

## Litar Setara Dwi Jalur Antena Dwikutub Bersepadu untuk Aplikasi RFID (Equivalent Circuit of Dual-Band Dipole Integrated Antenna for RFID Application)

Norsuzlin Mohd Sahar<sup>a\*</sup>, Mohammad Tariqul Islam<sup>b</sup>, Norbahiah Misran<sup>b</sup> & Nur Hazliza Ariffin<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Space Science Centre, Institute of Climate Change, Universiti Kebangsaan Malaysia

<sup>b</sup>Department of Electrical Electronic and System Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, Universiti

Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi Malaysia

<sup>c</sup>School of Engineering, Monash University Malaysia, 47500 Subang Jaya, Selangor Malaysia

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

Received 22 June 2023, Received in revised form 20 December 2023

Accepted 23 January 2024, Available online 30 March 2024

### ABSTRAK

Kertas kerja ini membentangkan tentang antena dwi jalur dengan reka bentuk antena dwikutub asas yang disepadukan dengan struktur tampalan berbentuk C untuk aplikasi teknologi identifikasi frekuensi radio (RFID). Tampalan berbentuk C ini diilhamkan oleh antena tampalan berbentuk E yang mampu menghasilkan frekuensi berbilang jalur. Pada peringkat pertama, reka bentuk litar setara asas dibina iaitu galangan  $Z_0$  dan  $Z_1$  yang berfungsi sebagai antena dwikutub dalam menghasilkan jalur tunggal. Kemudian, litar selari perintang, pengaruh dan kapasitor (RLC) sebagai galangan  $Z_2$  disambung pada litar asas mewakili rekabentuk tampalan yang dimuatkan bagi mempengaruhi frekuensi salunan yang dikehendaki. Variasi  $C_1$  dan  $L_1$  pada galangan  $Z_1$  memberi kesan jurang antara dua frekuensi resonans tanpa mengubah lebar jalur dengan mengalihkan frekuensi yang lebih rendah. Selain itu, variasi  $C_2$  dan  $L_2$  pada galangan  $Z_2$  pula mempengaruhi nisbah antara dua frekuensi resonans tetapi kedua-dua frekuensi dialihkan dan lebar jalur berubah. Oleh itu, hasil keputusan dwi jalur dibentangkan iaitu 0.915 GHz untuk aplikasi UHF RFID dan 2.4 GHz untuk aplikasi ISM RFID dengan mengubah nilai komponen perintang, pengaruh dan kapasitor. Data dari simulasi elektromagnet dibandingkan dengan data yang diramalkan oleh pemodelan litar antena. Data pengukuran sampel frekuensi pula dilaporkan dalam bentuk S-parameter bagi mewakili data simulator domain masa dalam perisian P-SPICE. Reka bentuk tampalan berbentuk C boleh dikawal secara bebas untuk mendapatkan nilai jalur bawah dan jalur atas dengan melaraskan lebar dan panjang tampalan tersebut. Prestasi antena yang dicadangkan ini menunjukkan bahawa antena dwi jalur untuk aplikasi RFID terhasil dengan baik di mana hasil dapatan antara yang diukur dan disimulasikan adalah hampir sama.

Kata kunci: Antena dwikutub; dwi jalur; UHF RFID; ISM RFID

### ABSTRACT

This paper presents dual band antenna by designing basic dipole antenna integrated with C-shaped patches structure for RFID applications. This C-shaped patch is inspired by E-shapes patch antenna that able to perform multiband frequency. The design of the equivalent circuit started with the fundamental circuit of impedance  $Z_0$  and  $Z_1$  which functioned as a dipole antenna in single band. The parallel RLC circuit of impedance  $Z_2$  is added in the circuit as loaded patch has affected the resonating frequency. Variations of  $C_1$  and  $L_1$  on impedance  $Z_1$  effect a gap between the two resonance frequencies without changing the bandwidth by shifting the lower frequency. In addition, the variation of  $C_2$  and  $L_2$  on the impedance  $Z_2$  also affects the ratio between the two resonance frequencies but both frequencies are shifted and the bandwidth changes. Consequently, the dual band is presented at 0.915 GHz (UHF RFID) and 2.4 GHz (ISM RFID) by calculating the value of the resistance, inductance and capacitance. The data from electromagnetic simulation are compared with the data predicted by the antenna circuit modeling. The frequency sampled measurement data may

*be represented in the form of S-parameter in order to represent dependent data in a time domain simulator in P-SPICE software. The C-shaped design can be independently controlled to perform lower band and upper band by adjusting the width and length of the patch. The performance of the proposed antenna demonstrates the dual band antenna for RFID application with good agreements between measured and simulated results.*

*Keywords: Bipolar antenna; dual band; UHF RFID; ISM RFID*

## PENGENALAN

Teknologi identifikasi frekuensi radio (RFID) banyak digunakan dalam industri dan aplikasi komersial untuk mengenal pasti dan mengesan objek dengan menggunakan medan elektromagnet. Antena RFID ini beroperasi dalam jalur frekuensi yang berbeza untuk aplikasi yang berbeza seperti frekuensi rendah (LF), frekuensi ultra tinggi (UHF), industri saintifik dan perubatan (ISM) dan gelombang mikro. Oleh kerana peraturan gelombang radio frekuensi berbeza di seluruh dunia, tidak semua jalur radio tersedia boleh beroperasi di semua negara. Setiap negara boleh menetapkan peruntukan frekuensi salunan sendiri. Sebagai contoh, dalam aplikasi UHF- RFID, Eropah beroperasi pada julat 855-869 MHz, Amerika Syarikat pada julat 902-928 MHz dan Jepun beroperasi pada julat 950-928 MHz (Chung & Berhe 2021). Oleh itu, perkembangan kajian antena berbilang jalur boleh diatasi untuk menghasilkan julat frekuensi yang pelbagai. Akibatnya, ramai penyelidik telah menjalankan kajian dari segi reka bentuk antena berbilang jalur dengan mengubah suai pengedaran arus elektrik pada permukaan antena, struktur fizikal, rangkaian suapan atau antena pemancar bahagian tepi dan melibatkan bahan meta (Najumunnisa et al. 2022) (Mansour et al. 2020) (Ojaroudi et al. 2019).

