

## Antena Tatasusun Grid Lut Sinar Gandaan Tinggi bagi Aplikasi Jalur-Ku

(High Gain Transparent Grid Array Antenna for Ku-Band Applications)

Mohammad Jazly A Shirajzudeen<sup>a</sup>, Norsuzlin Mohd Sahar<sup>b,\*</sup>, Mohd Fais Mansor<sup>a,b</sup>, Kamarulzaman Mat<sup>a,b</sup> & Norbahiah Misran<sup>a,b</sup>

<sup>a</sup>Department of Electrical Electronic and System Engineering,

<sup>b</sup>Microwave Technology Research Group, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi Malaysia

<sup>c</sup>Space Science Centre, Institute of Climate Change, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi Malaysia

\*Corresponding author: [norsuzlin@ukm.edu.my](mailto:norsuzlin@ukm.edu.my)

Received 22 June 2023, Received in revised form 15 February 2024

Accepted 15 March 2024, Available online 30 May 2024

### ABSTRAK

Apabila peranti elektronik moden menjadi lebih kecil, pengeluar semakin menghasilkan peranti yang padat untuk teknologi angkasa. Antena lutsinar dilihat sebagai penyelesaian kepada masalah ini. Dengan adanya antena lutsinar, ia dapat menjimatkan ruang pemasangan antena kerana sifat ketelusannya membolehkan ia di integrasi bersama teknologi solar. Namun begitu, penggunaan bahan lut sinar pada antena menyebabkan gandaan antena menjadi rendah disebabkan kekonduksian bahan yang juga rendah. Apabila bahan kekonduksian yang rendah digunakan ia juga akan menyebabkan kecekapan antena berkurang. Oleh itu pengubahsuaian pada reka bentuk antena diperlukan untuk mengatasi masalah-masalah tersebut. Kajian ini bertujuan untuk mereka bentuk antena lut sinar yang dapat beroperasi pada jalur-Ku. Matlamat kajian ini adalah untuk mengenal pasti kesan bahan lutsinar terhadap kekonduksian, mereka bentuk antena lutsinar dengan kecekapan serendah 85% dan mereka bentuk antena tatasusun grid untuk meningkatkan gandaan. Ujian pengesahan bahan dijalankan dengan membuat perbandingan bahan dalam simulasi reka bentuk antena yang berfungsi pada Jalur-Ku. Bahan antena lutsinar yang dipilih adalah Indium Timah Oksida (Indium Tin Oxide, ITO). Kemudian, reka bentuk antena tatasusun grid dijalankan untuk meningkatkan gandaan antena justeru bagi mendapatkan kecekapan yang tinggi. Dalam penyelidikan ini, antena tatasusunan grid 8 gelung meningkatkan gandaan sebanyak 52% berbanding antena rujukan. Antena ini memenuhi keperluan prestasi dan boleh disepadukan dengan panel solar untuk memanfaatkan cahaya matahari dengan cekap untuk penjanaan elektrik, sambil menghantar dan menerima isyarat wayarles dengan berkesan

**Keywords:** ITO; Antena Tatasusun Grid; Lut Sinar; Jalur-Ku; Gandaan Tinggi

### ABSTRACT

As modern electronic devices become smaller, manufacturers are increasingly producing compact devices for space technology. Transparent antennas are seen as the solution to this problem. With the presence of a transparent antenna, it can save antenna installation space as its transparency properties allow it to be integrated with solar technology. However, the use of transparent material on the antenna causes the antenna gain to be low due to the low conductivity of the material. When a low conductivity material is used it also causes the antenna efficiency to decrease. Therefore, modifications to the antenna design are needed to overcome such problems. This study aims to design a transparent antenna that can operate on Ku-band. The aim of this study is to identify the effect of transparent materials on

conductivity, design a transparent antenna with an efficiency as low as 85% and design a grid array antenna to increase gain. The material verification test is carried out by making a comparison of the material in the antenna design simulation that works on Ku-band. The transparent antenna material selected is Indium Tin Oxide (ITO). Then, the design of the grid array antenna is carried out to increase the antenna gain hence for high efficiency. In this research, 8 loops grid array antennas increase the gain by 52% compared to reference antennas. The antenna meets performance requirements and can be integrated with solar panels to efficiently harness sunlight for electricity generation, while effectively transmitting and receiving wireless signals.

*Kata kunci: ITO; Grid Array Antenna; Transparent; Ku-Band; High Gain*

## PENGENALAN

Sistem komunikasi sentiasa berkembang pesat, dan perkembangan ini melibatkan pelbagai peranti, termasuk antenna. Antena litar jalur mikro dan gelombang mikro merupakan salah satu jenis antena yang banyak digunakan dalam komunikasi tanpa wayar. Antena ini diperbuat daripada lapisan logam nipis yang berfungsi sebagai elemen pengaliran dan diletakkan di atas substrat dielektrik. Pada bahagian bawahnya, terdapat lapisan logam nipis sebagai satah bumi antena. Dalam aplikasi komunikasi tanpa wayar, terdapat keperluan untuk mempunyai lebar jalur yang lebih luas, kadar bit yang lebih tinggi, dan kualiti perkhidmatan yang lebih baik. Ini disebabkan oleh perkembangan teknologi dan peningkatan keperluan pengguna. Oleh itu, para penyelidik sedang membangunkan pelbagai kaedah untuk memenuhi keperluan ini. Salah satu aspek yang diberi penekanan dalam pembangunan antena adalah peningkatan kecekapan. Dengan meningkatkan kecekapan antena, isyarat boleh dihantar dengan lebih kuat dan diterima dengan lebih jelas. Selain itu, gandaan yang tinggi juga menjadi fokus utama dalam pembangunan antena bagi memastikan isyarat boleh dihantar ke jarak yang lebih jauh atau diterima dari jarak yang lebih jauh. Lebar jalur yang lebih luas juga menjadi keperluan penting dalam sistem komunikasi di mana lebih banyak data dapat dihantar pada satu masa, membolehkan penghantaran maklumat yang lebih cepat.

