

Perkembangan Teknologi Antena Solar: Satu Tinjauan

(Development of Solar Antenna Technology: A Review)

Nur Izzati binti Mohd Ali*

*Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik, & Sistem (JKEES),
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malaysia
Fakulti Teknologi Kejuruteraan, Universiti Malaysia Perlis,
Kampus UniCITI Alam, Sungai Chuchuh, Padang Besar, Perlis, Malaysia*

Mohd Fais bin Mansor, Norbahiah binti Misran

*Jabatan Kejuruteraan Elektrik, Elektronik, & Sistem (JKEES),
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malaysia*

Mohd Faizal bin Jamlos

*Fakulti Teknologi Kejuruteraan Mekanikal Dan Automotif,
Universiti Malaysia Pahang, Pekan, Pahang, Malaysia
Fakulti Kejuruteraan & Alam Bina, Universiti Kebangsaan Malaysia, Bangi, Selangor, Malaysia*

Radial Anwar

*Dept. of Telecommunication Technology, School of Applied Science, Telkom University, Jalan Telekomunikasi No. 1, Sukapura,
Bojongsong Bandung, Jawa Barat 40257 Indonesia*

*Corresponding author; email: nurizzati@siswa.ukm.edu.my

Received 11 March 2019, Received in revised form 07 January 2020

Accepted 05 February 2020, Available online 30 August 2020

ABSTRAK

Penggunaan tenaga suria secara umumnya adalah penyelesaian semulajadi kepada masalah pencemaran alam sekitar yang disebabkan oleh pembakaran bahan api fosil yang dilakukan bagi menampung keperluan tenaga elektrik pada hari ini. Selain menjadi bahan alternatif kepada sumber yang kian terhad, penyelidikan mengenai tenaga suria juga menarik minat ramai daripada pelbagai bidang dan industri kerana sifatnya yang boleh diperbaharui. Industri teknologi komunikasi juga tidak terkecuali. Kemajuan industri ini pada hari ini menjadikan integrasi antena dan sel suria penting untuk diterokai bagi menangani isu seperti ruang permukaan yang terhad pada sesuatu alat komunikasi, mahupun bagi aplikasi sendiri yang memerlukan sistem telekomunikasi dikuasakan sendiri. Adalah menjadi satu kemestian bagi menganalisis sifat-sifat antena solar yang sedia ada sebagai satu langkah awal sebelum proses penambahbaikan dan penyesuaian pada reka bentuk dan penyelidikan seterusnya dilakukan. Di dalam kajian ini, tinjauan yang menyeluruh bagi perkembangan teknologi dalam reka bentuk antena solar dibincangkan. Antena dikategorikan kepada jenis legap, jenis separa lut sinar, dan jenis lut sinar, bergantung kepada ketelusan elemen antena tersebut. Setiap kategori yang diulas juga merangkumi konfigurasi antenanya, bahan yang digunakan, jenis sel suria yang digunapakai dan frekuensi operasi bagi antena, prestasi antena dan sel surianya, serta proses integrasi yang terlibat.

Kata kunci: Antena sel suria, antena lut sinar, antena separa lut sinar, antena berintegrasi sel suria

ABSTRACT

Solar energy generally is the natural solution of environmental pollution due to fossil fuel burning to fulfil the electrical energy demands today. As it is the alternative of a limited source, research on solar energy caught attention of various industry and field experts due to its renewability characteristic. Communication technology industry is not an exception. The advancement in the current industry makes the integration of solar and antenna is crucial to be explored to cater issues such as limited surface area on a device, or for standalone application that required self-powered telecommunication system. It is an obligatory to analyse the features of current solar antenna as an initial step before the process of improvement and adaptability of design and application that will be done next. In this paper, a thoroughly review of advancement of the solar antenna design technology are discussed. These antennas are divided to solid type, semi-transparent type, and transparent

type according to its antenna components' transparency. For each category, the features that reviewed are the antenna configuration, material used in the design, type of solar cell used, operating frequency of the antenna, performance of the solar antenna and the integration process done.

Keywords: Solar antenna; transparent antenna; semi-transparent antenna; solar integration antenna

PENGENALAN

Sejak akhir-akhir ini, sistem komunikasi berintegrasi dengan teknologi fotovoltan (PV) telah mendapat perhatian ramai. Proses ini melibatkan integrasi sel suria dengan antena gelombang mikro, terutamanya jenis tampalan jalur mikro menjadi satu struktur peranti yang sama. Apabila penjanaan kuasa oleh sistem fotovoltan (PV) digabungkan dengan sistem komunikasi, ianya dapat menghasilkan sistem komunikasi yang padat dan berautonomi yang kukuh bagi pelbagai aplikasi. Salah satu aplikasi di mana teknologi PV dapat digunakan adalah peranti sendiri di kawasan yang jauh pedalaman atau di luar grid elektrik. Kebiasaannya, peranti-peranti konvensional sedia ada membabitkan penggunaan sel suria dan antena dengan sistem yang berasingan, dan ia memerlukan kompromi terhadap penggunaan luas permukaan yang terhad. Dengan menggabungkan antena berintegrasi dengan sel suria, ia dapat menghasilkan penyelesaian yang padat dan kukuh. Struktur ini menghasilkan reka bentuk yang berprofil rendah dan mempunyai kos yang lebih efektif.

Antena solar memberikan banyak manfaat kepada sistem telekomunikasi pada masa kini dan akan datang. Integrasi bagi kedua-dua sistem ini dapat memaksimumkan penggunaan ruang yang diperlukan, terutamanya bagi sistem yang mempunyai ruang yang amat terhad seperti sistem satelit (Bendel et al. 2003; Henze et al. 2003a; Henze et al. 2003b). Sistem komunikasi sendiri adalah sistem komunikasi yang tidak memerlukan sistem lain untuk beroperasi. Sebagai contoh, aplikasi yang digunakan dalam eksplorasi angkasa, sistem pengawasan trafik, dan komunikasi kawasan luar grid elektrik. Sistem komunikasi yang berkemampuan untuk mengekalkan kuasa sendiri adalah diperlukan bagi memastikan rangkaian komunikasi yang kukuh bagi jangka masa yang lama kerana tidak terdapatnya sumber kuasa lain yang sedia ada. Faedah lain yang diperolehi dengan menggunakan antena solar ini adalah penjimatan kos bagi jangka masa panjang kerana cahaya matahari adalah sumber semula jadi yang boleh diperbaharui. Ia juga adalah satu penyelesaian yang mesra alam bagi masalah pemanasan global yang disebabkan oleh pembakaran bahan api fosil yang berterusan (Das & Das 2011; Gaudette et al. 2012; Yurduseven et al. 2012a).

