

PEMBANGUNAN ANTENA LUBANG ALUR UNTUK APLIKASI CAPAIAN  
WAYARLES BERJALUR LEBAR TETAP PADA FREKUENSI 5725-5875MHz

IMRAN BIN MOHD IBRAHIM

Tesis ini dikemukakan  
sebagai memenuhi syarat penganugerahan  
ijazah Sarjana Kejuruteraan (Elektrik)

Fakulti Kejuruteraan Elektrik  
Universiti Teknologi Malaysia

APRIL 2005

## **DEDIKASI**

### *TERISTIMEWA BUAT*

*Ayahnda dan Bonda tercinta*

*Isteri tersayang, Siti Paridah Juhari yang telah banyak berkorban serta anak-anak, Nur Aqilah Humaira', Nurul Nabilah, ..... semoga ianya menjadi dorongan buat kalian untuk lebih berjaya di dunia dan akhirat.*

*Umat Islam seluruhnya*

## PENGHARGAAN

Dengan nama Allah yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji-pujian hanya bagi Allah, yang Maha Mengetahui segala ilmu di laut dan di daratan. Dengan kudrat dan rahmat dariMu telah mengizinkan kami untuk menitipkan ilmu Mu dalam melaksanakan serta menyiapkan projek dan penulisan tesis ini. Selawat dan salam jua keatas junjungan besar Nabi Muhammad SAW dan keluarganya.

Kesempatan ini ingin saya mengucapkan setinggi-tinggi penghargaan terima kasih terutama kepada Prof. Dr. Tharek bin Abd. Rahman, selaku penyelia projek ini yang telah banyak memberikan tunjuk ajar dan bimbingan tanpa jemu, dalam usaha untuk menjayakan projek yang dijalankan dan menyiapkan tesis ini. Sekalung ucapan terima kasih kepada Prof. Madya Ir. Dr. Wan Khairudin bin Wan Ali, penolong penyelia projek diatas segala nasihat, bimbingan dan cadangan-cadangan yang diberikan. Semoga dirahmati Allah. Juga tak lupa terima kasih saya kepada P.M Dr. Jafri Din, P.M Dr. Norazan, En. Mohammed selaku juruteknik makmal, En. Hasnain, En. Mohd Syaffwan, Cik Farah dan seluruh pegawai/pembantu penyelidik di WCC diatas segala pertolongan dan sokongan yang diberikan.

Teristimewa juga buat ibu dan bapa saudara yang selama ini banyak memberi sokongan moral, Pn. Hjh. Rahimah Abdul Rahman dan Prof. Ir. Dr. Azraai Kassim. Kepada mana-mana pihak yang telah terlibat secara langsung atau tidak didalam menjayakan projek dan menyiapkan tesis ini, mudah-mudahan setiap apa yang disumbangkan akan diberkati Allah.

## ABSTRAK

Keupayaan Rangkaian Kawasan Setempat Wayarles (Wireless Local Area Network, WLAN) untuk membawa isyarat pada kelajuan yang tinggi serta menjimatkan kos menjadikan sistem rangkaian yang semakin popular dewasa ini. Dalam sistem ini antena memainkan peranan penting bagi menentukan komunikasi antara tempat yang berbeza kedudukannya. Antena lubang alur telah dibina berasaskan piawai IEEE 802.11a pada julat frekuensi 5725-5875 MHz untuk penggunaan pada sistem WLAN. Lazimnya aplikasi pada julat frekuensi ini menggunakan antena parabola, walaubagaimanapun antena ini mempunyai kelemahan tersendiri seperti terdapat halangan pada bukaanannya. Untuk mengatasi masalah ini rekabentuk baru antena telah diselidiki dan diperkenalkan. Penyelidikan ini bertujuan untuk membina antena yang menarik, murah, berkeupayaan tinggi, tahan dan rata. Pembinaan antena lubang alur berasaskan konsep “*Radial Line Slot Array*” (RLSA) berpengutuban lurus diperkenalkan dan pengujian terhadap keupayaannya dijalankan. Antena RLSA dibina menggunakan kaedah pengutuban lurus dengan rekabentuk pemasangan arah pancaran. Pembinaan prototaip dimulai dengan menentukan spesifikasi produk, memilih bahan dielektrik dan proses membina prototaip. Pembinaan prototaip ini dibahagikan kepada tiga fasa. Fasa pertama menghasilkan prototaip pertama dan menilai keupayaannya. Fasa kedua menyelidik dan memperbaiki keupayaan prototaip dan fasa terakhir adalah menghasilkan prototaip yang mampu untuk beroperasi pada sistem WLAN. Projek ini telah berjaya menghasilkan antena dalam julat frekuensi 5725-5875 MHz dengan kehilangan balikan minima 11 dB, gandaan antena adalah 26 dB, peratus lebar jalur adalah 12% dengan kecekapan menyinar sebanyak 63% serta mampu beroperasi pada sistem WLAN.