Pengenalan komunikasi Generasi Kelima (5G) telah menekankan pentingnya memiliki lebar jalur yang luas dan kadar bit yang tinggi. 5G menawarkan kelajuan dan kapasiti yang lebih tinggi daripada generasi sebelumnya, dan ini dicapai melalui penggunaan lebar jalur yang lebih luas dan teknologi yang lebih canggih. Secara keseluruhannya, perkembangan sistem komunikasi yang pesat memerlukan peningkatan dalam kecekapan, gandaan dan lebar jalur antena. Ini adalah untuk memenuhi keperluan aplikasi komunikasi tanpa wayar yang semakin kompleks dan membolehkan penyampaian data yang lebih cepat, kuat, dan berkualiti.

Keadaan ini juga mewujudkan keperluan untuk meletakkan lebih banyak antena dalam satu peranti yang

akan menimbulkan masalah kekangan ruang untuk alat peranti. Oleh itu, antena telus telah menarik perhatian penyelidik sebagai salah satu penyelesaian. Dengan melaksanakan ciri ini, reka bentuk antena dapat menjimatkan ruang dari segi saiz, pemasangan, dan struktur. Terdapat aplikasi lain yang juga mendapat manfaat daripada ciri-ciri ini, contohnya, antena solar. Ketelusan antena boleh dicapai dengan menggunakan bahan telus seperti *Indium Tin Oxide*, (ITO), *Fluorine Tin Oxide* (FTO) dan *Silver Coated Polyester Film* (AgHT) sebagai unsur tampalan. Bahan-bahan ini juga digunakan secara meluas dalam aplikasi yang berbeza seperti sel suria, kawalan panel sentuh dan pelindung elektromagnet. Antena telus boleh dipasang pada kaca bangunan, cermin kenderaan dan juga boleh dipasang untuk tujuan memaparkan konsep estetik. Satu kajian perbandingan bahan telus dijalankan oleh Thampy & Dhamodharan (2015), di mana kajian mereka melibatkan bahan ITO dan FTO yang beroperasi pada frekuensi 719 - 791 GHz untuk bahan ITO dan 714 - 801 GHz untuk bahan FTO. Bahan ITO memberikan hasil berganda yang lebih tinggi berbanding bahan FTO. Namun FTO memberikan prestasi parameter S yang lebih baik daripada ITO. Kajian ini juga menunjukkan kadar kecekapan yang rendah kurang daripada 50%. Kadar ini menunjukkan bahawa antena mempunyai kehilangan kuasa yang ketara. Song et al. (2008) dalam kajiannya mengenai antena telus, penyelidikan menggunakan AgHT sebagai unsur pemancar memperoleh gandaan 1 dB di mana nilai ini adalah kecil terutama pada bahan yang digunakan merupakan bahan telus. Apabila menggunakan antena telus, gandaan dan kecekapan menjadi rendah. Dalam kajian ini, reka bentuk antena telus dengan gandaan yang lebih tinggi akan dicadangkan untuk menangani masalah yang tersebut.

Antena tatasusun grid (Grid Array Antenna, GAA) mula diperkenalkan pada tahun 1964 oleh Kraus (1964), GAA adalah unsur sinaran pengutuban linear. Titik suapan terletak di tepi kiri atau kanan struktur antena. Apabila kekerapan berubah, arah alur berbeza-beza disebabkan oleh perubahan fasa dalam arus di sepanjang sel grid. Microstrip GAA adalah salah satu kaedah yang baik untuk digunakan untuk sistem komunikasi mudah alih 5G kerana keupayaannya untuk beroperasi pada jalur frekuensi tinggi

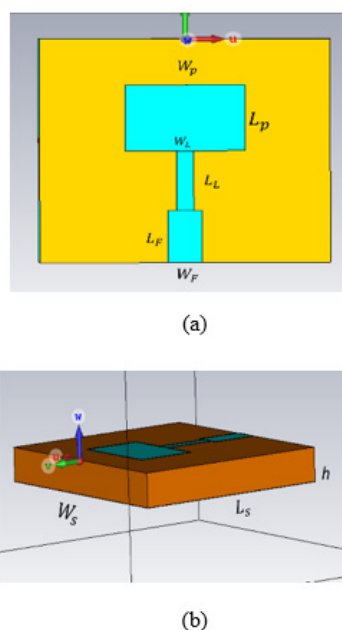
dan mempunyai ciri-ciri berganda yang tinggi (Ramli et al. 2016).