Pada masa ini, pembangunan antena jalur UHF dan ISM RFID telah menarik perhatian yang tinggi terutama dalam memenuhi kognisi dan keperluan pengenalan dengan kadar pemindahan data yang lebih tinggi yang bercirikan struktur yang ringkas, mudah alih (Bajaj et al. 2020) dan pemprosesan yang mudah termasuklah dalam pengurangan kehilangan pengutuban (Xu et al. 2023). Sistem julat bacaan RFID yang lebih jauh jarak melebihi daripada 10m di antara pembaca dan tag (Garg et al. 2023) manakala gandaan yang lebih tinggi (Xu et al. 2021) dapat meningkatkan kebolehpercayaan dalam sistem RFID. Banyak teknik telah dicadangkan dalam membentangkan frekuensi dwijalur RFID. Dalam (Sarkar et al. 2020), antena dwi jalur diperolehi dengan memperkenalkan slot berserenjang terukir pada tampalan bulat untuk menurunkan salunan pertama dan empat celah diukir pada satah tanah untuk meningkatkan nisbah paksi. Pengubahsuaian struktur antena juga telah dicadangkan oleh (Parchin et al. 2019). Radiator berbentuk F ditampal pada papan dielektrik FR-4 dengan saiz keseluruhan  $38 \times 45 \times 1.6 \text{ mm}^3$  telah dikaji

untuk melaksanakan dwijalur RFID. Konfigurasi slot dan resonator cincin berpecah (SRR) telah diperkenalkan oleh (Ennajin et al. 2018). Antena yang direka terdiri daripada tampalan segi empat tepat dan slot berbentuk U ditampal pada bahagian depan dan dua sel unit bahan meta yang dibentuk oleh (SRR) diletakkan di bahagian berlawanan tampalan bagi menyelaraskan frekuensi dwi jalur. Penempatan unsur pemancar mempengaruhi ciri-ciri salunan. Dalam (Liu et al 2015), dua tompok sepusat bertindan yang dipasang dalam dua kuar menegak yang diletakkan secara ortogonal dicadangkan untuk menyediakan frekuensi salunan jalur rendah dan jalur atas. Prestasi antena yang dicadangkan telah disahkan oleh corak elemen terpancar yang berbeza dan terdiri daripada tiga lapisan substrat. Sebaliknya, integrasi dua teknik reka bentuk yang berbeza dapat mengawal jalur frekuensi jalur rendah dan atas secara berasingan (Mun et al 2015). Dua elemen antena planar simetri terbalik-F (PIFA) telah direka untuk menentukan jalur UHF dan antena tampalan mikrostrip yang berliku-liku telah diperkenalkan untuk jalur Gelombang Mikro aktif. Integrasi antena yang dicadangkan ini diberi suapan oleh gelung gandingan induktif.

Selain itu, beberapa jenis antena yang mungkin boleh digunakan untuk menghasilkan sistem RFID dwi jalur seperti konfigurasi antena dwikutub. Oleh kerana corak isotropik diperlukan terutamanya dalam mereka bentuk peranti mudah alih RFID, antena dwikutub dipilih kerana profil yang rendah dan mudah difabrikasi. Ke kerap operasi yang dikehendaki ditentukan dengan mengira panjang lengan antena dwikutub. Dalam analisis semasa, hujung lengan antena dwikutub terbuka litar untuk arus yang didorong ke dalam antena dwikutub dan kapasitance parasit diperlukan jika dua lengan antena dwikutub ditutup gelung (Thiele & Stutzman 2013). Pembesaran litar fizikal telah dilaksanakan untuk merealisasikan litar bersamaan dwi jalur antena (Liu et al. 2018). Pembesaran ini melibatkan mekanisme jalur dwi di mana setiap litar resonans jalur bawah dan atas mewakili mod radiasi dan boleh dikaitkan dengan parameter susun atur litar setara antena.

Dalam kertas kerja Azeez (2019), pendekatan imbuhan fizikal digunakan untuk mengekstrak litar bersamaan antena dwi jalur. Konfigurasi tampalan berbentuk C disepadukan dengan panjang lengan antena dwikutub di mana pengedaran semasa adalah sama seperti antena

tampalan berbentuk E di tengah suapan. Untuk memenuhi keperluan dwijalur aplikasi RFID, kajian parametrik dilakukan untuk mengoptimalkan reka bentuk antenna. Ciri-ciri litar setara tambahan disiasat termasuk litar antenna dwikutub asas dan litar struktur berbentuk C. Parameter penting yang mempengaruhi prestasi antenna juga disiasat.

## KAEDAH REKA BENTUK

Struktur dimensi panjang lengan antenna dwikutub boleh menentukan frekuensi salunan. Ia terbukti di mana frekuensi salunan menunjukkan penurunan disebabkan oleh pengagihan aliran arus sepanjang laluan geometri yang lebih panjang. Pelenturan pada panjang dwikutub antenna juga menghasilkan serakan jalur silang yang rendah (Liu et al. 2022). Kekuatan aliran arus ini diagihkan di sepanjang lengan antenna dwikutub. Oleh itu, perubahan aliran arusan akan berlaku apabila mana-mana elemen terpancar ditampal pada atas atau sisi panjang lengan antenna dwikutub.

## MODEL LITAR SETARA

Pada bahagian ini, litar bersamaan dwi frekuensi salunan untuk sistem RFID dicadangkan. Kaedah ini dimulakan dengan membina imbuan litar setara awal sebagai antenna dwikutub. Data imbuan yang diperlukan dikira dari data simulasi dan analisis rangkaian litar setara. Litar setara  $Z_{in}$ , galangan input antenna dwikutub yang diberi suapan tengah adalah fungsi frekuensi  $f$ , (frekuensi radian,  $\omega = 2\pi f$ ) atau panjang keseluruhan  $2h$  berbanding dengan panjang gelombang ( $2h/\lambda$ ) untuk menentukan kecekapan antenna. Galangan input terdiri daripada bahagian sebenar dan khayalan seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (1) dan (2).