## ABSTRACT

Nowadays, Wireless Local Area Network (WLAN) become more popular due to its capability to carry high speed signal and it is cost saving. In this system, antenna plays a significant role in building effective communication between places at different location. Radial Line Slot Array Antenna (RLSA) has been designed and developed based on IEEE 802.11a standard in the frequency range of 572-5875MHz for WLAN system applications. Typically this system uses standard parabolic dish antenna. However the use of these antennas has some disadvantages such as aperture blockage. To overcome this drawback, a new antenna design is proposed and investigated. Therefore, this research was conducted in order to design and develop an antenna with aesthetic, low cost, high performance, durable and flat. The development of linearly polarized RLSA antenna with experimental performance is presented. The RLSA was constructed base on beam squinted design. The prototype development processes included specification definition, selection of the dielectric material and construction of prototype. The production of prototypes is divided into three stages. The first stage is to produce the first prototype and to evaluate its performance. The second stage is to investigate and improve the performance of the prototypes. Finally the last stage is to produce the final prototype with the capability to apply on WLAN system. This project has successfully produced antenna in range 5725-5875 MHz with minimum return loss 11dB, the antenna gain is 26 dB, antenna bandwidth is 12% with radiation efficiency 63% and validated its potential to be operated on WLAN system.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKASURAT</b>
	<b>HALAMAN JUDUL</b>	i
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>ISI KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xiii
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xvi
	<b>SENARAI SIMBOL</b>	xxii
	<b>SENARAI SINGKATAN</b>	xxiv
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xxv
<b>1</b>	<b>PENGENALAN</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Latar Belakang	3
	1.3 Skop Penyelidikan dan Objektif	4
	1.4 Kajian Literatur	4
	1.4.1 Kajian antenna RLSA pada jalur frekuensi 12 GHz	7

1.4.2	Kajian antena RLSA pada gelombang millimeter ( <i>milimeter-wave</i> )	10
1.4.3	Kajian antena RLSA pada jalur frekuensi 5 GHz	12
1.4.4	Kajian antena lubang alur berpemukaan radom	13
1.5	Kesimpulan	14
1.6	Garis Kasar Tesis	15
<b>2</b>	<b>CIRI – CIRI ANTENA DAN ANTENA RLSA</b>	
2.1	Pengenalan	17
2.2	Jenis-jenis Antena	18
2.2.1	Antena Berkearah Serata Tumpuan	18
2.2.2	Antena Berkearah Separa Tumpuan	20
2.2.3	Antena Berkearah Tumpuan Tinggi	21
2.3	Pengenalan Umum Antena RLSA	23
2.3.1	Antena RLSA Terkutub Lelurus	25
2.3.1.1	Terkutub Lelurus	25
2.3.2	Reka Bentuk Paermukaan Lubang Alur	27
2.3.3	Reka Bentuk Pemesongan Arah Pancaran (Beam Squinted)	30
<b>3</b>	<b>PARAMETER UKURAN DAN KAEDAH PENGUKURAN</b>	
3.1	Pengenalan	35
3.2	Pemilihan Julat Frekuensi	36
3.3	Galangan Masukan	38
3.3.1	Nisbah Voltan Gelombang Pegun (VSWR)	39
3.3.2	Kehilangan Balikan	39
3.3.3	Lebar Jalur Antena	40