Sani Yahya & Rahim (2016) dalam kajiannya mengenai antena tatasusunan grid untuk sistem komunikasi mudah alih 5G menggunakan 16 gelung grid segi empat tepat dengan ketebalan kuprum 0.035 mm sebagai tampalan dan FR4 dengan ketebalan 1.6 mm telah dipilih sebagai substrat. Kajiannya menumpukan prestasi gandaan tinggi pada frekuensi 15 GHz dan membandingkan keputusan yang diukur dengan hasil simulasi. Hasil gandaan yang diperolehi ialah 12.7 dB dan kerugian pulangan (S11) sebanyak -40 dB. Kajian parametrik dijalankan pada panjang  $W_g$  dan lebar bahagian pendek  $W_s$  dan didapati ia memberi kesan kepada prestasi S11. Reka bentuk antena GAA dari Yong & Alayon Glazunov (2019) menggunakan *Amplitude Tapering* (AT) di bahagian pendek tatasusunan grid antena. Amplitud dikurangkan ke arah unsur memancar di pinggir GAA. Dimensi sisi pendek mengawal galangan unsur memancar di mana semakin kecil saiz elemen pemancar, semakin tinggi halangan unsur memancar dan sebaliknya. Pelbagai usaha telah dilakukan oleh para penyelidik untuk meningkatkan prestasi antena telus termasuk salutan jalur konduktif di kawasan terpilih, slot pada elemen memancar, penggunaan unsur parasit dan penggunaan sel grid berbilang.

Oleh itu, kajian ini adalah usaha untuk meningkatkan prestasi antena telus supaya antena ini boleh digunakan secara meluas pada masa akan datang. Kajian ini adalah untuk mengenal pasti kesan bahan telus kepada kekonduksian dan prestasi antena. Antena tatasusunan grid direkabentuk dengan kecekapan optimum dan prestasi gandaan yang tinggi. Bahagian pertama penyelidikan ini adalah reka bentuk pemerolehan antena rujukan telus pada frekuensi 14 GHz. Dimensi bahagian penyusunan antena ini digunakan untuk mereka bentuk GAA bagi meningkatkan gandaan.

mempunyai kekonduksian 125000 S/m. Manakala bahan untuk substrat adalah kaca dengan nilai malar dielektrik dan kerugian tangean masing-masing adalah 3.0214 dan 0.0054. Penentuan ini dibuktikan lagi dengan kaedah simulasi yang dijalankan untuk menentukan bahan untuk antena.

Pertama, reka bentuk antena rujukan disimulasi dengan perisian Teknologi Simulasi Komputer (CST). Reka bentuk antena rujukan bertujuan untuk mendapatkan dimensi suapan yang boleh beroperasi pada frekuensi 14 GHz. Dimensi suapan ini digunakan sebagai elemen utama dalam mereka bentuk antena GAA pada frekuensi yang sama. Reka bentuk antena yang dicadangkan adalah berbentuk segi empat tepat. Rajah 1 menunjukkan dimensi antena yang telah direka menggunakan perisian CST, manakala Jadual 1 menunjukkan parameter yang terlibat.



RAJAH 1. Rekabentuk antena rujukan (a) pandangan depan (b) pandangan sisi

JADUAL 1. Parameter antena rujukan

Parameter	Dimension
$W_p$	7.00 mm
$L_p$	4.42 mm
$W_L$	1.00 mm
$L_L$	4.00 mm
$W_F$	2.00 mm
$L_F$	3.50 mm
$W_s$	13 mm
$L_s$	13 mm
$h$	2.2 mm
Kehilangan tangean	0.0054
Pemalar dielektrik	3.0214 mm

METODOLOGI

REKA BENTUK ANTENA RUJUKAN

Perbandingan bahan dijalankan untuk mengenal pasti bahan yang sesuai digunakan dalam kajian ini. Pemilihan bahan dijalankan berdasarkan faktor kekonduksian bahan, kecekapan bahan dan gandaan yang diperolehi berdasarkan simulasi antena menggunakan bahan yang berbeza. Perbandingan bahan-bahan yang melibatkan bahan ITO, FTO dan AgHT melalui kajian literatur, bahan-bahan yang dikenal pasti untuk digunakan dalam kajian ini adalah ITO, ITO mempunyai kekonduksian 540541 S/m yang merupakan antara yang tertinggi di kalangan FTO yang mempunyai kekonduksian 167000 S/m dan AgHT

Model yang disimulasikan dalam CST akan melalui proses pengiraan dimensi terlebih dahulu mengikut frekuensi yang ditentukan, merujuk kepada Balanis (2005)

Pengiraan lebar tampalan antenna

$$W = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

Mana

$v_0$  = Kelajuan cahaya

$\epsilon_r$  = Pemalar dielektrik substrat

$f_r$  Kekerapan resonans

$h$  = Ketebalan substrat

Pengiraan pemalar dielektrik yang berkesan

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{1} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[ 1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-1/2} \quad (2)$$

Pengiraan panjang sambungan ( $\Delta L$ )

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 + \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left( \frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left( \frac{W}{h} + 0.8 \right)} \quad (3)$$

Pengiraan panjang berkesan

$$L_{efek} = \frac{v_0}{2f_0 \sqrt{\epsilon_{eff}}} \quad (4)$$

Pengiraan panjang sebenar ( $L$ )

$$L = L_{efek} - 2\Delta L \quad (5)$$

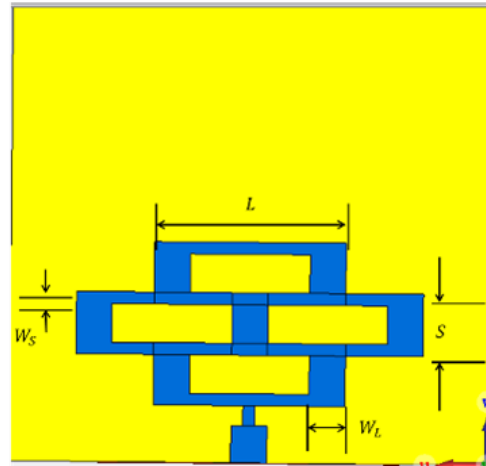
Pengiraan lebar Mikro jalur

$$w = \frac{7.48 \times h}{e^{\left( \frac{Z_0 \sqrt{\epsilon_r + 1.41}}{87} \right)}} - 1.25 \times t \quad (6)$$