Di dalam kertas ini, antena solar dikelaskan kepada tiga kategori, iaitu antena solar legap, antena solar separa lut sinar, dan antena solar lut sinar. Setiap kategori dibincangkan reka bentuk antenanya, jenis sel suria yang digunakan, prestasi antena dan sel surianya, frekuensi operasi bagi antena, serta kaedah penggabungan yang dilaksanakan.

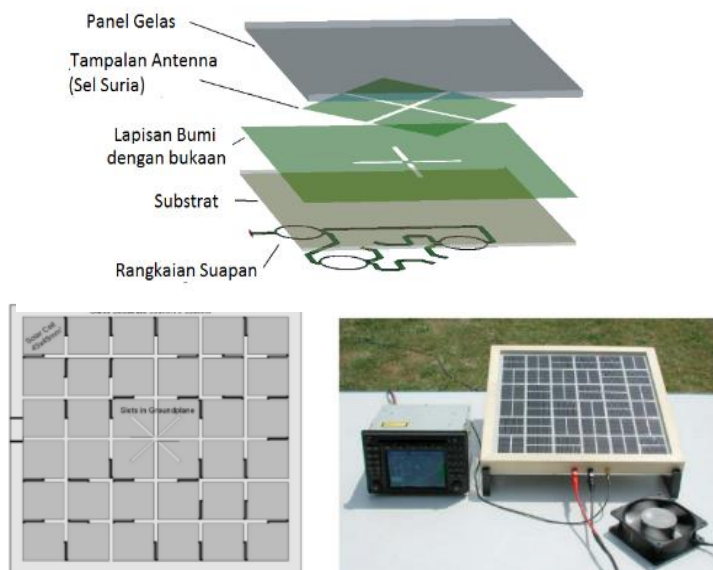
ANTENA SOLAR LEGAP

Antena solar yang legap sepenuhnya banyak direka pada awal pendedahan antena tersebut. Kesemua elemen antena ini terdiri daripada bahan yang legap dan struktur yang padu sepenuhnya. Reka bentuk antena jenis ini kebiasaannya bersaiz besar dan tidak berprofil rendah contohnya bagi reka bentuk di Henze et al. (2003b); Lim et al. (2010); Yurduseven et al. (2012b).

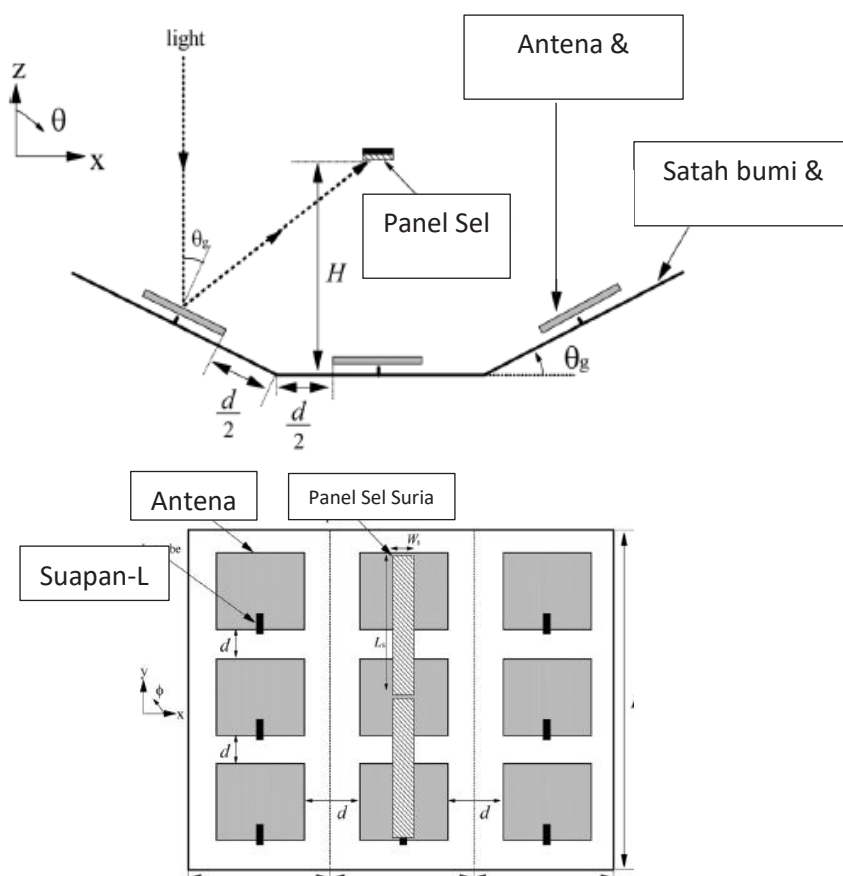
Rajah 1 menunjukkan reka bentuk bagi antena solar yang digunakan bagi aplikasi Sistem Kedudukan Sejagat (GPS) pada 1.575 GHz oleh (Henze et al. 2003b). Antena ini terdiri daripada tatasusunan sel suria yang sebilangannya bertindak sebagai elemen pemancar. Rangkaian suapan yang digunakan adalah tiga pembahagi kuasa Wilkinson pada substrat jenis FR-4. Terdapat empat tampalan yang digantikan dengan sel suria fotovoltan dan beberapa sel suria ditambahkan lagi di sekeliling tampalan aktif bagi meningkatkan voltan arus terus yang diperolehi. Dalam reka bentuk ini, sel suria yang digunakan adalah yang diperbuat daripada silikon habluran tunggal (*monocrystalline*). Keputusan akhir pengukuran menunjukkan pengurangan gandaan antena sebanyak 41% apabila membandingkan antena solar dan antena tanpa sel suria. Bagi bahagian sel suria pula, keluaran voltan yang diperolehi ditetapkan dan dimensi antena diubah bergantung kepada tetapan tersebut.

Rekaan antena solar lain yang legap sepenuhnya adalah oleh Lim et al. (2010); Yurduseven et al. (2012b). Kedua-dua penyelidik ini menggunakan konsep antena tergantung bagi rekaan mereka. Lim et al. (2010) telah menghasilkan satu rekaan yang dinamakan sebagai Antena Hijau pada frekuensi 2 GHz iaitu satu antena tatasusunan kepingan tergantung dan bersuapan-L. Ia dinamakan sedemikian kerana ia menggunakan tenaga semulajadi yang boleh diperbaharui. Antena dan satah bumi yang berbentuk-U di lapisan bawah antena tersebut bertindak sebagai pemantul kepada sel suria yang diletakkan berhadapan seperti yang ditunjukkan di Rajah 2. Susunan ini bertujuan untuk menumpukan cahaya matahari yang diperolehi hasil daripada pantulan oleh elemen antena itu. Dengan mengaplikasikan bentuk-U bagi bumi, voltan keluaran yang terhasil adalah lebih besar dengan ketara. Rekaan ini juga menggunakan kaedah suapan yang sama iaitu pembahagi kuasa Wilkinson bagi elemen tatasusunan.

