakala bagi filem ITO, pencapaiannya agak kurang memberangsangkan dengan julat fasa statik maksima tidak melebihi 279°.

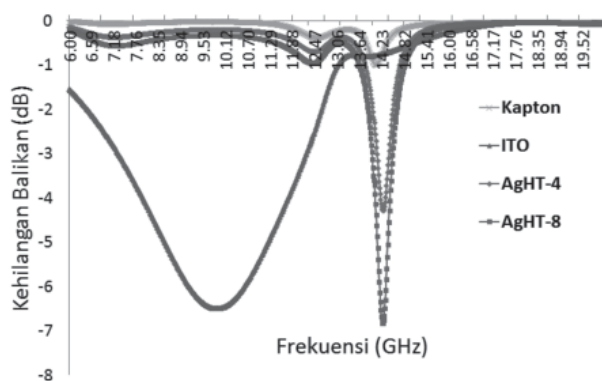
Pencapaian lebar jalur juga telah dijalankan dan dari analisis yang telah dibuat didapati bahawa filem Kapton telah mencapai lebar jalur terbesar dengan 15.2% dari frekuensi salunannya. Sebaliknya, lebar jalur bagi kedua-dua filem AgH-4 dan AgHT-8 adalah kurang dari 15% seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Diperhatikan juga bahawa filem ITO mencapai lebar jalur terbesar sehingga 40%, tetapi nilai lebar jalur ini tidak memberi sebarang kelebihan kerana filem ini juga mempunyai kehilangan balikan tertinggi sehingga 7 dB.

Perbincangan seterusnya adalah mengenai pencapaian bagi kehilangan balikan dari setiap filem yang telah dibentuk seperti gelung segi tiga ini. Didapati bahawa kesemua filem kecuali ITO telah beroperasi pada dwi-frekuensi seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 4. Frekuensi pertama bagi ketiga-tiga filem telah beroperasi sekitar 12.44 GHz ~ 12.53 GHz manakala frekuensi kedua pula beroperasi sekitar 14.15 GHz ~ 14.30 GHz. Sebaliknya, filem ITO hanya beroperasi pada satu frekuensi sahaja iaitu pada frekuensi 9.76 GHz. Diperhatikan juga dari graf dalam rajah tersebut bahawa filem Kapton mempunyai nilai kehilangan balikan terendah dengan nilai 0.4 dB pada frekuensi salunan pertama. Kemudian diikuti pula oleh filem AgHT-4 dan AgHT-8 dengan nilai kehilangan balikan masing-masing sebanyak 0.7 dB dan 0.9 dB. Nilai kehilangan balikan yang kecil (kurang dari 1 dB) adalah diperlukan untuk memastikan semua isyarat yang datang ke permukaan elemen di atas antenna tatasusun pantulan akan dipantulkan semula. Sebaliknya, filem ITO memberikan nilai kehilangan balikan paling besar sebanyak 7 dB. Keadaan ini akan menyebabkan sebahagian isyarat yang datang ke permukaan antenna tatasusun pantulan tidak akan

JADUAL 3. Pencapaian data simulasi bagi julat fasa balikan dan lebar jalur untuk setiap filem yang telah digunakan

Filem Berpengalir Lutsinar	Frekuensi Salunan (GHz)	Julat Fasa Balikan (°)	Lebar Jalur (%)
Kapton	f_1	12.44	284.72
	f_2	14.15	264.11
AgHT-4	f_1	12.53	283.43
	f_2	14.30	260.24
AgHT-8	f_1	12.52	283.43
	f_2	14.27	260.24
ITO	f_1	9.76	278.28

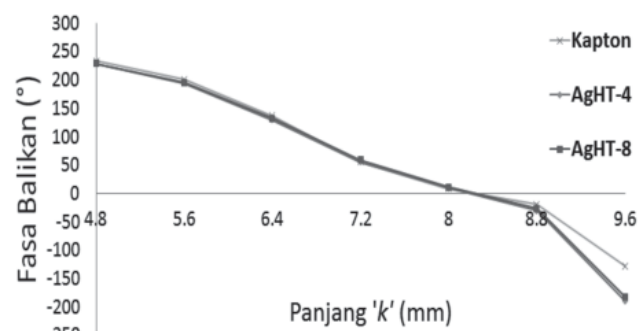
dibalikkan semula dan seterusnya menghadkan pencapaian antenna tatasusun pantulan tersebut. Oleh yang demikian, filem ITO ini telah dikecualikan dalam uji kaji seterusnya.