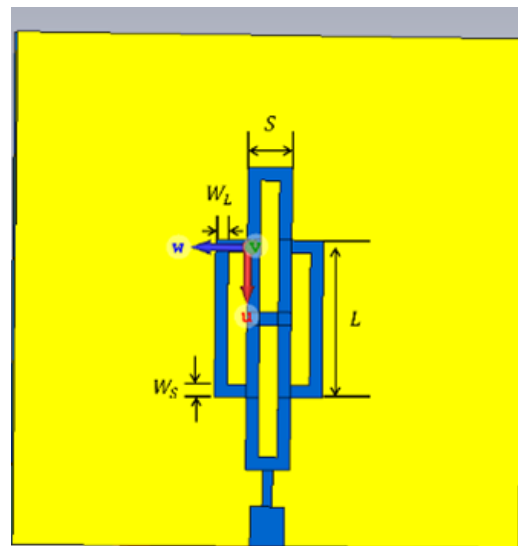
REKA BENTUK ANTENA TATASUSUNAN GRID

Selepas perbandingan bahan dilakukan, ITO telah dipilih untuk digunakan sebagai elemen pemancar serta satah

tanah. Seterusnya reka bentuk antenna tatasusunan dilakukan. Pada asasnya, antenna tatasusunan mempunyai bahagian sisi pendek yang memainkan peranan unsur pemancar dan bahagian panjang sebagai elemen penghantaran. Dimensi antenna tatasusunan bermula dengan susunan empat gelung. Untuk rekabentuk antenna, dimensi gelung sisi pendek adalah kira-kira separuh daripada panjang gelombang ( $s = \lambda_g / 2$ ) dan dimensi gelung sisi panjang adalah sama dengan panjang gelombang antenna ( $l = \lambda_g$ ). Reka bentuk antenna tatasusunan empat gelung ini terdiri daripada dua susunan, iaitu susunan mendatar dan susunan menegak. Perbandingan struktur susunan akan dilakukan untuk memilih pesanan yang memberikan gandaan tertinggi. Rajah 2 menunjukkan GAA susunan mendatar manakala Rajah 3 menunjukkan GAA susunan menegak. Jadual 2 menunjukkan parameter dimensi GAA bagi kedua-dua jenis susunan.



RAJAH 2. Tatasusunan grid mendatar GAA



RAJAH 3. Tatasusunan grid menegak GAA.

JADUAL 2. Parameter GAA tatasusunan mendatar dan menegak

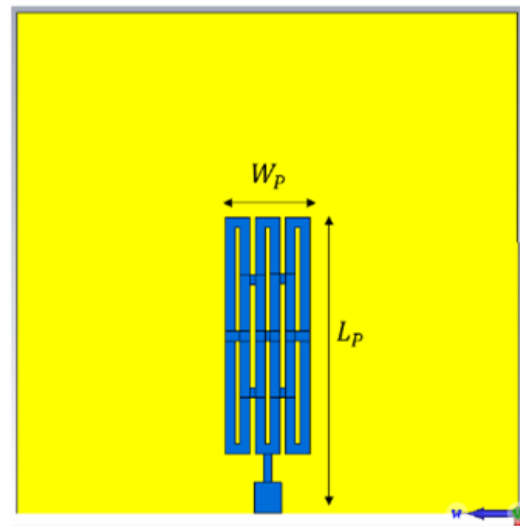
Parameter	GAA susunan mendatar (mm)	GAA susunan menegak (mm)
$W_s$	1.00	1.00
$W_L$	3.00	1.00
$L$	16.00	12.32
$S$	5.21	3.50
$W_F$	3.00	2.70
$L_F$	3.10	3.10
$W_{IL}$	1.00	0.80
$L_{IL}$	1.68	2.88

REKA BENTUK ANTENA TATASUSUNAN GRID 8 GELUNG

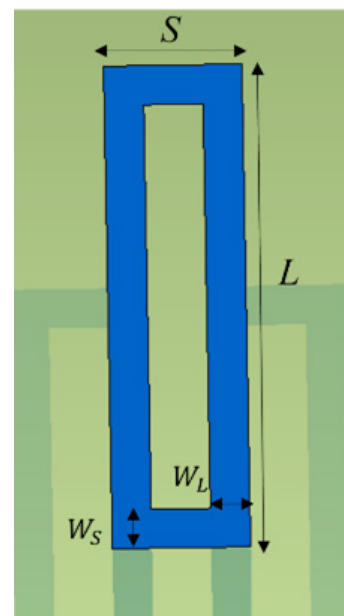
Pelarasan dimensi substrat dijalankan untuk menentukan dimensi substrat yang dapat mempengaruhi prestasi antenna. Kemudian pemilihan jenis susunan antenna dibuat di mana nilai gandaan yang tinggi diperolehi. Kawalan dimensi substrat ini dijalankan pada tujuh set saiz dimensi yang berbeza pada reka bentuk susunan menegak dan mendatar. Nilai frekuensi salunan, S11, gandaan dan kecekapan dianalisa. Selepas pelarasan dimensi substrat dilakukan, langkah seterusnya adalah melakukan pelarasan dimensi sisi pendek,  $S$ .