3.4	Gandaan dan Kearahan dari Corak Sinaran Antena	41
3.4.1	Corak Sinaran dan Kecekapan Sinaran	42
3.5	Nisbah Cuping Hadapan ke Cuping Belakang	43
3.6	Nisbah Cuping Utama ke Cuping Sisi	43
3.7	Diskriminasi Kutub Silang	44
3.8	Penentuan spesifikasi antena prototaip	47
3.9	Pengenalan Ringkas Kaedah Pengukuran Antena	48
3.9.1	Kaedah Bilik Tidak Bergema dan Kaedah Pengujian Antena Terpadat	50
3.9.2	Kaedah Pengujian Tempat Tinggi dan Kaedah Pengujian Pantulan Bumi	51
3.9.3	Kaedah Pengujian Medan-Dekat	53
3.10	Pengukuran Corak Pengutuban	54
3.11	Pengukuran Gandaan	55
3.11.1	Pengukuran Gandaan Mutlak	55
3.11.2	Pengukuran Gandaan Perbandingan	57
3.12	Kesimpulan	58
<b>4</b>	<b>PEMBINAAN PROTOTAIP</b>	
4.1	Pengenalan	59
4.2	Penentuan Ciri-ciri Produk	61
4.3	RekaBentuk Suapan	61
4.4	Rongga Jejarian	68
4.5	Perisian Rekabentuk Corak Lubang Alur dan Simulasi	69
4.5.1	Keputusan Simulasi Rekabentuk Lubang Alur	72
4.5.1	Simulasi Rekabentuk Lubang Alur Pasa Saiz Antena Lebih Kecil	75
4.6	Membentuk Fizikal Permukaan Menyinar	77



4.7	Fabrikasi Prototaip	78
4.8	Ralat Dalam Fabrikasi	79
4.9	Kesimpulan	82
<b>5</b>	<b>TATACARA PENGUKURAN DAN PENYEDIAAN UJIAN ANTENA PROTOTAIP</b>	
5.1	Pengenalan	83
5.2	Kemudahan Dan Kelengkapan Peralatan	84
5.3	Tatacara Pengujian Balikan Kembali Dan Voltan Nisbah Gelombang Pegun (VSWR)	85
5.4	Ujian Penentukuran Peralatan “ <i>Agilent Network Analyser</i> ”.	86
5.5	Pengukuran Corak Sinaran	86
5.5.1	Ruang Pengujian	88
5.5.2	Penjana Isyarat	89
5.5.3	Meja Pusing	90
5.5.4	Antena Hon	90
5.5.5	Pengawal Meja Pusing	91
5.5.6	Kad Pengantaramuka	91
5.5.7	Penganalisa Spektrum	92
5.5.8	Komputer	92
5.6	Teknik Pengukuran Gandaan	93
5.7	Penyediaan Ujian Pada Sistem Komunikasi Titik ke Titik	93
5.7.1	Komponen-Komponen Ujian Perhubungan Titik ke Titik	94
5.7.1.1	Antena	94
5.7.1.2	Pemegang (Tapak Ujian) Antena	96
5.7.1.3	Komponen Unit Luar (Outdoor Device Unit)	96