$$Z_{in} = R_{in} + jX_{in}, \quad (1)$$

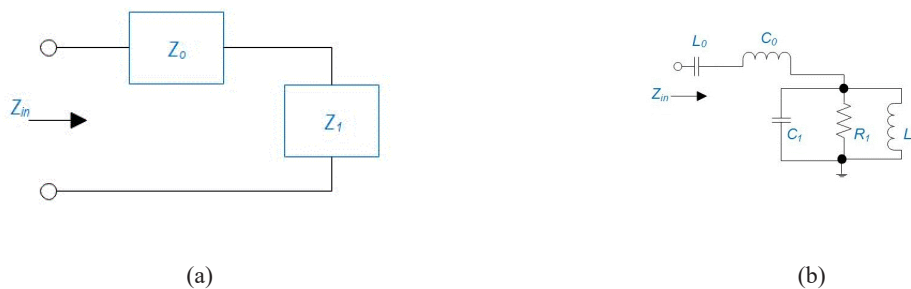
$$= z_o + z_1, \quad (2)$$

$R_{in}$  ialah rintangan input mewakili pelepasan dalam dua cara. Pertama, kuasa yang meninggalkan antenna dan tidak pernah kembali. Kedua, kerugian Ohm yang berkaitan dengan pemanasan pada struktur antenna. Sementara itu,  $X_{in}$  adalah tindak balas input mewakili kuasa yang disimpan di medan berhampiran antenna. Litar bersamaan salunan tunggal ditunjukkan dalam Rajah 1.

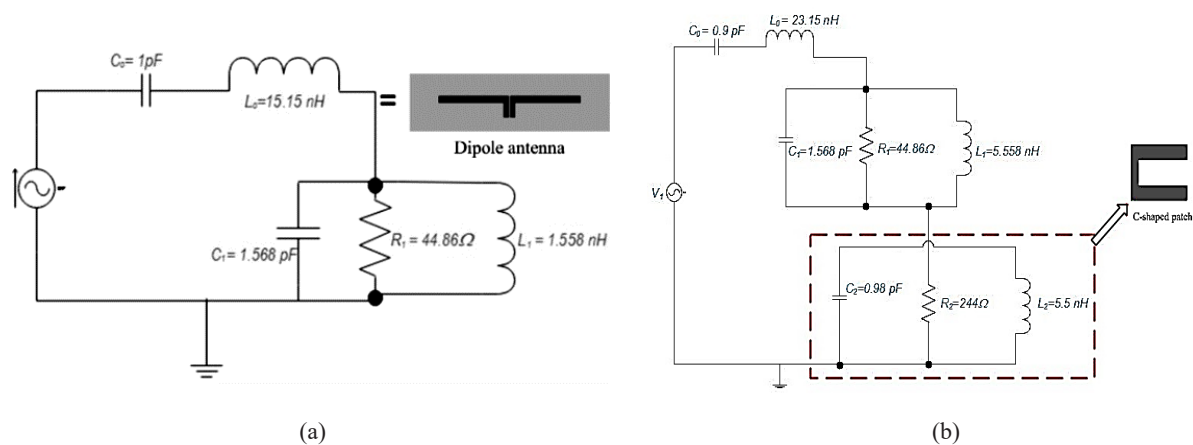
Dalam menentukan frekuensi salunan, nilai kapasitor dapat dilaraskan dalam galangan tidak sepadan dalam setiap reka bentuk antenna (Koc Polat et al. 2020). Penentuan nilai komponen litar adalah berdasarkan data yang disimulasi. Litar setara bagi antenna dwikutub salunan tunggal adalah dalam bentuk litar bersiri,  $L_n$  dan  $C_n$  (Hamid & Hamid, 1997) seperti yang dipaparkan dalam persamaan (3):

$$f_{res} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_n C_n}}, \quad (3)$$

Litar bersiri salunan tunggal ini dapat menyelaras litar analog daripada titik suapan manakala litar selari berkait rapat dengan konfigurasi panjang dan lebar dwikutub antenna asas dengan menentukan nilai galangan masukan litar. Nilai komponen rintangan,  $R$  menghasilkan nilai maksimum pada bahagian nyata dan lebar jalur pula dipengaruhi oleh nisbah litar  $CL$  selari (Tuovinen & Berg 2014). Dengan menggunakan simulasi Pspice, litar bersamaan antenna dwikutub direka seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1(b). Pengoptimuman nilai komponen boleh diperolehi sebagai  $C_o = 1$  pF,  $L_o = 15.15$  nH,  $R_1 = 44.86$   $\Omega$ ,  $L_1 = 1.558$  nH dan  $C_1 = 1.568$  pF. Didapati bahawa nilai  $Z_o$  pada litar setara telah menjejaskan frekuensi salunan dan lebar jalur tunggal.



RAJAH 1. Litar setara dengan gambar rajah blok tunggal (a) gambar rajah litar skematik (b)



RAJAH 2. (a) Litar antenna dwikutub yang setara. (b) Litar setara antenna dwikutub dimuatkan dengan antenna tompok berbentuk C

Oleh kerana hasil yang diperoleh melalui antenna dwikutub salunan tunggal, litar  $RLC$  selari telah mempengaruhi kekerapan bergema. Oleh itu, litar setara antenna dwikutub yang dimuatkan dengan tampalan berbentuk C dilaksanakan dengan menambah satu lagi litar  $RLC$  selari yang diwakili sebagai  $Z_2$  seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2(b).  $R_1$  dan  $R_2$  telah mewakili bahagian sebenar jalur bawah dan untuk jalur atas galangan, masing-masing. Variasi  $C_1$  dan  $L_1$  pula memberi kesan jurang antara dua frekuensi resonans tanpa mengubah lebar jalur dengan mengalihkan frekuensi yang lebih rendah. Selain itu, variasi  $C_2$  dan  $L_2$  juga mempengaruhi nisbah antara dua frekuensi resonans tetapi kedua-dua frekuensi dialihkan dan lebar jalur berubah. Nilai komponen yang dioptimumkan boleh diperolehi sebagai  $C_o = 0.9$  pF,  $L_o = 23.15$  nH,  $R_1 = 44.86$   $\Omega$ ,  $L_1 = 5.558$  nH,  $C_1 = 1.568$  pF,  $R_2 = 244$   $\Omega$ ,  $L_2 = 5.5$  nH dan  $C_2 = 0.98$  pF.