Bagi Yurduseven et al. (2012b) pula, reka bentuknya yang menggunakan pendekatan antena tatasusunan yang tergantung ini direka bagi aplikasi jalur ISM pada frekuensi 2.4 GHz, dan sel suria telah digantikan dengan antena tampalan yang biasa digunakan dalam sistem telekomunikasi. Ianya adalah bertujuan bagi mengatasi masalah kesan halangan cahaya pada sel suria oleh antena tampalan. Antena solar



RAJAH 1. Antena GPS Solar



RAJAH 2. Antena Hijau

yang tergantung adalah seperti ditunjukkan di Rajah 3. Lapisan substrat FR4 telah dinaikkan daripada lapisan bumi aluminium bagi mendapatkan kesan tergantung bertujuan untuk meningkatkan lebar jalur bagi galangan. Setiap antena solar ini mempunyai litar nyah-ganding masing-masing bagi memisahkan arus terus dan arus ulang-alik untuk mengelakkan laluan arus terus mempengaruhi sifat pancaran radio frekuensi antena tersebut. Garis penghantaran PCB jalur mikro gelombang sukuan (*quarter-wave*) digunakan pada litar nyah-ganding tersebut.

Cara lain yang sering diaplikasikan dalam proses integrasi sel suria dan antena adalah dengan menggunakan sel suria sebagai bumi bagi antena yang direka. Sel suria yang merupakan bahan pengalir, diletakkan di lapisan bawah antena juga bertindak sebagai satah bumi kerana lapisan sel suria. Rajah 4 menunjukkan reka bentuk antena rekaan oleh Roo-Ons et al. (2010), Shynu et al. (2007) dan Shynu et al. (2009). Mereka menggunakan antena jalur mikro (*microstrip*) segi empat dengan suapan termasuk (*insetfed*) bagi frekuensi sekitar 2 GHz. Di bawah satah bumi sel suria pula diletakkan dielektrik sebagai penyokong mekanikal. Bagi meminimumkan bayang cahaya yang boleh menjekaskan prestasi sel suria, dielektrik dipotong (*truncate*) mengikut lapisan tampalan iaitu elemen pemancar bagi antena itu. Ketiga-tiga penyelidik menggunakan sel suria jenis silikon polycrystalline dalam reka bentuk mereka yang dicantumkan menggunakan gam pengalir.

Shynu et al. (2007) dan (2009) juga membincangkan kesan orientasi lapisan kekisi perak pada sel suria kepada prestasi antena. Dengan meletakkan arah kekisi tersebut berada dalam keadaan selari dengan garisan suapan, gandaan yang dihasilkan adalah hampir sama dengan gandaan antena yang mempunyai lapisan bumi yang normal. Apabila orientasi diubah kepada serenjang dengan garisan suapan dan medan elektrik paduan, didapati penurunan yang ketara pada nilai gandaan antena tersebut. (Roo-Ons et al. 2010) telah mereka antena tampalan jalur mikro pada tiga jenis substrat dielektrik yang berlainan iaitu FR4, RF45 dan RO4003. Ini adalah bertujuan untuk melihat prestasi setiap dielektrik yang mempunyai pekali suhu (TCK') yang berbeza apabila mengalami perubahan suhu semasa radiasi suria dilakukan. Setiap peranti didedahkan kepada 30 minit radiasi sebanyak $1000Wm^{-2}$. Hasilnya, didapati frekuensi operasi bagi antena solar di bawah tekanan suhu dipengaruhi oleh kestabilan terma bagi sesuatu pekali suhu (TCK') bagi setiap dielektrik, kecuali bagi RO4003. Dielektrik ini yang tidak mengalami sebarang perubahan kerana sifatnya yang lebih stabil dengan suhu.

Penyelidik lain yang menggunakan pendekatan yang sama bagi proses integrasi antena dan sel suria dengan menggunakan lapisan sel suria sebagai bumi bagi peranti antena adalah O'Conchubhair et al. (2012), O'Conchubhair et al. (2015), Tawk et al. (2015), dan Tawk et al. (2018). Antena jenis F-songsang yang digunakan dalam reka bentuk ini adalah seperti ditunjukkan di Rajah 5.

Antena F-songsang ini direka melunjur keluar daripada sel surianya yang juga adalah lapisan bumi bagi peranti ini.

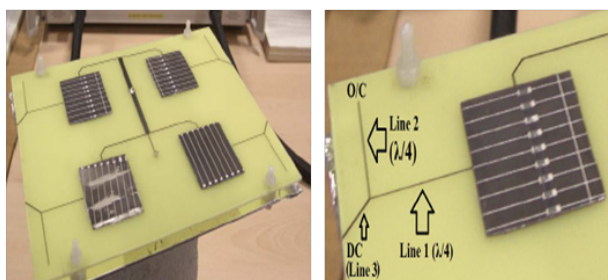
Ini adalah bertujuan bagi meminimumkan luas permukaan yang diperlukan untuk memasang antena tersebut. Penyelidik juga membincangkan kesan kekisi elektrod kuprum terhadap prestasi antena. Seperti Shynu et al. (2007) dan Shynu et al. (2009), penyelidik O'Conchubhair et al. (2012) juga membincangkan kesan orientasi kekisi sel suria terhadap garisan pemancar antena dan sekaligus terhadap prestasi antena. Prestasi antena agak terjejas apabila kekisi diperkenalkan kepada reka bentuk antena tetapi ianya masih memenuhi keperluan untuk operasi sistem tanpa wayar.

Rajah 6 menunjukkan konfigurasi antena oleh Shynu et al. (2008) iaitu jenis antena cetakan dwikutub bersel suria. Di dalam reka bentuk ini, sel suria *polycrystalline* bertindak sebagai bumi dan pemantul bagi antena. Elemen pemancar bagi antena ini adalah cetakan dwikutub jarak gelombang separuh di atas substrat FR-4. Seperti penyelidik-penyelidik lain, penyelidik ini juga mengkaji kesan orientasi sel suria kepada prestasi antena. Hasil kajian mendapati orientasi kekisi yang paling optimum adalah apabila kekisi tersebut selari dengan suapan antena. Orientasi ini juga memberikan keputusan yang menyamai prestasi apabila menggunakan lapisan bumi normal.