5.7.1.4	Komponen Unit Dalam (Indoor Device Unit)	97
5.7.1.5	Kabel Sepaksi	98
5.7.1.6	Suis Internet	98
5.7.1.7	Titik Capaian (Access Point)	98
5.7.1.8	Komputer	99
5.8	Kesimpulan	100
<b>6</b>	<b>KEPUTUSAN DAN ANALISIS</b>	
6.1	Pengenalan	101
6.2	Keputusan Pengujian Penyuaap	101
6.3	Keputusan Corak Sinaran	104
6.3.1	Keputusan Corak Sinaran prototaip 600mm	105
6.3.2	Keputusan Corak Sinaran prototaip 500mm, 400mm dan 300mm	110
6.4	Perbandingan Antena Prototaip dengan Antena Komersil	118
6.5	Ujian Radom Pada Permukaan Antena	123
6.6	Ujian Komunikasi Titik ke Titik Menggunakan Sistem Redline AN50	128
6.6.1	Ujian Pusat Komunikasi Wayarles-Kolej Perdana, UTM	129
6.6.2	Ujian Bangunan P02, FKE-Bangunan Alumni, UTM	132
6.7	Pengukuran Prototaip 600mm Menggunakan Peralatan NSI	135
6.8	Kesimpulan	137

<b>7</b>	<b>KESIMPULAN</b>	
	7.1 Pengenalan	138
	7.2 Kesimpulan	139
	7.3 Cadangan Kerja-kerja Lanjutan	140
	<b>RUJUKAN</b>	142
	Lampiran A-N	148-188

**SENARAI JADUAL**

<b>NO. JADUAL</b>	<b>TAJUK</b>	<b>MUKASURAT</b>
3.1	Jalur ISM yang ditetapkan oleh MCMC[3]	37
3.2	VSWR dan Kuasa Penghantaran untuk Padanan Antena[35]	40
3.3	Spesifikasi antena prototaip	47
4.1	Parameter pada kepingan “polypropelene”	64
4.2	Parameter rekabentuk prob penyuaap pada frekuensi 5.8GHz	65
4.3	Keputusan simulasi antena prototaip berdiameter 600mm, 500mm, 400mm, 300mm dan 200mm.	75
4.4	Keputusan simulasi aras cuping sisi antena prototaip berdiameter 600mm, 500mm, 400mm, 300mm dan 200mm.	76
4.5	Keputusan simulasi parameter antena prototaip yang mematuhi spesifikasi	77
4.6	Perbezaan parameter simulasi dan praktis untuk penyuaap	80

4.7	Perbezaan parameter simulasi dan praktis struktur antena	81
4.8	Keputusan simulasi bilangan lubang alur antena prototaip bergaris pusat 600mm, 500mm, 400mm, 300mm dan 200mm.	82
5.1	Peralatan-peralatan yang digunakan untuk setiap kategori pengukuran	84
5.2	Ciri-ciri antena piramid 1-18GHz	91
5.3	Spesifikasi rekabentuk antena RLSA	95
6.1	Jadual Perbandingan Kehilangan Balikan Antena Prototaip Pada Saiz Berbeza	103
6.2	Keputusan simulasi dan pengukuran antena prototaip berdiameter 600mm, 500mm, 400mm, 300mm dan 200mm	112
6.3	Jadual perbezaan jarak minima untuk medan jauh antara antena ujian dan antena piawai	112
6.4	Jadual Perbandingan Parameter Antena Prototaip Berbeza Saiz dan juga Antena Mikrojalur Tampil Redline	114
6.5	Jadual Perbandingan Parameter Antena Prototaip Berbeza Saiz dan juga Antena Mikrojalur Tampil Redline yang memenuhi spesifikasi ETSI	117
6.6	Perbandingan kehilangan balikan, VSWR dan lebar jalur antena prototaip dan antena Redline	118

6.7	Perbezaan antena prototaip dan antena mikrojalur tampal Redline	121
6.8	Perbezaan keputusan antena prototaip 400mm berpemukaan radom dengan tanpa permukaan radom	126