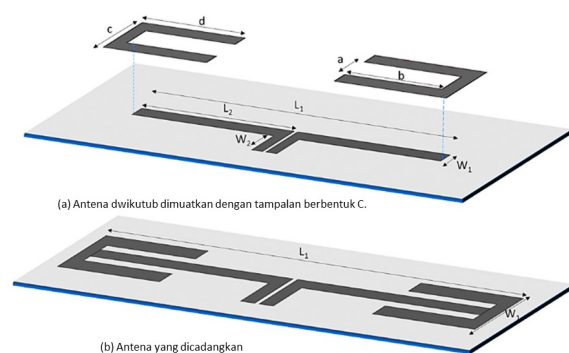
### GEOMETRI ANTENA TAMPALAN BERBENTUK C

Struktur geometri antenna yang dicadangkan adalah seperti dalam gambarajah Rajah 3. Berdasarkan (Sahar et al. 2015), antenna dwikutub asas direka dengan frekuensi salunan pada 1.23 GHz. Bahan substrat papan Fire Retardan4 (FR4) digunakan untuk reka bentuk dengan pemalar dielektrik 4.3 dan kehilangan tangen 0.025. Dua lengan antenna dwikutub simetri dicetak dengan jarak 1mm pada sisi yang sama dengan panjang dan lebar lengan antenna dwikutub ditakrifkan sebagai  $L_2$  dan  $W_2$ , masing-masing. Suapan langsung sepaksi 50-ohm disambungkan pada salah satu lengan antenna dwikutub dan yang lain disambungkan ke tanah. Kemudian, tampalan berbentuk

C disepadukan dengan antenna dwikutub 1.23 GHz di sisi panjang antenna dwikutub seperti yang direka dalam Rajah 3(b) untuk melakukan antenna dwi jalur.

Dimensi berbentuk C telah diperkenalkan dengan tampalan segi empat tepat ( $c \times d$ ) mm<sup>2</sup> dan slot tampalan ( $a \times b$ ) mm<sup>2</sup>. Kesan parameter yang berbeza-beza  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$  patch berbentuk C telah menghasilkan frekuensi dwijalur. Jalur bawah telah terjejas disebabkan penambahan panjang antenna dwikutub,  $L_2$  yang diintegrasikan dengan tampalan segi empat tepat. Arus yang lebih besar telah mengalir sepanjang panjang antenna dwikutub  $L_2$ , panjang  $c$  dan lebar  $d$  untuk menghasilkan frekuensi salunan pada 0.915GHz. Daripada analisis seperti yang ditunjukkan dalam

Kemudian, frekuensi salunan atas telah terhasil apabila dimensi slot ( $a \times b$ ) mm<sup>2</sup> diselaraskan. Taburan semasa di sepanjang lengkung struktur berbentuk C menyebabkan prestasi frekuensi salunan dan lebar jalur. Panjang  $b$  mempengaruhi prestasi jalur bawah. Dengan mengubah nilai  $b$  daripada 13 mm hingga 19 mm dan mengekalkan nilai  $a = 9$  mm,  $c = 19$  mm dan  $d = 22$  mm, frekuensi salunan beralih ke kanan. Pengoptimuman dimensi antenna telah dilakukan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 1.



RAJAH 3. Geometri antenna dwikutub disepadukan dengan tampalan berbentuk C

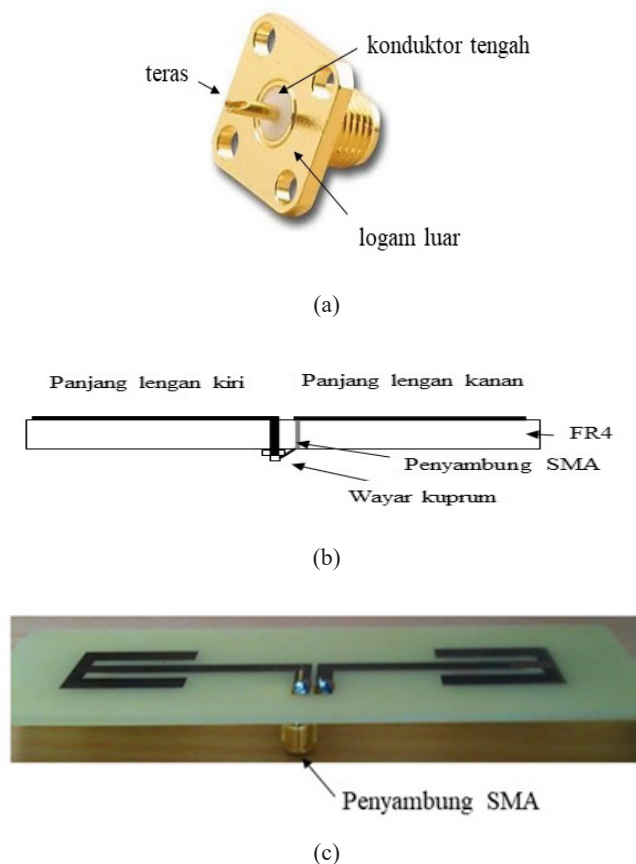
JADUAL 1. Parameter antenna yang optimum untuk aplikasi RFID iaitu 915 MHz dan 2.4GHz

Parameter	Nilai(mm)	Parameter	Nilai(mm)
$L$	120	$W_2$	11
$W$	45	$a$	9
$L_1$	90	$b$	19
$W_1$	4	$c$	19
$L_2$	41.5	$d$	22
$L_3$	3		

## PENGUKURAN ANTENA DWIKUTUB

Seterusnya bagi mengukur pekali pantulan iaitu nilai S11, penyambung sepaksi SMA dengan impedans 50  $\Omega$  dipateri pada papan prototaip seperti Rajah 4. Konduktor tengah penyambung SMA telah dipateri ke lengan kiri antenna

dwikutub dan logam luar disambungkan ke lengan kanan antenna dwikutub. Selepas pematerian, multimeter digunakan untuk memeriksa penyambungan konduktor tengah dengan lengan kiri. Manakala perisai luar penyambung SMA dan panjang lengan kanan antenna dwikutub.