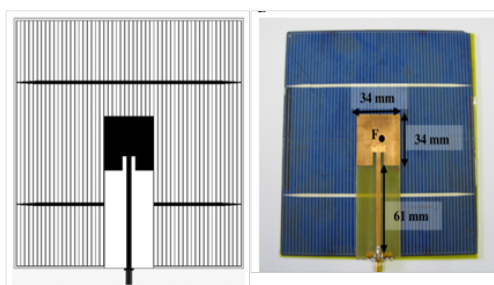
ANTENA SOLAR SEPARA LUT SINAR

Menyedari hakikat pengaruh kesan bayangan pada prestasi sel suria, antena separa lut sinar direka bagi mengatasi masalah ini. Antena separa lut sinar mempunyai struktur reka bentuk yang membenarkan cahaya menembusnya, walaupun menggunakan bahan legap yang padu. Struktur reka bentuknya yang berlubang membenarkan cahaya melalui antena terus ke sel suria. Tujuan utama teknik ini digunakan adalah untuk meningkatkan prestasi antena solar pada elemen sel suria. Kebiasaannya, bagi menghasilkan antena solar separa lut sinar, penyelidik menggunakan dielektrik yang lut sinar seperti kaca sebagai substrat dan antena jenis jejaring bagi meningkatkan ketelusan peranti.

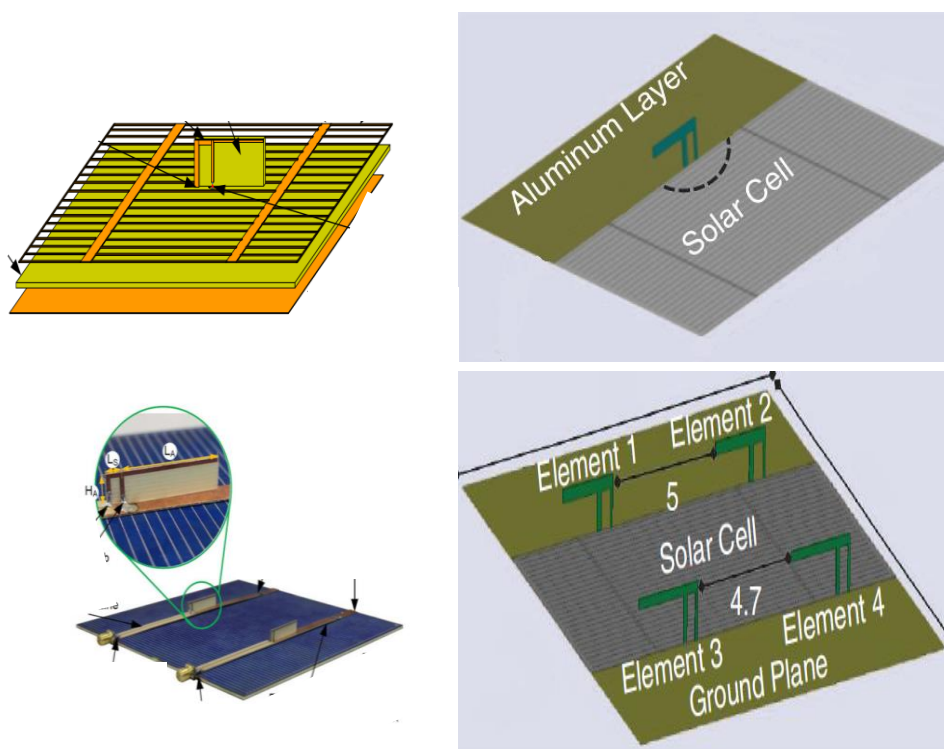
Contohnya Sheikh (2016) dan Yurduseven et al. (2012c) circularly polarized meshed patch antenna has been investigated. A new technique is proposed to provide circular polarization for meshed patch antenna. Moreover, two mesh configurations have been studied, and their opto-radio-electrical performances have been compared to each other. It is shown that there is a conflict between optical transparency and bandwidth of the antennas. Additionally, the Proximity coupling technique has been modified to feed the meshed patch providing more optical transparency for the whole assembly. In the current study, two fabricated circularly polarized meshed patch antennas are presented, one with copper ground plane, another with solar cell ground plane. Measurement results show 2.79% and 3.27% axial-ratio bandwidth (3 dB, penyelidik masing-masing menggunakan bahan kaca jenis borosilicate dan Plexiglass sebagai substrat. Elemen pemancar bagi rekaan Sheikh (2016) dan Yurduseven et al. (2012c) adalah antena tampalan kuprum di dalam bentuk jejaring bagi meningkatkan



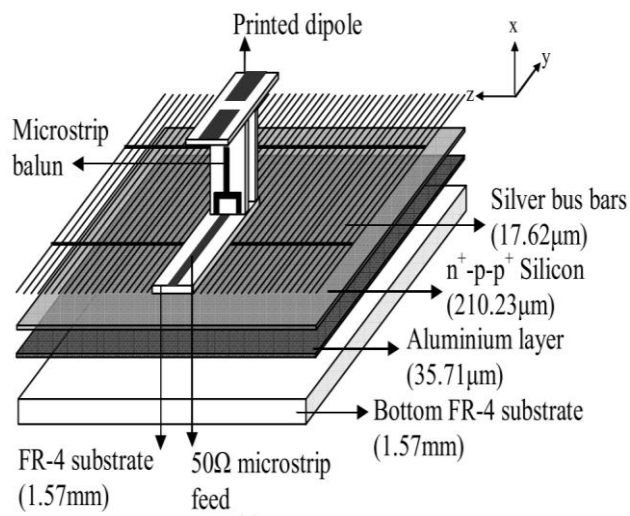
RAJAH 3. Antena Tatasusun Tergantung



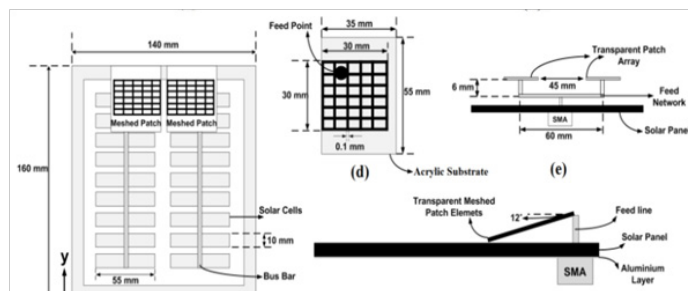
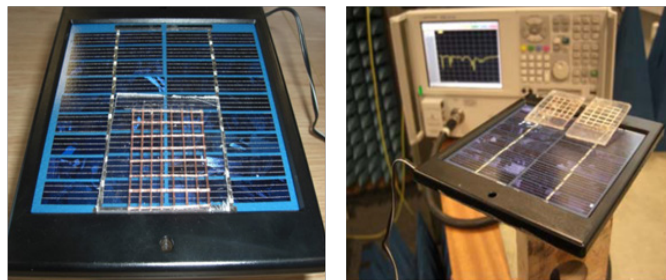
RAJAH 4. Antena Tampilan Segi Empat Jalur Mikro Bersel Suria