Kawalan dimensi sisi pendek ini dijalankan untuk menentukan dimensi yang mampu memberikan gandaan yang lebih tinggi. Pelarasan dimensi sisi pendek dijalankan pada kedua-dua susunan mendatar dan susunan menegak pada tujuh set saiz dimensi yang berbeza. Melalui penemuan dari kawalan dimensi substrat dan kawalan dimensi sisi pendek pada kedua-dua jenis susunan antenna tersebut, susunan yang terbaik dipilih berdasarkan hasil peningkatan nilai gandaan antenna. Penambahan gelung sangat memainkan peranan dalam peningkatan gandaan prestasi antenna. Oleh itu, reka bentuk antenna tatasusunan grid 8 gelung dicadangkan untuk kajian ini (Ali et al. 2019).

Rajah 4 menunjukkan susunan antenna tatasusunan grid 8 gelung manakala Rajah 5 menunjukkan dimensi antenna untuk satu gelung. Jadual 3 di bawah menunjukkan parameter dimensi antenna tatasusunan grid lapan gelung.



RAJAH 4. Rekabentuk antenna tatasusunan grid 8 gelung



RAJAH 5. Satu dimensi sel grid gelung  
JADUAL 3. Parameter bagi tatasusunan grid 8 gelung

Parameter	Dimension (mm)
$W_p$	8.50
$L_p$	29.52
$L$	12.32
$S$	3.50
$W_L$	1.00
$W_s$	1.00

## KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

## ANTENA RUJUKAN

Bahagian ini membincangkan mengenai prestasi antenna rujukan yang menggunakan bahan telus ITO, FTO dan AgHT. Jadual 4 menunjukkan prestasi antenna rujukan dengan menggunakan ITO, FTO dan AgHT. Parameter yang terlibat untuk pengukuran dalam jadual ini adalah kekonduksian, gandaan dan kecekapan.

JADUAL 4. Prestasi rujukan antenna pada bahan telus yang berbeza

Parameters	ITO	FTO	AgHT
Kekonduksian (S/m)	540541	167000	125000
Gandaan (dB)	4.82	4.73	4.71
Kecekapan (%)	83.8%	81.7%	81.2%

Gandaan yang dicatatkan bagi bahan telus ITO ialah 4.82 dB dan kecekapan ialah -0.77 dB sama dengan 83.8%. Keputusan gandaan yang diperoleh masih dianggap rendah.

Simulasi diulang menggunakan bahan FTO, ketebalan dan kekonduksian bahan yang digunakan ialah 0.0004 mm dan 167000 S/m.

Keputusan menunjukkan S11 bahan FTO, S11 simulasi ini ialah -40.39 dB. Hasil gandaan antenna menunjukkan bahawa bahan FTO memberikan gandaan sebanyak 4.732 dB dan kecekapan -0.8774 sama dengan 81.7%. Keputusan ini menunjukkan bahawa bahan FTO menyediakan gandaan 1.8% kurang daripada gandaan menggunakan bahan ITO. Hasil kecekapan juga menunjukkan kecekapan 2.4% kurang berbanding menggunakan bahan ITO.

Bagi AgHT, keputusan S11 ialah -39.22 dB. Hasil gandaan antenna menunjukkan bahawa AgHT memberikan gandaan sebanyak 4.707 dB dan kecekapan -0.9039 bersamaan dengan 81.2%. Keputusan ini menunjukkan bahawa bahan AgHT memberikan gandaan sebanyak 2.4% kurang daripada gandaan menggunakan bahan ITO. Hasil kecekapan juga menunjukkan kecekapan 3.0% kurang berbanding menggunakan bahan ITO.

Kawalan dimensi substrat dijalankan untuk tujuh set saiz dimensi berbeza pada reka bentuk susunan menegak dan mendatar. Jadual 6 menunjukkan kawalan dimensi substrat antenna susunan mendatar manakala Jadual 7 menunjukkan kawalan dimensi antenna susunan menegak.

JADUAL 6. Kawalan Dimensi Substrat untuk Tatasusunan Mendatar

Dimensi (mm)	Frekuensi (Ghz)	S11 (dB)	Gandaan(dB)	Kecekapan(%)
28 x 28	14.06	-13.776	4.699	63.4
30 x 30	14.00	-15.885	5.117	62.7
33 x 33	13.96	-14.799	5.183	60.8
35 x 35	13.98	-14.313	5.049	60.8
40 x 40	13.99	-16.942	6.552	61.5
45 x 45	13.99	-15.091	6.202	59.6
50 x 50	13.96	-16.241	6.477	60.4

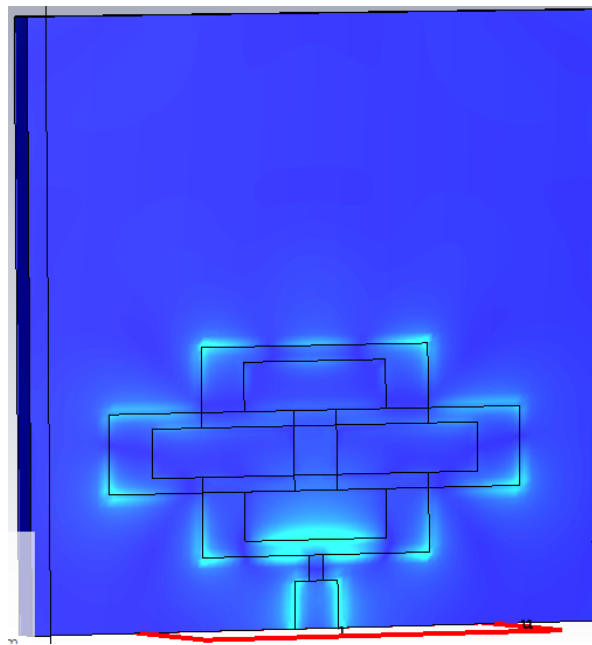
JADUAL 7. Kawalan Dimensi Substrat untuk Tatasusunan Menegak