RAJAH 4. Penyambungan SMA dengan antenna dwikutub (a) penyambung sepaksi SMA (b) pandangan tepi pemasangan penyuaip (c) prototaip antenna dwikutub

Penganalisis rangkaian vektor (VNA) digambarkan pada Rajah 5 merupakan instrumen yang digunakan dalam kajian ini untuk menganalisis sifat rangkaian elektrik, terutamanya bagi sifat yang berkaitan dengan pantulan

dan penghantaran isyarat elektrik. VNA digunakan kebanyakannya dalam sistem ujian yang membolehkan prestasi RF frekuensi radio dan peranti gelombang mikro dicirikan dari segi parameter serakan rangkaian atau



parameter S11. VNA siri PNA Agilent yang ditunjukkan dalam Rajah xx dilengkapi dengan dua port pengukuran dan julat frekuensi pengukuran adalah dari 50 MHz hingga 20 GHz dapat mengukur frekuensi resonan.



Rajah 5. Penganalisis rangkaian vektor (VNA)

Parameter taburan seperti kehilangan pulangan, atau S11 boleh diukur dengan menyambungkan antenna fabrikasi ke port 1 penganalisis rangkaian melalui kabel separa tegar. Data yang diukur boleh dicetak dan disimpan dalam bentuk grafik dan format ujian untuk tujuan analisis. Penentuan sebelum pengukuran diperlukan untuk pengukuran bebas ralat.

## ANALISA & PERBINCANGAN

### ANALISIS MODEL LITAR SETARA

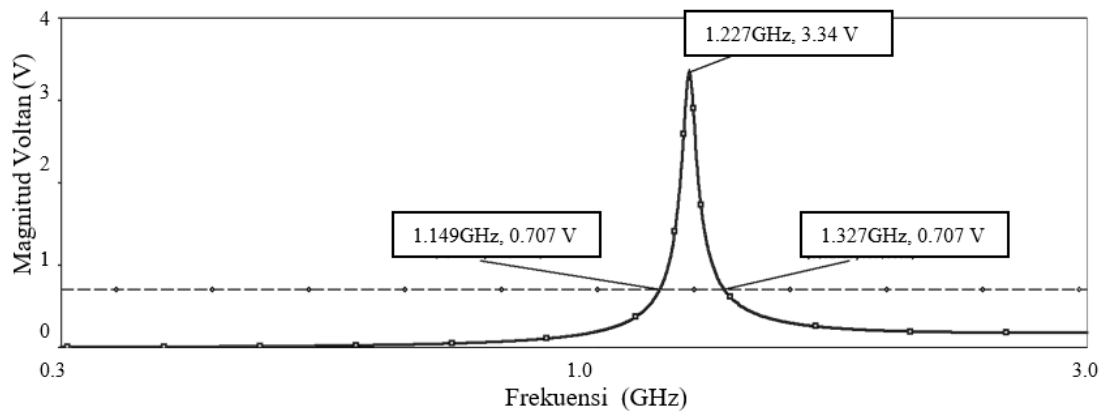
Nilai komponen yang optimum dianalisa bagi mencari nilai yang sesuai antara dimensi fizikal dan model litar. Oleh itu, frekuensi disapu daripada 10 MHz hingga 10

GHz selama beberapa dekad dengan 1000 mata setiap dekad. Graf magnitud dan fasa voltan keluaran dalam Rajah 6 menunjukkan penilaian frekuensi salunan dan lebar jalur. Akibatnya, antenna dwikutub salunan tunggal dihasilkan dan kekerapan resonans lengkung mewakili pada 1.23 GHz. Garis voltan maksimum 0.707 V diplotkan dan litar lebar jalur dihasilkan pada 178 MHz.

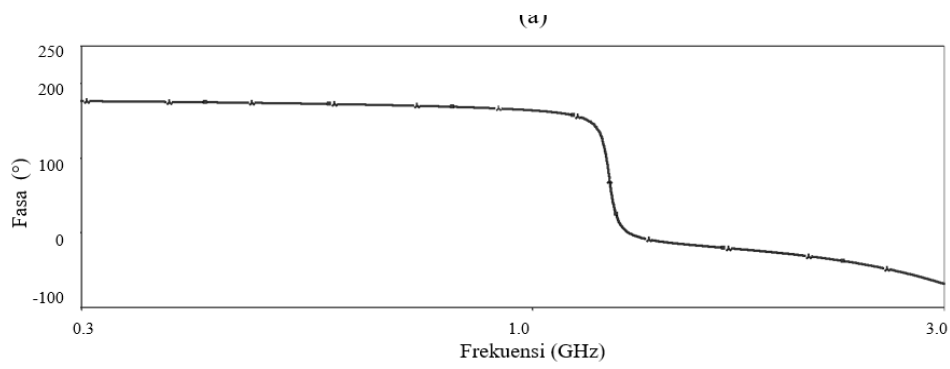
Di samping itu, rintangan dan tindak balas galangan masukan diperhatikan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7. Nisbah voltan dan arus masukan telah dinilai untuk memerhatikan magnitud galangan dan khayalan ke atas julat frekuensi yang dikehendaki. Bahagian sebenar galangan pada 1.23 GHz menunjuk sekitar 50 Ω dan bahagian khayalan adalah sifar. Ini dapat disimpulkan bahawa frekuensi salunan berlaku pada titik persepadanan.

Seperti yang digambarkan dalam Rajah 8, dwijalur frekuensi salunan dihasilkan pada 0.915 GHz dan 2.4 GHz daripada pemodelan litar setara (Pspice). Graf telah menunjukkan bahagian sebenar dan fasa voltan keluaran. Litar lebar jalur puncak pertama dipersembahkan dari 822 MHz hingga 1.05 GHz dan litar lebar jalur puncak kedua dihasilkan daripada 2.21 GHz hingga 2.62 GHz. Di samping itu, bahagian sebenar galangan masukan telah menunjukkan rintangan pada 0.915 GHz ialah 426.2 Ω dan 544.2 Ω. Halangan masukan pada bahagian khayalan melintasi jalur bawah dan nilai negatif pada jalur atas seperti yang digambarkan dalam Rajah 9.