RAJAH 4. Graf kehilangan balikan melawan frekuensi bagi empat jenis filem berpengalir lutsinar

Parameter seterusnya yang akan dibincangkan adalah mengenai julat fasa lurus seperti yang dapat dilihat dalam Rajah 5. Graf ini merupakan graf yang terbentuk mengikut perubahan elemen gelung segi tiga (perubahan panjang 'k' boleh dirujuk pada Rajah 1) seperti yang telah dibincangkan sebelum ini. Diperhatikan bahawa kesemua jenis filem telah menunjukkan graf yang hampir lurus dan sangat lancar. Filem Kapton telah mencapai julat fasa lurus melebihi 360° iaitu 361.2° . Nilai julat fasa lurus melebihi 360° adalah diperlukan supaya semua elemen yang memantulkan isyarat ini boleh dicapai oleh penyuar pada setiap kedudukan atau posisinya di atas permukaan antenna tatasusun pantulan. Manakala, bagi filem AgHT-4 dan AgHT-8 pencapaian fasa lurus adalah lebih baik dengan masing-masing mencapai 418.5° dan 410.9° .

Perbincangan seterusnya adalah mengenai parameter kecerunan fasa dari ketiga-tiga jenis filem. Kesemua filem sepatutnya mempunyai nilai kecerunan yang hampir sama berdasarkan graf yang diperolehi seperti dalam Rajah 5. Diperhatikan bahawa kecerunan fasa untuk filem Kapton adalah sebanyak $0.063^\circ/\mu\text{m}$, manakala kecerunan fasa bagi



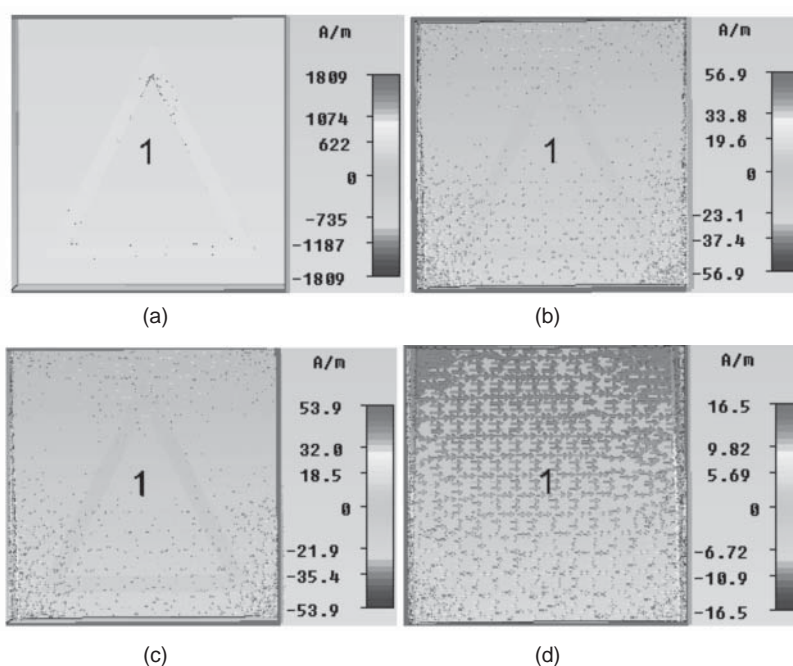
RAJAH 5. Graf fasa balikan melawan frekuensi bagi tiga jenis filem berpengalir lutsinar

filem AgHT-4 didapati ada penambahan sebanyak $0.001^\circ/\mu\text{m}$ kepada $0.064^\circ/\mu\text{m}$ berbanding filem Kapton. Bagi filem AgHT-8 pula, nilai kecerunannya menampakkan peningkatan sebanyak $0.002^\circ/\mu\text{m}$ kepada $0.065^\circ/\mu\text{m}$ jika dibandingkan dengan filem Kapton. Kecerunan fasa yang landai adalah diperlukan untuk mendapatkan lebar jalur yang tinggi. Maklumat terperinci tentang perbandingan semua parameter boleh diperolehi dalam Jadual 4.

Perbincangan terakhir adalah mengenai parameter ketumpatan arus permukaan (*surface current density*). Rajah 6 menunjukkan keputusan ketumpatan arus permukaan dari setiap filem yang telah digunakan. Didapati bahawa filem Kapton mempunyai nilai ketumpatan arus permukaan yang paling tinggi iaitu 1809 A/m . Sebaliknya, filem-filem lain hanya mencapai ketumpatan arus tidak melebihi 57 A/m . Keadaan ini berlaku kerana setiap filem mempunyai nilai keberaliran (*conductivity*) yang berbeza mengikut jenis filem. Nilai keberaliran ini menentukan kadar ketumpatan arus permukaan setiap filem di mana nilai keberaliran yang besar akan memberikan nilai ketumpatan arus yang tinggi manakala nilai keberaliran yang kecil akan menyumbang sebaliknya. Ini terbukti kerana nilai keberaliran filem Kapton adalah tinggi iaitu sekitar $5.8 \times 10^7 \text{ S/m}$. Sebaliknya, filem-filem lain mempunyai nilai-nilai keberaliran yang sangat rendah dengan julat antara $1.25 \sim 2.2 \times 10^5 \text{ S/m}$ sahaja.