Dimensi (mm)	Frekuensi (Ghz)	S11 (dB)	Gandaan(dB)	Kecekapan(%)
33 x 33	13.99	-22.384	6.657	52.8
37 x 37	14.05	-23.807	7.198	58.2
40 x 40	14.05	-32.217	7.569	56.5
45 x 45	14.02	-29.100	7.429	56.0
47 x 47	14.05	-30.832	6.426	55.1
50 x 50	14.02	-27.647	6.811	55.2
55 x 55	14.01	-23.761	6.308	55.4
33 x 33	13.99	-22.384	6.657	52.8

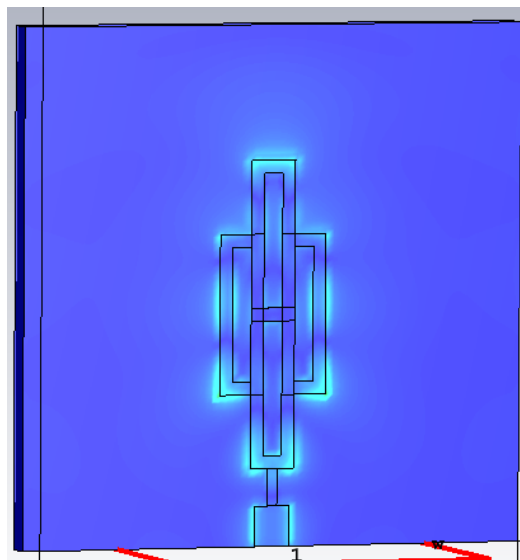
## KAJIAN PARAMETER DIMENSI SUBSTRAT

Untuk kajian parameter dimensi substrat, pelarasan dimensi substrat dijalankan untuk menentukan dimensi substrat yang mempengaruhi prestasi antenna terutama pada nilai gandaan antenna. Kedua-dua susunan reka bentuk menunjukkan bahawa dimensi 40 x 40 mm memberikan

gandaan yang tinggi. Namun antenna susunan menegak pada dimensi 40 x 40 mm memberikan gandaan yang tinggi berbanding antenna susunan melintang. Gandaan tertib melintang 40 x 40 mm ialah 6.552 dB manakala gandaan tertib menegak pada saiz 40 x 40 mm ialah 7.569 dB. Rajah 6 dan Rajah 7 menunjukkan pengagihan arus bagi kedua-dua jenis susunan menggunakan dimensi substrat yang bersaiz 40 x 40 mm.



RAJAH 6. Pengagihan arus pada susunan mendatar



RAJAH 7. Pengagihan arus pada susunan menegak

Merujuk pada Rajah 6, pengaliran arus lebih tinggi pada setiap bucu gelung susunan mendatar dan didapati

corak radiasi antenna susunan mendatar lebih tertumpu kepada sisi kiri dan kanan antenna seperti Rajah 8(a).

Manakala Rajah 7, penyebaran arus lebih tertumpu pada sisi pendek setiap gelung untuk susunan menegak dan Rajah 8(b) pula menghasilkan corak radiasi antenna susunan menegak lebih tertumpu dalam satu arah. Ini dapat menjelaskan mengapa susunan jenis ini memberikan gandaan yang lebih tinggi.

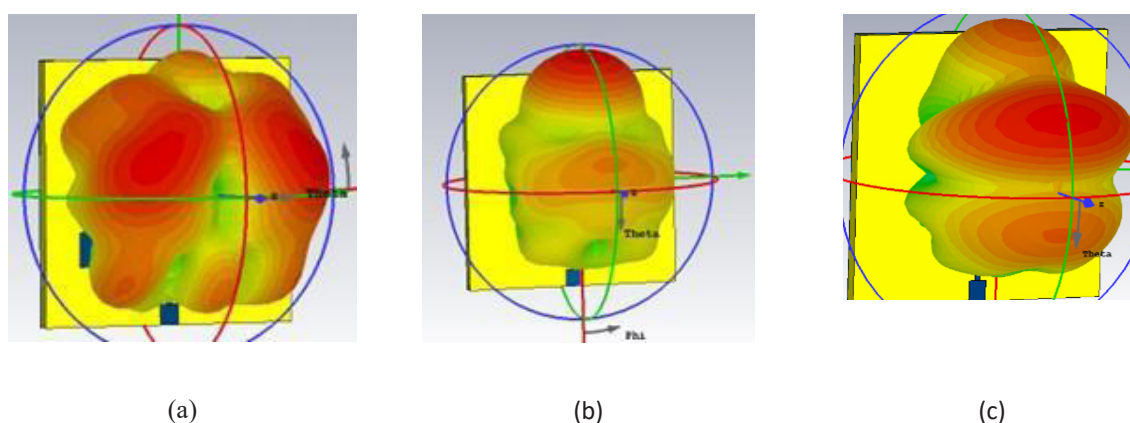
#### KAWALAN DIMENSI SISI PENDEK, S.