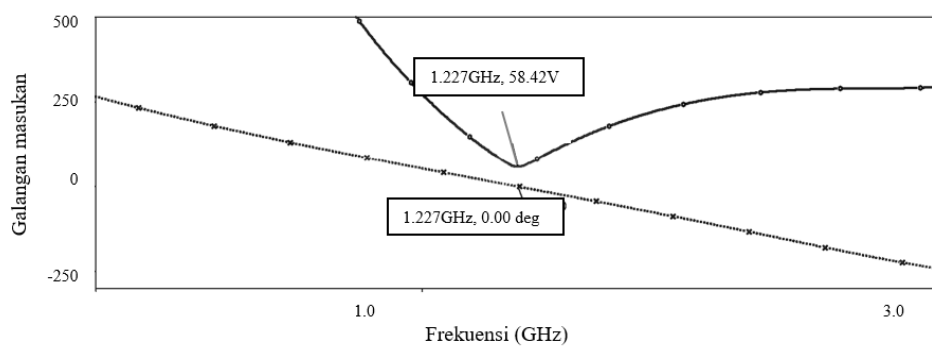
Berdasarkan Jadual 2, lebar jalur yang dilakukan oleh model litar yang setara adalah lebih luas berbanding dengan nilai simulasi dan diukur untuk jalur bawah dan atas. Dalam reka bentuk rangkaian yang sepadan dengan jalur suapan juga mungkin termasuk parameter lain seperti kekonduksian permukaan, dimensi jurang suapan dan galangan input pengujaan antenna adalah galangan yang dibentangkan oleh antenna di terminalnya. Ia akan dipengaruhi oleh antenna atau objek lain yang berdekatan.



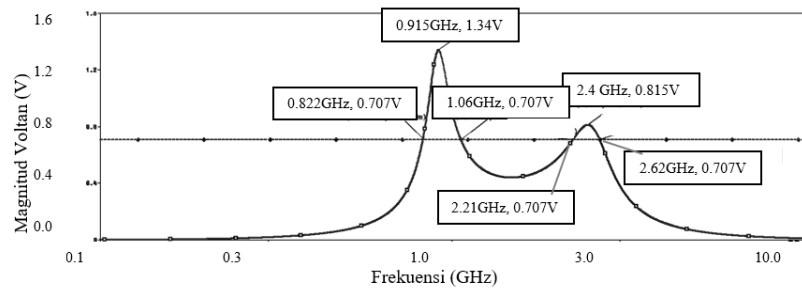
(a)



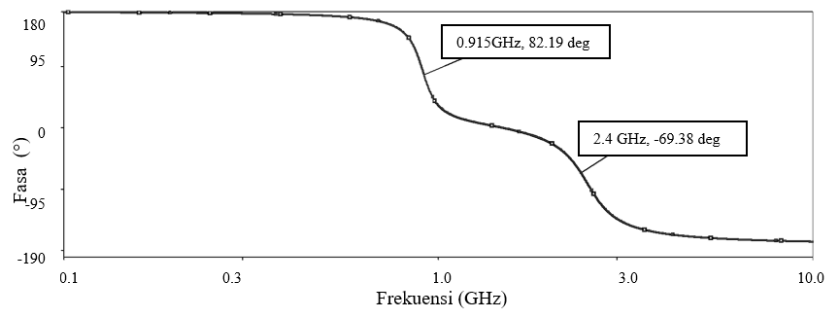
RAJAH 6. (a) Voltan keluaran lawan frekuensi (b) Fasa voltan keluaran lawan frekuensi



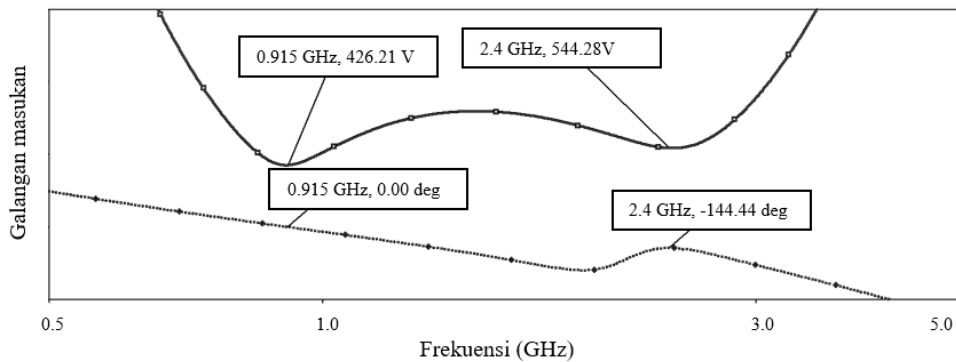
RAJAH 7. Galangan masukan lawan frekuensi



(a)



RAJAH 8. (a) Magnitud voltan keluaran lawan frekuensi (b) Fasa voltan output lawan frekuensi



RAJAH 9. Galangan masukan lawan frekuensi

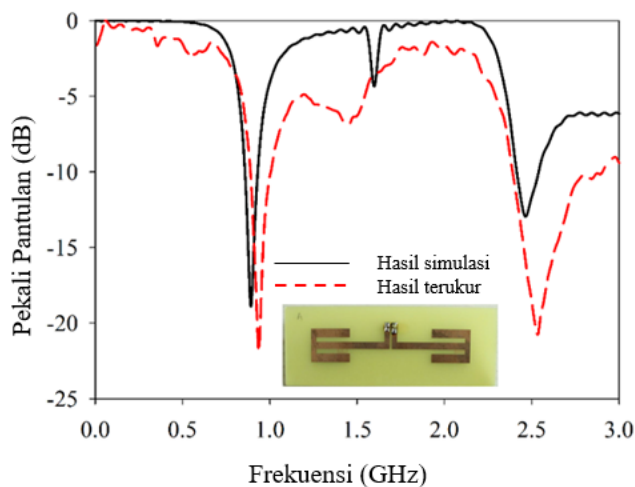
JADUAL 2. Hasil Perbandingan

Antena yang dicadangkan	Jalur bawah		Jalur atas	
	Frekuensi (GHz)	Jalur lebar (GHz)	Frekuensi (GHz)	Jalur lebar (MHz)
Hasil simulasi	0.915	0.86–0.93	2.45	2.41–2.54
Hasil terukur	0.93	0.89–1.00	2.52	2.37–2.58
Model litar setara	0.915	0.82-1.06	2.4	2.21-2.62