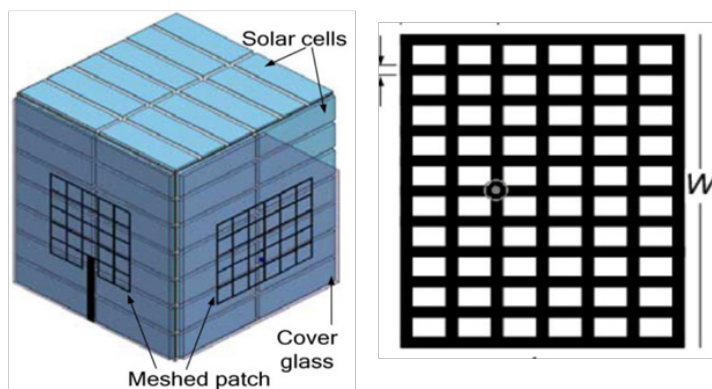
RAJAH 5. Antena F-songsang Bersel Suria



RAJAH 6. Antena Cetakkan Dwikutub Bersel Suria



RAJAH 7. Antena Jejaring Bersel Suria



RAJAH 8. Jejaring Antena solar Bagi Satelit Kecil

ketelusan rekaan antenna. Ini adalah untuk membolehkan sel suria silikon untuk menangkap sinaran matahari bersama fotonnya dengan lebih berkesan. Sel suria yang digunakan adalah daripada jenis polycrystalline dan bahagian pengalir di bahagian bawah sel suria ini digunakan sebagai bumi bagi kedua-dua elemen antenna dan sel suria itu sendiri.

Yurduseven et al. (2012a) juga menggunakan teknik yang sama iaitu menggunakan antenna jejaring pada substrat lut sinar iaitu bahan akrilik lut sinar. Berbanding dengan penyelidik sebelum ini, antenna jejaring yang digunakan oleh penyelidik ini adalah tatasusun bagi dua antenna jejaring. Ketelusan antenna ini adalah dikira sebanyak 95 peratus dan ia cukup memadai bagi membenarkan cahaya matahari menembusnya tanpa halangan mahupun pantulan yang ketara. Satu sudut condong diperkenalkan kepada antenna ini dan menghasilkan peningkatan prestasi dari segi kehilangan balikan berbanding orientasi rata tanpa condongan. Konfigurasi kedua-dua antenna ini ditunjukkan di Rajah 7.

Antena separa lut sinar yang dibincangkan di Turpin & Baktur (2009) juga menggunakan konsep yang sama. Penyelidik membincangkan integrasi antenna jejaring tampalan secara terus dengan sel suria bagi satelit kecil bagi menjimatkan ruang penggunaan yang amat terhad. Kepingan termoplastik polyethylene terephthalate glycol (PETG) yang merupakan lapisan pelindung bagi sel suria tersebut digunakan menjadi substrat bagi antenna dan direka bagi mempunyai ketelusan optik yang memadai untuk memastikan sel suria tersebut berfungsi sebaiknya. Elemen pemancar yang mempunyai ketelusan cahaya yang berbeza digunakan bagi melihat kesan terhadap prestasi antenna. Konfigurasi antenna ini ditunjukkan di dalam Rajah 8.

Penyelidik Rabie et al. (2018) menggunakan teknik yang sama tetapi menerapkan teknik jejaring kepada kedua-dua elemen pengalir dan substrat dan elemen solar diletakkan di bawah lapisan antenna. Jejaring di bahagian pengalir terhasil daripada proses penggridan iaitu pada bahagian tampalan dan lapisan bumi bagi memastikan cahaya matahari yang sampai ke sel suria itu dapat dimaksimumkan sekaligus mendapatkan tenaga solar yang mencukupi. Prosedur yang rumit bagi memperoleh hasil penggridan yang sempurna dihadapi bagi mendapatkan reka bentuk ini. Struktur bagi reka bentuk ini ditunjukkan di Rajah 9.

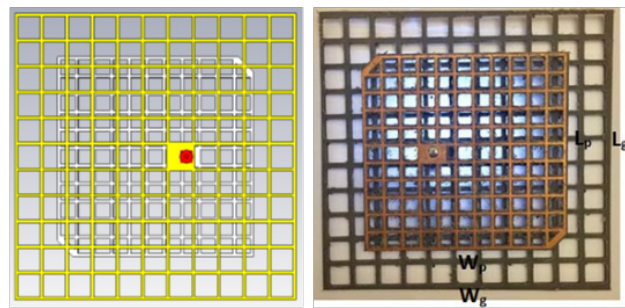
Integrasi bagi antenna satah kutub tunggal dengan sel suria jenis polycrystalline dibincangkan oleh Yurduseven et al. (2014). Reka bentuk antenna tersebut adalah jenis jejaring bulat tercetak pada substrat akrilik yang lut sinar demi mencapai ketelusan optik yang tinggi seperti ditunjukkan di Rajah 10. Ini adalah langkah bagi meminimumkan bayangan pada sel suria sekaligus mendapatkan prestasi suria yang optimum. Seperti penyelidik sebelum ini, sel suria diletakkan di bawah substrat dan berfungsi sebagai lapisan bumi selain fungsi fotovoltannya. Penyelidik telah membuktikan bahawa antenna jejaring yang direka berfungsi dengan baik menyerupai prestasi radiasi konvensional yang menggunakan antenna yang padat. Prestasi sel suria juga diukur dan hasil dapatan menunjukkan kuasa keluaran dan kecekapan sel suria adalah mencukupi dan optimum.

Bagi antenna jenis ini, bahagian elemen pemancar dan substrat peranti adalah lut sinar. Bahan yang selalu digunakan adalah kaca atau plastik PET bagi lapisan substrat dan filem tipis pengalir sebagai elemen pemancar, seperti yang dibincangkan oleh penyelidik Mohd Ali et al. (2017) dan Selamat et al. (2016) the dielectric permittivity value of the glass was varied from 1.5 to 10. A Kapton film (radiating element). Secara teori, prestasi sel suria dapat dipertingkatkan kerana tiada isu halangan sinaran matahari terjadi. Roo-Ons et al. (2011) menghasilkan antenna jaluran mikro tampalan yang lut sinar dipasang pada permukaan modul sel suria. Struktur rekaan terdiri daripada sel suria amorfus silikon, kaca, Perspex, dan lapisan filem AgHT-4 lut sinar seperti ditunjukkan di Rajah 11. Lapisan AgHT-4 yang lut sinar adalah tampalan yang juga elemen pemancar bagi antenna itu diletakkan ditengah-tengah substrat Perspex dan dipadankan dengan garisan jaluran mikro kuprum yang diapit di antara Perspex dan lapisan kaca sel suria. Hasilnya, reka bentuk ini telah meningkatkan prestasi kecekapan sel suria berbanding dengan tampalan dari bahan kuprum. Gandaan dan lain-lain prestasi yang diukur juga menunjukkan nilai yang memenuhi keperluan komunikasi tanpa wayar dan rangkaian pegasan.