Jadual 8 menunjukkan kawalan sisi pendek yang dilakukan dalam susunan mendatar bermula saiz 5 mm sehingga 6.5 mm. Manakala Jadual 9 menunjukkan kawalan yang dilakukan pada susunan menegak pada pengukuran julat 26mm hingga 5mm. Prestasi antenna diukur dari segi frekuensi salunan, S11, gandaan dan kecekapan.

Berdasarkan jadual pelarasan sisi pendek antenna susunan mendatar, semakin banyak dimensi lengan pendek maka semakin kecil nilai frekuensi resonans. Dimensi sisi pendek pada 5.21 mm memberikan frekuensi resonan tepat

pada 14 GHz dan didapati bahawa dimensi ini juga memberikan gandaan tertinggi berbanding dimensi sisi pendek yang lain iaitu 6.55 dB. Jadual 8 menunjukkan kawalan lengan pendek untuk antenna susunan menegak menunjukkan bahawa semakin banyak nilai dimensi sisi pendek meningkat, semakin kecil juga nilai frekuensi resonan. Dimensi lengan pendek 3.5 mm memberikan gandaan tertinggi berbanding dimensi sisi pendek yang lain iaitu 7.62 dB. Dimensi ini juga beroperasi pada frekuensi resonan tepat 14 GHz.

Gandaan antenna masih tidak mencapai sasaran yang diperlukan, jadi peningkatan gelung diperlukan untuk meningkatkan gandaan antenna. Melalui penemuan dari kawalan dimensi substrat dan kawalan dimensi sisi pendek kedua-dua jenis susunan antenna, susunan menegak memberikan gandaan yang tinggi. Susunan menegak ini dipilih sebagai asas untuk meningkatkan lagi gandaan antenna dengan meningkatkan gelung.



RAJAH 8. Pola sinaran antenna (a) susunan mendatar.(b) susunan menegak (c) tatasusunan grid lapan gelung

JADUAL 8. Kawalan lengan pendek untuk susunan mendatar

Dimension (mm)	Frequency (GHz)	S11 (dB)	Gain (dB)	Efficiency (%)
5.00	14.25	-13.746	6.160	64.8
5.15	14.06	-15.765	6.508	62.8
5.18	14.04	-16.237	6.536	65.3
5.21	14.00	-16.733	6.548	61.7
5.50	13.69	-23.426	6.167	55.9
6.00	13.20	-26.428	5.942	50.3
6.50	12.76	-16.381	6.361	55.0

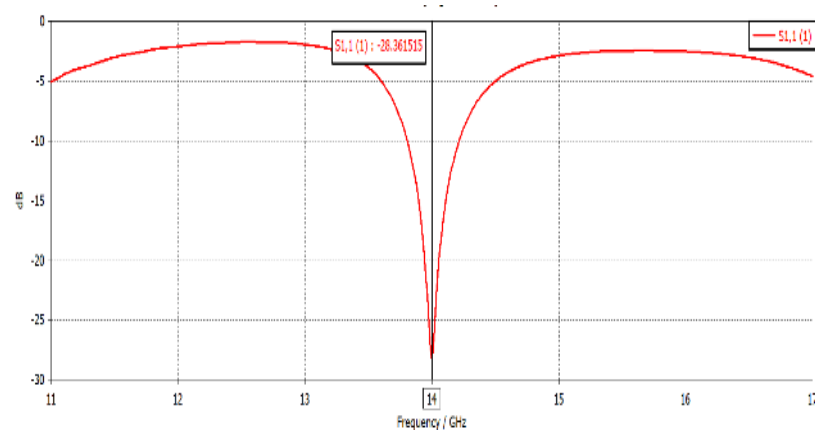


JADUAL 9. Kawalan lengan pendek untuk pengatur menegak

Dimension (mm)	Frequency (GHz)	S11 (dB)	Gain (dB)	Efficiency (%)
2.60	14.47	-13.224	6.592	58.12
3.00	14.25	-17.750	7.175	57.2
3.50	14.00	-42.901	7.624	56.3
3.80	13.87	-19.786	7.415	55.2
4.20	13.77	-13.244	4.356	51.4
4.60	13.68	-20.236	3.983	48.8
5.00	13.42	-27.724	4.897	48.8

## REKA BENTUK ANTENA TATASUSUNAN GRID 8 GELUNG

Prestasi antenna tatasusunan grid 8 gelung diukur bagi mencapai aplikasi jalur Ku. Berdasarkan analisa kawalan dimensi, pertambahan gelung diperlukan bagi meningkatkan prestasi antenna, dengan menggunakan dimensi yang sama seperti dimensi empat gelung menegak, antenna dapat berfungsi pada frekuensi salunan 14 GHz.



RAJAH 9. Keputusan S11 bagi antenna tatasusun lapan gelung

Merujuk kepada Rajah 9, keputusan kehilangan balikan antenna tersebut memberikan nilai -28.4 dB manakala gandaan antenna tatasusunan grid 8 gelung ialah 8.35 dB. Gandaan telah meningkat 52% daripada gandaan untuk antenna rujukan. Rajah 8(c) menunjukkan corak radiasi antenna, radiasi tidak tertumpu pada satu arah, tetapi corak radiasi kelihatan dekat antara satu sama lain. Ini menjelaskan tentang kecekapan antenna lebih rendah daripada kecekapan dalam antenna rujukan.