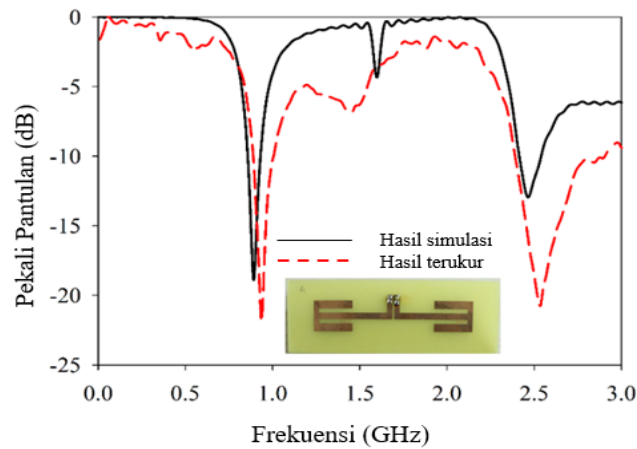
ANTENA DWI JALUR

Keputusan graf pekali pantulan antena dwi jalur yang dicadangkan adalah seperti yang dipaparkan dalam Rajah 10. Jalur bawah pekali pantulan yang diukur tersalun pada frekuensi 0.915 GHz dengan kehilangan pulangan -18.89 dB. Peratusan perbezaan antara kekerapan salunan simulasi dan diukur ialah 4.8%. Di samping itu, pekali pantulan yang diukur adalah lebih baik daripada data simulasi seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10. Perbezaan antara hasil simulasi dan ukuran berlaku disebabkan oleh ketidaksempurnaan semasa fabrikasi prototaip dan

sambungan elemen suapan pada prototaip fizikal. Untuk jalur atas, frekuensi salunan antena yang dicadangkan ialah 2.52 GHz dengan kehilangan pulangan sebanyak -20 dB. Jalur lebar untuk jalur bawah dan atas masing-masing adalah 113 MHz dan 206 MHz. Berbanding dengan lebar jalur simulasi, jalur lebar pada dwi jalur antena yang diukur lebih besar dengan peratusan sebanyak 38% dan 36.8%. Frekuensi yang dikehendaki mestilah memenuhi kehilangan kehilangan di bawah -15 dB dan bercirikan lebar jalur yang sempit. Ia berfungsi untuk meminimumkan gangguan pada isyarat frekuensi. Nilai gandaan pada jalur rendah ialah 1.92 dBi dan nilai keterarahan ialah 1.97 dB.



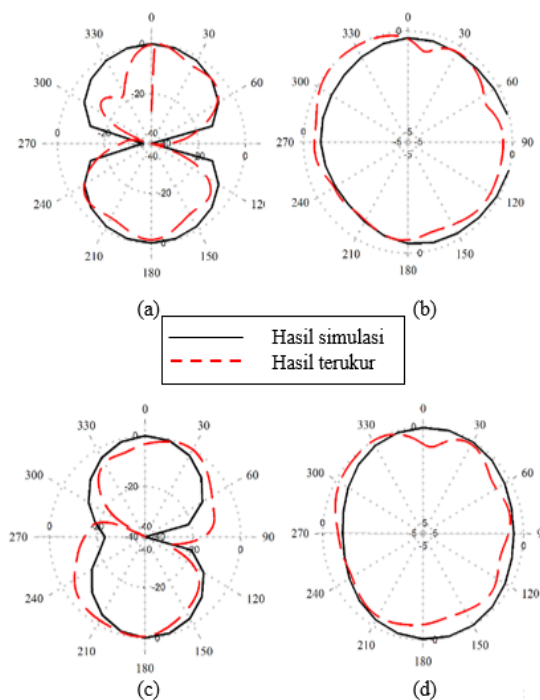




RAJAH 10. Pekali pantulan simulasi dan diukur antenna prototaip.

Walau bagaimanapun, gandaan dan keterarahan untuk jalur atas adalah lebih besar daripada jalur bawah iaitu

masing-masing bernilai 3.2 dBi dan 3.31 dB seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10. Kecekapan antenna pada jalur bawah adalah 97% dan 115% untuk jalur atas.



RAJAH 11. Corak radiasi (a) satah H pada 0.915 GHz (b) satah E pada 0.915 GHz (c) satah H pada 2.45GHz (d) satah E pada 2.45 GHz.

Seperti dalam Rajah 11, corak radiasi corak radiasi pada satah H dan E-dibincangkan. Keputusan diperolehi daripada hasil simulasi oleh studio gelombang mikro CST dan hasil antenna yang diukur. Corak omni-arah telah dihasilkan pada frekuensi bawah dan atas iaitu frekuensi masing-masing bernilai 0.915 GHz dan 2.45 GHz. Walau

bagaimanapun, corak radiasi satah E pada frekuensi 2.45 GHz herot sedikit kerana arus lebih banyak diagihkan pada konfigurasi slot. Antena RFID dwi jalur yang dicadangkan ini dibandingkan dengan antenna yang telah diterbitkan dalam Jadual 3. Lebar jalur bagi kedua-dua jalur bawah dan atas adalah baik iaitu melebihi 100 MHz berbanding

dengan hasil kajian Najumunnisa (2022), Bajaj (2022) dan Mansour (2020). Merujuk Xu (2021), prestasi antena yang

dihasilkan adalah lebih baik daripada yang lain, namun corak radiasi yang terhasil adalah satu arah.

JADUAL 3. Antena RFID dwijalurkan

Pengarang	UHF-RFID			ISM -RFID			Saiz (L × W × H) mm <sup>3</sup>
	Freq MHz	BW MHz	Gain dBi	Freq GHz	BW MHz	Gain dBi	
Antena yang dicadangkan	915	130	2	2.45	110	3.29	120 × 45 × 1.6
Najumunnisa et al. (2022)	915	18	1.53	2.45	130	4.49	70 × 31 × 1.6
Bajaj et al. (2022)	92	10	3.3	2.45	150	5	80 × 80 × 7.76
Xu et al. (2021)	915	290	9	2.45	730	15	104 × 104 × 1.524
Mansour et al. (2020)	920	30	1.8	2.45	300	4.2	32.5 × 53.5 mm <sup>2</sup>