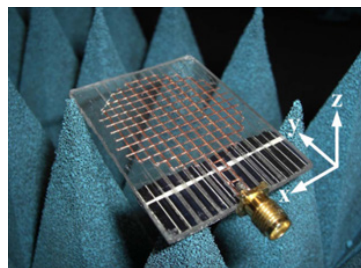
Berlainan dengan penyelidik sebelumnya, (Sheikh et al. 2015) menghasilkan antenna yang mempunyai kesemua elemen antenanya lut sinar dengan menggunakan lapisan tampalan dari filem tipis oksida pengalir lut sinar iaitu jenis *fluorine doped tin oxide* (FTO) dan kaca Pyrex sebagai substrat. Reka bentuk ditunjukkan di Rajah 12. FTO yang digunakan mempunyai ketelusan optik yang tinggi dan rintangan permukaan elektrik yang rendah. Penggunaan substrat yang tebal adalah bagi mengurangkan kehilangan pengalir pada antenna. Penyelidik mendapati, tampalan yang lut sinar memberikan penurunan nilai frekuensi yang ketara bagi frekuensi yang rendah tetapi lebih efisien pada frekuensi tinggi.

Penyelidikan pada antenna solar lut sinar diteruskan oleh Peter et al. (2014). Di dalam reka bentuk ini, antenna lut sinar yang diperbuat daripada filem polimer, AgHT-4 dan kaca dengan celahan berbentuk kon runcing direka. Reka bentuk ini adalah bertujuan untuk menghasilkan komunikasi jalur lebar ultra (*ultra wide band*), dalam masa yang sama diintegrasikan dengan panel suria bagi mengumpulkan gelombang elektromagnet daripada ruang udara. Gelombang ini kemudian ditukarkan kepada tenaga elektrik. Rekaan antenna ini ditunjukkan di Rajah 13.

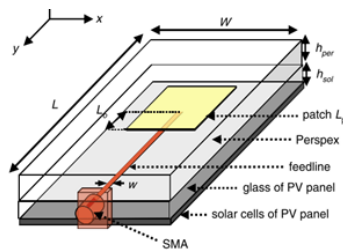
Seperti penyelidik Peter et al. (2014), penyelidik Desai et al. (2018) menggunakan pendekatan yang sama dengan menggunakan bahan lut sinar sepenuhnya pada ketiga-tiga lapisan; tampalan pemancar, substrat dan lapisan bumi. Bahan yang digunakan juga hampir serupa iaitu penggunaan AgHT-8 sebagai pemancar dan Bumi, dan menggunakan Plexiglass sebagai substrat. Rajah 14 menunjukkan struktur reka bentuk antenna tersebut.



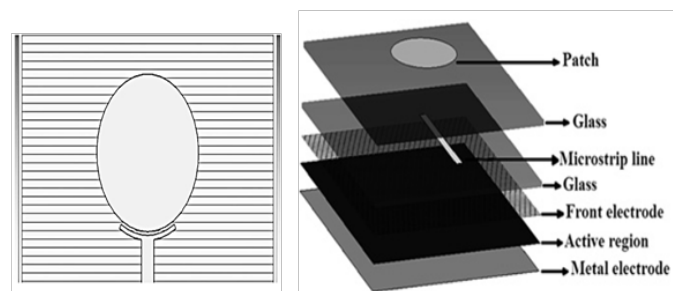
RAJAH 9. Jejaring Antena solar Bagi Satelit Kecil



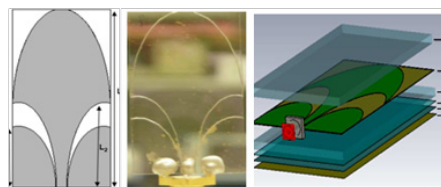
RAJAH 10. Antena Jejaring Bulat Bersel Suria Kutub Tunggal



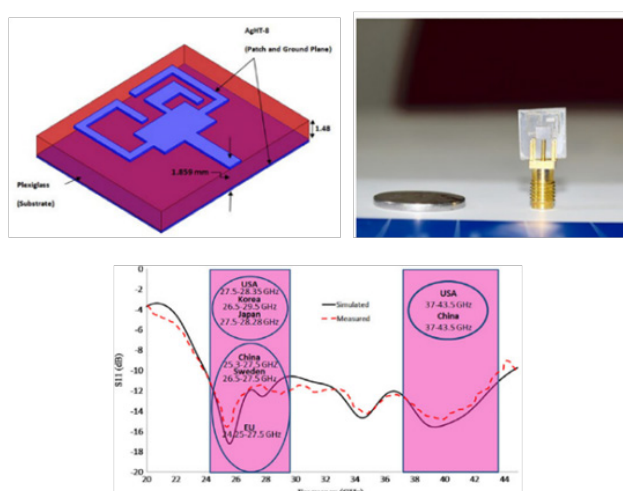
RAJAH 11. Antena Tampilan L Bersel Suria



RAJAH 12. Antena Lut sinar Tampilan FTO



RAJAH 13. Antena Bercelahan Berbentuk Kon Runcing Bersel Suria Lut sinar



RAJAH 14. Antena Lutsinar Jalur Lebar

JADUAL 1. Ciri-ciri antenna solar legap

Rujukan	Bahan dielektrik antenna	Jenis sel suria	Prestasi antenna			Prestasi solar	
			Frekuensi operasi (GHz)	Gandaan (dB)	Lebar Jalur (GHz)	Voltan maksimum (V)	Arus maksimum (A)
Henze et al. (2003b)	Udara	Monocrystalline	1.575	2 dB	0.15	17.6	0.87
Lim et al. (2010)	-	Amorphous	2.09	17.2	0.78	4.27	-
Yurduseven et al. (2012b)	FR4	*silikon	2.4	12.2	0.45	-	-
Roo-Ons et al. (2010)	FR4	Polycrystalline	2.22	1.86	0.9	-	-(kecakapan solar 12.3%)
	RF45		2.21	4.82	0.34		
	RO4003		2.43	4.95	0.49		
Shynu et al. (2007)	FR4	Polycrystalline	2.224	2.75	0.07	-	-
Shynu et al. (2009)	FR4	Polycrystalline	2.19	1.86	0.068	-	-
O'Conchubhair et al. (2012)	FR4	Polycrystalline	2.385	3.457	0.149	-	-
O'Conchubhair et al. (2015)	FR4	Multicrystalline	2.45	4.4	0.085	-	-
Tawk et al. (2015)	-	*silikon	1.8 – 2.4	8.5, 6.3	0.6, 0.2	0.562	-
Shynu et al. (2008)	FR4	Polycrystalline	2.339	8.75	0.37	-	-