## KESIMPULAN

Berdasarkan tiga bahan memancar yang telah dikaji, penggunaan ITO memberikan gandaan yang lebih tinggi berbanding FTO dan AgHT. Dengan menggunakan dimensi yang sama dengan antenna rujukan untuk mereka bentuk antenna tatasusunan grid, masa yang diambil untuk membuat reka bentuk akhir antenna rujukan yang bergema pada 14 GHz boleh dikurangkan. Berdasarkan kajian yang telah

dijalankan, gandaan antenna tatasusunan grid telah meningkat 52% berbanding dengan antenna rujukan yang diperolehi. Gandaan antenna meningkat apabila terdapat peningkatan gelung antenna. Kesimpulannya, antenna tatasusunan grid terbukti boleh digunakan untuk meningkatkan gandaan antenna. Bagi penambahbaikan selanjutnya, dimensi reka bentuk antenna boleh diubahsuai untuk memastikan ia berfungsi dengan baik dalam sistem jalur lebar, manakala kecekapan antenna boleh ditingkatkan dengan mengubah suai dimensi atau kaedah port suapan untuk mencapai padanan impedans yang sesuai.

## PENGHARGAAN

Penulis merakamkan penghargaan kepada bantuan yang disediakan Universiti Kebangsaan Malaysia menerusi geran Dana Impak Perdana, DIP-2021-027.

Tiada.

## RUJUKAN

- Aktar, M.N., Shahin Uddin, M., Amin, M.R. & Ali, M.M. 2011. Enhanced Gain and Bandwidth of Patch Antenna Using EBG Substrates. *International Journal of Wireless & Mobile Networks* 3(1): 62–69.
- Ali, N.I.M., Misran, N. & Mansor, M.F. 2019. Design of transparent microstrip grid array antenna. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 15(2): 888–893.
- Asaadi, M., Afifi, I. & Sebak, A.R. 2018. High Gain and Wideband High Dense Dielectric Patch Antenna Using FSS Superstrate for Millimeter-Wave Applications. *IEEE Access* 6(c): 38243–38250.
- Azizi, S., Canale, L., Ahyoud, S., Zissis, G. & Asselman, A. 2020. Design of Transparent Antenna for 5G Wireless Applications. *Proceedings* 63(1): 54.
- Chen, Z.N., Liu, D., Nakano, H., Qing, X. & Zwick, T. 2016. Handbook of antenna technologies. *Handbook of Antenna Technologies* 1–4: 1–3473.
- Feng, P., Chen, X., Ren, X.-Y., Liu, C.-J. & Huang, K.-M. 2013. A Novel Microstrip Grid Array Antenna With Both High-Gain And Wideband Properties. *Progress In Electromagnetics Research C*, hlm.
- Geyi, W. 2010. Antenna Theory. *Foundations of Applied Electrodynamics*, hlm.
- El Gholb, Y., El Bakkali, M. & El Amrani El Idrissi, N. 2018. Wide-band circular antenna for 5G applications. *Proceedings of the 2018 International Conference on Optimization and Applications, ICOA 2018*: 1–4.
- Maliatsos, K., Marantis, L., Bithas, P.S. & Kanatas, A.G. 2020. Hybrid Multi-Antenna Techniques for V2X Communications—Prototyping and Experimentation. *Telecom* 1(2): 80–95.
- Paul, L.C., Pramanik, R.K., Ur Rashid, M.M., Sarker, S., Mahmud, M.Z. & Tariqul Islam, M. 2019. An ITO based high gain optically transparent wide band microstrip antenna for K band satellite communication. *1st International Conference on Robotics, Electrical and Signal Processing Techniques, ICREST 2019*(January 2019): 638–642.
- Prajapati, P.R. & Khant, S.B. 2018. Design of UWB monopole antenna with enhanced gain using partially reflective surface. *Advances in Intelligent Systems and Computing* 810: 65–72.
- Rabbani, M.S. & Ghafouri-Shiraz, H. 2016. Improvement of microstrip patch antenna gain and bandwidth at 60 GHz and X bands for wireless applications. *IET Microwaves, Antennas and Propagation* 10(11): 1167–1173.
- Ramli, M.R., Rahim, S.K.A., Idzam, M. & Samingan, M.L. 2016. Performance analysis of microstrip grid array antenna on different substrates for 5G mobile communication. *Journal of Telecommunication, Electronic and Computer Engineering* 8(6): 1–4.
- Sani Yahya, M. & Rahim, S.K.A. 2016. 15 GHz grid array antenna for 5G mobile communications system. *Microwave and Optical Technology Letters* 58(12): 2977–2980.
- Song, H.J., Hsu, T.Y., Sievenpiper, D.F., Hsu, H.P., Schaffner, J. & Yasan, E. 2008. A method for improving the efficiency of transparent film antennas. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters* 7: 753–756.
- Thampy, A.S. & Dhamodharan, S.K. 2015. Performance analysis and comparison of ITO- and FTO-based optically transparent terahertz U-shaped patch antennas. *Physica E: Low-Dimensional Systems and Nanostructures* 66: 52–58.
- Yong, W.Y. & Alayon Glazunov, A. 2019. High Gain, Wideband Grid Array Antenna for 28 GHz 5G Base Station. *13th European Conference on Antennas and Propagation, EuCAP 2019*(March).
- Balanis, C.A. 2005. *Antenna Theory Third Edition, Analysis And Design*. Canada: John Wiley & Sons.
- MSE Supplier LLC 2020. Material properties of Indium tin Oxide (ITO). <https://www.msosupplies.com/pages/material-properties-of-indium-tin-oxide-ito> [dicapai pada 10 Januari 2022]
- Standford Advance Materials 2020. An Introduction to Indium Tin Oxide (ITO). <https://www.sputtertargets.net/blog/an-introduction-to-ito-indium-tin-oxide.html> [dicapai pada 15 Januari 2022].