## KESIMPULAN

Dalam kertas kerja ini, litar setara antena dwikutub UHF/ISM RFID dwiband berjaya disiasat. Struktur tampalan berbentuk C dipasang pada hujung garis panjang antena dwikutub untuk mendapatkan frekuensi salunan dwi jalur. Oleh kerana kenaikan nilai garis panjang pada antena dwikutub asas yang berfrekuensi 1.23GHz telah menyebabkan frekuensi berkurang kepada 0.915GHz dan menghasilkan jalur bawah. Dengan memperkenalkan struktur slot berbentuk C ( $ab \times cd$  mm<sup>2</sup>), frekuensi jalur atas dicapai pada 2.4 GHz. Dalam sambungan litar setara, litar RLC selari,  $Z_2$  diwakili sebagai tampalan berbentuk C yang disambungkan dengan litar antena dwikutub asas,  $Z_o$  dan  $Z_l$  secara bersiri. Dwi jalur terhasil dengan mengambil kira nilai komponen  $C_2$  dan  $L_2$ . Berdasarkan keputusan simulasi dan pengukuran, antena dwijalur untuk aplikasi RFID telah dicapai. Pekali pantulan yang baik dihasilkan dengan kehilangan pulangan lebih rendah daripada -10 dB dan kecekapan terpancar yang mencukupi diperolehi. Oleh kerana prestasi yang baik dan struktur profil rendah, antena yang dicadangkan menjanjikan peranti yang sesuai untuk aplikasi penjejakan termaju pembaca RFID.

## PENGHARGAAN

Pengarang mengucapkan terima kasih kepada Skim Geran Penyelidikan Fundamental (FRGS), kod geran FRGS/1/2021/TK0/UKM/02/36 yang dibiayai oleh Kementerian Pendidikan Tinggi (KPT), Malaysia di atas bantuan dana dalam menjayakan kajian ini.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada

## RUJUKAN

- Azeez, H. I., Yang, H. C., & Chen, W. S. (2019). Wearable triband E-shaped dipole antenna with low SAR for IoT applications. *Electronics*, 8(6), 665.
- Bajaj, C., Upadhyay, D.K., Kumar, S. et al. A Dual-Band Circularly Polarized Hexagonal Ring Antenna for Handheld RFID Readers. *Wireless Pers Commun* 125, 3101–3115 (2022).
- Chung, Y., & Berhe, T. H. 2021. Long-range UHF RFID tag for automotive license plate. *Sensors* 21(7): 2521.
- Ennajih, A., Zbitou, J., Latrach, M., Errkik, A., El Abdellaoui, & Tajmouati, L. 2018. A novel design of a miniature metamaterial antenna for RFID reader applications. *TELKOMNIKA*, 16:174-181.
- Garg, M., Sharma, A., Garcia Zuazola, I. J., & Gupta A. (2023). Compact UHF RFID balun-like integrated tag antenna for long range detection of water bottles. *IET Microwaves, Antennas & Propagation*, 17(12), 909–919.
- Hamid M. & Hamid, R. 1997. Equivalent circuit of antena dwikutub antenna of arbitrary length. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation* 45:1695–1696,
- Koc Polat, H., Geyikoglu, M. D., & Cavusoglu, B. (2020). Modeling and validation of a new reconfigurable patch antenna through equivalent lumped circuit-based design for minimum tuning effort. *Microwave and Optical Technology Letters*, 62(6), 2335–2345.

- Lin W. & Chu, Q. 2010. A novel RFID tag antenna for matching complex impedances on 915MHz and 2.45GHz bands. *Proceedings of Asia-Pacific Microwave Conference* 2248–2251.
- Liu, Y., Jiang, S., Zhu, S., Tian Y. & Wu, Y. 2018. Large frequency-ratio dual-band and broad dual-band parallel-line couplers. *IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology* 8: 121–131.
- Liu, Q., Shen, J., Yin, J., Liu H. & Liu, Y. 2015. Compact 0.92/2.45-GHz dual-band directional circularly polarized microstrip antenna for handheld RFID reader applications. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 63: 3849–3856.
- Mansour, M., Sultan, K., & Kanaya, H. (2020). Compact dual-band tapered open-ended slot-loop antenna for energy harvesting systems. *Electronics*, 9(9), 1394.
- Mun, B., Yoon, Y., Lee, H., Lee H. Y. & Lee, B. 2015. A compact dual-band RFID tag antenna mountable on metallic objects. *International Journal of Antennas and Propagation* 2015:1–8.
- Najumunnisa, M., Sastry, A. S. C., Madhav, B. T. P., Das, S., Hussain, N., Ali, S. S., & Aslam, M. (2022). A Metamaterial Inspired AMC Backed Dual Band Antenna for ISM and RFID Applications. *Sensors*, 22(20), 8065.
- Ojaroudi Parchin, N., Jahanbakhsh Basherlou, H., Abd-Alhameed, R. A., & Noras, J. M. (2019). Dual-band monopole antenna for RFID applications. *Future Internet*, 11(2), 31.
- Parchin, N.O., Basherlou, H.J., Abd-Alhameed, R.A. & Noras, J.M. 2019. Dual-band monopole antenna for RFID applications. *Future Internet*. 11(31):1–12.
- Sahar, N.M., Islam, M.T. & Misran, N. 2015. Reconfigurable Multiband Antenna for RFID and GPS Applications. *Elektronika Ir Elektrotehnika* 21(6):44–50.
- Sarkar, S., & Gupta, B. (2020). A dual-band circularly polarized antenna with a dual-band AMC reflector for RFID readers. *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 19(5), 796–800.
- Thiele G.A. & Stutzman, W.L. 2013, *Antenna theory and design*, 3rd edition, John Wiley & Sons.
- Tuovinen T. & Berg, M. 2014. Impedance dependency on planar broadband antenna dimensions: An examination with antenna equivalent circuits. *Progress In Electromagnetics Research* 144: 249–260.
- X. Liu et al. “A Mutual-Coupling-Suppressed Dual-Band Dual-Polarized Base Station Antenna Using Multiple Folded-Dipole Antenna,” in *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 70, no. 12, pp. 11582–11594, Dec. 2022, doi: 10.1109/TAP.2022.3209177.
- Xu, R., & Shen, Z. (2023). Dual-Band Circularly Polarized RFID Reader Antenna with Combined Dipole and Monopoles. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*.
- Xu, R., Liu, J., Wei, K., Hu, W., Xing, Z. J., Li, J. Y., & Gao, S. S. (2021). Dual-band circularly polarized antenna with two pairs of crossed-dipoles for RFID reader. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 69(12), 8194–8203.