tidak dibincangkan *tidak dinyatakan spesifik

KESIMPULAN

Jadual 1 dan 2 masing-masing menunjukkan bahan-bahan dan prestasi bagi keseluruhan elemen solar antenna jenis legap dan lut sinar. Hasil daripada tinjauan yang telah dilakukan, bahan-bahan yang memberikan prestasi antenna yang optimum tanpa mengganggu prestasi solar dapat dikenal pasti.

Adalah dapat disimpulkan di sini, reka bentuk antenna solar legap selalunya lebih kompleks dan bersaiz besar (tidak padat). Terdapat juga reka bentuk yang mudah tetapi ianya menghadapi kesan bayangan pada sel suria yang ketara. Antena semi lut sinar direka bagi mengatasi masalah

ini, dan hampir semua antenna kategori ini menggunakan pendekatan antenna jejaring. Ketelusan antenna adalah tinggi tetapi masih tidak maksimum, jadi kesan bayangan tidak dapat diatasi sepenuhnya. Bagi kategori antenna solar lut sinar, substrat yang digunakan hampir sama dengan separa lut sinar, iaitu kategori kaca. Elemen pemancar bagi antenna ini selalunya daripada filem nipis. Kesan bayangan dapat di atasi tetapi cara fabrikasi agak rumit. Hasil dari tinjauan penyelidikan-penyelidikan ini menunjukkan, bahan AgHT-4, AgHT-8, dan FTO mempunyai ketelusan yang tinggi dan kekonduksian yang baik. Maka, bahan ini mempunyai potensi untuk lebih diterokai dalam penyelidikan berkaitan antenna solar.

JADUAL 2. Ciri-ciri antenna solar separa lut sinar dan antenna solar lut sinar

Rujukan	Bahan pemancar antenna	Bahan dielektrik antenna	Jenis sel suria	Prestasi antenna		Prestasi solar			
				Frekuensi operasi (GHz)	Gandaan (dB)	Lebar Jalur (GHz)	Voltan maksimum (V)	Arus maksimum (A)	
Sheikh (2016)	*Metal legap	Kaca borosilicate	*silikon	2.43	4.4	0.18	-	-	Kesan bayangan akan mempengaruhi prestasi solar.
Yurduseven et al. (2012c)	Kuprum	Plexiglass	Polycrystalline	2.48	7.1	0.21	9.53	0.16	Ketelusan antenna solar yang direka adalah 95%. Prestasi solar dipercayai dapat ditingkatkan sekiranya lebih tinggi tahap ketelusan dicapai.
Yurduseven et al. (2012a)	Kuprum	akrilik lut sinar	Polycrystalline	Bebilang jalur (0.9 – 3.5)	9.5	-	9.0	0.16	Sistem solar dan antenna kelihatan terpisah dan bukannya menjadi satu elemen.
Turpin & Bakur (2009)	Dakwat pengalir Electroformed	Kepingan termoplastik PETG	-	2.61	5.4 (keterangan 8.4)	-	-	-	Proses fabrikasi antenna yang kompleks.
Rabie et al. (2018)	Kuprum	Rogers RT/duroid 5880 yang digridkan	Cubesat	1.575	6.687	0.60	-	-	Prosedur yang rumit bagi memperoleh hasil penggridan yang sempurna.
Yurduseven et al. (2014)	*Metal legap	akrilik lut sinar	Polycrystalline	2.33-10.8	4.1	8.47 (UWB)	0.5 V	0.131	Ketelusan antenna solar yang direka adalah 91%. Prestasi solar dipercayai dapat ditingkatkan sekiranya lebih tinggi tahap ketelusan dicapai.
Roo-Ons et al. (2011)	AgHT-4	Perspex	Amorphous	3.5	3.96	0.154	Kecekapan lebih baik berbanding antenna yang menggunakan bahan legap.	-	Bahan AgHT-4 berpotensi untuk digunakan meluas dalam reka bentuk antenna solar kerana tahap ketelusan dan pengalirannya yang memadai.
Sheikh e tal. (2015)	FTO	Kaca Pyrex	-	2.5, 5	0.43, 3.63	0.477, 0.602	-	-	Bahan FTO berpotensi untuk digunakan meluas dalam reka bentuk antenna solar kerana tahap ketelusannya yang tinggi tetapi harganya yang tinggi perlu diambil kira.
Peter et al. (2014)	AgHT-4	Kaca	Amorphous	2.53	7.0	9.9 (UWB)	-	-	Antena ini digabungkan dengan fungsi rectifier dan prestasi lebih fokus pada fungsi tersebut. Reka bentuk agak kompleks.
Desai et al. (2018)	AgHT-8	Plexiglass	-	20.6	2.0	19.88	-	-	Kesan bayangan daripada garis suapan akan memengaruhi prestasi solar.

tidak dibincangkan *tidak dinyatakan spesifik

PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

PENGHARGAAN

Terima kasih diatas tajaan Makmal Teknologi Gelombang Mikro bagi publikasi ini.