JADUAL 4. Perbandingan pencapaian untuk setiap filem

Parameter/ Elemen	Kapton		AgHT-4		AgHT-8	
	f_1	f_2	f_1	f_2	f_1	f_2
Frekuensi Salunan (GHz)	12.44	14.15	12.53	14.30	12.52	14.27
Kehilangan Balikan (dB)	-0.4	-1.0	-0.7	-4.5	-0.9	-7.0
Julat Fasa Lelurus ($^{\circ}$)	361.2	-	418.5	-	410.9	-
Kecerunan Fasa ($^{\circ}/\mu\text{m}$)	0.063	-	0.065	-	0.064	-
Lebar Jalur (%)	15.2	6.0	14.9	6.9	14.9	5.9



RAJAH 6. Ketumpatan arus permukaan (a) filem Kapton (b) filem AgHT-4 (c) filem AgHT-8 (d) filem ITO

KESIMPULAN

Penyelidikan terhadap penggunaan empat jenis filem-filem pengalir lutsinar yang dibentuk seakan gelung segi tiga dan bertindak sebagai elemen kepada antenna tatasusun pantulan telah dibandingkan secara jelas dan terperinci. Hasil kajian mendapati filem Kapton boleh menawarkan lebar jalur yang paling besar sehingga 15.2% dan kecerunan fasa yang paling landai mencapai $0.063^{\circ}/\mu\text{m}$ berbanding dengan filem-filem yang lain. Filem Kapton juga mempunyai nilai kehilangan balikan yang sangat rendah sekitar 0.4 dB. Sebaliknya, untuk parameter julat fasa lurus filem AgHT-4 dan AgHT-8 telah menunjukkan keputusan yang lebih baik dengan nilai julat fasa melebihi 400° berbanding dengan filem Kapton yang hanya mencapai nilai julat fasa sebanyak 361.2° sahaja. Namun begitu, nilai julat fasa tersebut sudah memadai kerana nilai tersebut telah melebihi syarat operasi julat fasa yang ditetapkan bagi sesebuah antenna tatasusun pantulan iaitu sekurang-kurangnya mencapai 360° . Oleh yang demikian, dapat disimpulkan dari hasil penyelidikan ini bahawa filem

Kapton adalah filem terbaik yang boleh digunakan untuk membina antenna tatasusun pantulan yang dipadukan dengan panel suria untuk aplikasi-aplikasi daratan (permukaan bumi).

RUJUKAN

- Selamat, A., Misran, N., Islam, M. T. & Mansor, M. F. 2013. *Analysis of Phase Range Distribution of Different Reflectarray Elements on Polycrystalline Silicon Cell*. Progress in Electromagnetics Research Symposium Proceedings. Taipei: 147-150.
- Selamat, A., Misran, N. & Islam, M. T. 2013. *Phase variation analysis of triangular radiating elements on polycrystalline silicon cell*. Proceeding of IEEE International Conference on SpaceScience and Communication (IconSpace), Melaka, Malaysia: 156-159.
- Encinar, J. A. & Zornoza, J. A. 2003. *Broadband design of three-layer printed reflectarrays*. IEEE Transaction on Antenna and Propagation 51(7): 1662-1664.

- Marek E. Bialkowski & Khalil H. Sayidmarie. 2008. *Investigation into phase characteristics of a single-layer reflectarray employing patch or ring elements of variable size*. IEEE Transaction on Antenna and Propagation, 56(11): 3366-3372.
- Zawadzki, M. & Huang, J. 2000. *Integrated RF antenna and solar array for spacecraft application*. Proceeding of IEEE International Conference on Phased Array System and Technology: 239-242.
- Misran, N., Yusop, S. H., Islam, M. T. & Ismail, M. Y. 2011. *Analysis of Parameterization Substrate Thickness and Permittivity for Concentric Split Ring Square Reflectarray Element*. Jurnal Kejuruteraan. 23(2011): 11-16.
- Misran, N., Cahill, R. & Fusco, V. F. 2003. *Design optimisation of ring elements for broadband reflectarray antennas*. IEE Proceedings: Microwaves, Antennas and Propagation. 150(6): 440-444.
- Yaasin, T., Baktur, R. & Furse, C. 2011. *A comparative study on two types of transparent patch antenna*. URSI General Assembly and Scientific Symposium, Istanbul, Turkey. 1-4.
- Arshad Selamat*, Norbahiah Misran, Mohd Fais Mansor & Mohammad Tariqul Islam
Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik & Sistem
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- Saleem H. Zaidi
Institut Penyelidikan Tenaga Suria (SERI)
Universiti Kebangsaan Malaysia
43600 UKM Bangi, Selangor D.E.
Malaysia
- *Penulis koresponden; emel: shade_350@yahoo.com
- Tarikh serahan: 21 Julai 2014
Tarikh terima: 8 Disember 2014