RUJUKAN

- Bendel, C., Kirchof, J. & Henze, N. 2003. Application of photovoltaic solar cells in planar antenna structures. *Proceedings of 3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, 2003*. 1: 220–223. doi:10.1049/cp:20030180
- Das, T. K. & Das, A. K. 2011. Solar power of mobile transmitter / receiver tower antennas in remote areas. *2nd Asian Himalayas International Conference on Internet*, hlm. 1–4. Kathmandu, Nepal: IEEE. doi:https://doi.org/10.1109/AHICI.2011.6113939
- Desai, A., Upadhyaya, T. & Patel, R. 2018. Compact wideband transparent antenna for 5G communication systems. *Microwave and Optical Technology Letters* (August): 1–6. doi:10.1002/mop.31601
- Gaudette, B., Hanumaiah, V., Vrudhula, S. & Krunz, M. 2012. Optimal range assignment in solar powered active wireless sensor networks. *2012 Proceedings IEEE INFOCOM* 2354–2362. doi:10.1109/INFOCOM.2012.6195623
- Henze, N., Bendel, C., Fruchting, A. & Kirchof, J. 2003a. Application of photovoltaic solar cells in planar antenna structures. *Antennas and Propagation, 2003. (ICAP 2003). Twelfth International Conference on (Conf. Publ. No. 491)*, hlm. 731–734. Exeter, UK,: IET. doi:https://doi.org/10.1049/cp:20030180
- Henze, N., Giere, A., Fruchting, H. & Hofmann, P. 2003b. GPS patch antenna with photovoltaic solar cells for vehicular applications. *2003 IEEE 58th Vehicular Technology Conference. VTC 2003-Fall (IEEE Cat. No.03CH37484)*. doi:10.1109/VETECF.2003.1284976
- Lim, E. H., Leung, K. W., Su, C. C. & Wong, H. Y. 2010. Green antenna for solar energy collection. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 9: 689–692. doi:10.1109/LAWP.2010.2055819
- Mohd Ali, N. I., Misran, N., Mansor, M. F. & Jamlos, M. F. 2017. Transparent solar antenna of 28 GHz using transparent conductive oxides (TCO) thin film. *Journal of Physics: Conference Series* 852(1). doi:10.1088/1742-6596/852/1/012036
- O’Conchubhair, O., Mcevoy, P. & Ammann, M. J. 2015. Integrated Antenna Currents on a Multicrystalline Silicon Solar Cell. *Antennas and Propagation (EuCAP), 2015 9th European Conference on*, hlm. 1–4. Lisbon, Portugal: IEEE.
- O’Conchubhair, O., McEvoy, P. & Ammann, M. J. 2012. Integration of Inverted-F antenna with solar cell substitute. *LAPC 2012 - 2012 Loughborough Antennas and Propagation Conference*. doi:10.1109/LAPC.2012.6403047
- Peter, T., Rahman, T. A., Cheung, S. W., Nilavalan, R., Abutarboush, H. F. & Vilches, A. 2014. A novel transparent UWB antenna for photovoltaic solar panel integration and RF energy harvesting. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 62(4): 1844–1853. doi:10.1109/TAP.2014.2298044
- Rabie, M. M., El-Henawy, H., El-Hefnawy, F. & Ibrahim, F. 2018. Meshed conductor and meshed substrate GPS L1 band microstrip antenna for Cubesat applications. *2018 35th National Radio Science Conference (NRSC)*. doi:10.1109/NRSC.2018.8354359
- Roo-Ons, M. J., Shynu, S. V., Ammann, M. J., McCormack, S. J. & Norton, B. 2011. Transparent Patch Antenna on a-Si Thin-Film Glass Solar Module. *Electronics Letters* 47(2): 85–86. doi:10.1049/el.2010.7397
- Roo-Ons, M. J., Shynu, S. V., Seredynski, M., Ammann, M. J., McCormack, S. J. & Norton, B. 2010. Influence of solar heating on the performance of integrated solar cell microstrip patch antennas. *Solar Energy* 84(9): 1619–1627. doi:10.1016/j.solener.2010.06.007
- Selamat, A., Mat, K., Misran, N., Islam, M. T. & Mansor, M. F. 2016. Bandwidth performance analysis of different glass’s dielectric permittivity on reflectarray radiating element. *2016 International Conference on Advances in Electrical, Electronic and Systems Engineering, ICAEES 2016*, hlm. 555–558. doi:10.1109/ICAEEES.2016.7888107
- Sheikh, S. 2016. Circularly Polarized Meshed Patch Antenna. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 15: 352–355. doi:10.1109/LAWP.2015.2445836
- Sheikh, S., Shokoooh-Saremi, M. & Bagheri-Mohagheghi, M.-M. 2015. Transparent microstrip patch antenna based on fluorine-doped tin oxide deposited by spray pyrolysis technique. *IET Microwaves, Antennas & Propagation* 9(11): 1221–1229. doi:10.1049/iet-map.2015.0048
- Shynu, S. V., Ons, M. J. R., Ammann, M. J., Gallagher, S. & Norton, B. 2007. Inset-Fed Microstrip Patch Antenna with Integrated Polycrystalline Photovoltaic Solar Cell. *The Second European Conference on Antennas and Propagation EuCAP 2007.*, hlm. 1–4. Edinburgh, UK: IET. doi:10.1049/ic.2007.1373
- Shynu, S. V., Ons, M. J. R., Ruvio, G., Ammann, M. J., McCormack, S. & Norton, B. 2008. A Microstrip Printed Dipole Solar Antenna Using Polycrystalline Silicon Solar Cells. *2008 IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, hlm. 1–4. USA: IEEE. doi:10.1109/APS.2008.4619048
- Shynu, S. V., Jose, M., Ons, R., Mcevoy, P., Ammann, M. J., McCormack, S. J. & Norton, B. 2009. Integration of Microstrip Patch Antenna With Polycrystalline Silicon Solar Cell. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 57(12): 3969–3972.
- Tawk, Y., Costantine, J., Ayoub, F. & Christodoulou, C. G. 2018. A Communicating Antenna Array with a Dual-Energy Harvesting Functionality [Wireless Corner]. *IEEE Antennas and Propagation Magazine* 60(2): 132–144. doi:10.1109/MAP.2018.2796025
- Tawk, Y., Costantine, J. & Christodoulou, C. G. 2015. An Inverted-F Antenna Integrated with Solar Cells for Energy Harvesting. *2015 9th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP)*, hlm. Vol. 1, 2–3.
- Turpin, T. W. & Baktur, R. 2009. Meshed Patch Antennas Integrated on Solar Cells. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 8: 693–696. doi:10.1109/LAWP.2009.2025522

- Yurduseven, O., Smith, D. & Elsdon, M. 2014. A Transparent Meshed Solar Monopole Antenna for UWB Applications. *The 8th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP 2014)* 2145–2149. doi:10.1109/EuCAP.2014.6902233
- Yurduseven, O., Smith, D., Pearsall, N., Forbes, I. & Johnston, D. 2012a. A meshed multiband solar patch array antenna. *LAPC 2012 - 2012 Loughborough Antennas and Propagation Conference*, hlm. 1–5. Loughborough: IEEE. doi:10.1109/LAPC.2012.6403083
- Yurduseven, O., Smith, D., Pearsall, N. & Forbes, I. 2012b. Design of a highly efficient wideband suspended solar array antenna. *Proceedings of the 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation* (1): 1–2. doi:10.1109/APS.2012.6348555
- Yurduseven, O., Smith, D., Pearsall, N. & Forbes, I. 2012c. A Transparent Solar Patch Antenna For 2.4/2.5 GHz WLAN-WiMAX Applications. *2012 2nd International Symposium On Environment Friendly Energies And Applications* 614–617. doi:10.1109/EFEA.2012.6402418