## SENARAI RAJAH

NO. RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
1.1	Struktur antena yang dicadangkan oleh Goebels dan Kelly [8]	5
1.2	Struktur antena RLSA dua lapisan seperti yang dicadangkan oleh Goto dan Yamamoto [10]	6
1.3	Struktur binaan antena RLSA satu lapisan seperti yang dicadangkan oleh Takahashi [11]	7
1.4	Binaan satu lapisan pengutuban lurus antena RLSA [14]	8
1.5	Corak sinaran antena rekaan Jose yang menunjukkan aras cuping sisi berjaya dikurangkan[16]	9
1.6	Antena RLSA bersaiz kecil yang dibina oleh Manuel Sierra-Castaner[17]	10
1.7	Struktur antena RLSA pada frekuensi 60GHz yang dicadangkan oleh Y. Kim[22]	11
1.8	Antena RLSA yang dibina oleh Farah Ayu pada frekuensi 5.12 GHz[24]	12
1.9	Struktur Antena RLSA berkuasa tinggi yang dicadangkan oleh K. Sudo[25]	13
2.1	Corak sinaran antena dwi-kutub	19
2.2	Antena dwi-kutu dan kawasan liputannya [30]	19
2.3	Contoh antena berkearah separa tumpuan	20

2.4	Corak sinaran antenna berkearahana separa tumpuan dan liputannya	20
2.5	Penggunaan antenna berkearahana separa tumpuan pada sistem komunikasi wayarles	21
2.6	Jenis-jenis antenna parabola	22
2.7	Lengkungan medan terkutub elips	26
2.8	Geometri lubang alur untuk terkutub lurus unit penyinar [32]	28
2.9	Geometri untuk pemasangan jaluran [19]	32
2.10	Corak lubang alur antenna RLSA kaedah pemasangan arah pancaran dan gabungan parameter [19]	33
3.1	Corak sinaran antenna berkearahana tinggi	43
3.2	Corak sinaran pengutuban bersama dan pengutuban silang[41]	44
3.3	Gelombang satah berpengutuban lurus yang dihasilkan oleh antenna dwi-kutub: (a)sistem koordinat dan medan komponen; (b) corak sinaran pada satah E; (c) corak sinaran pada satah H	46
3.4	Rajah kaedah lazim pengukuran antenna [42]	49
3.5	Ilustrasi pengukuran corak sinaran pengutuban bersama dan pengutuban silang[41]	54
3.6	Pengukuran antenna menggunakan kaedah gandaan perbandingan	57
4.1	Carta alir rekabentuk dan pembinaan prototaip	60
4.2	Gambar prob suapan yang telah dibina dan cakera yang terdapat diujungnya (dalam bulatan)	62
4.3	Prob penyuaip komersil yang boleh didapati di pasaran tempatan	63
4.4	Kedudukan prob penyuaip dalam struktur antenna [32]	64



4.5	Keputusan simulasi galangan penyuar	66
4.6	Keputusan simulasi kehilangan balikan penyuar	66
4.7	Lukisan teknikal cakera prob berdiameter 2.8mm	67
4.8	Lukisan teknikal prob penyuar yang telah dilekatkan cakera prob	67
4.9	Gambar rongga jejarian tanpa permukaan penyinar	68
4.10	Gambar belakang rongga jejarian tanpa penyuar dan lapisan penyinar	69
4.11	Gambar cakera loyang yang digunakan untuk dilekatkan pada rongga jejarian	69
4.12	Corak reka bentuk lubang alur pada permukaan pengalir prototaip 600mm	72
4.13	Corak sinaran dari simulasi reka bentuk corak lubang alur pada permukaan pengalir prototaip 600mm	73
4.14	Lebar alur simulasi pada -3dB untuk reka bentuk corak lubang alur pada permukaan pengalir prototaip 600mm	74
4.15	Aras cuping sisi simulasi untuk reka bentuk corak lubang alur pada permukaan pengalir prototaip 600mm	74
4.16	Lubang alur yang terhasil daripada proses " <i>etching</i> "	78
4.17	Gambar kepipis tembaga dilekatkan dengan pelekat dwi-muka membentuk sebuah antena	78
4.18	Gambar antena prototaip berdiameter 650mm	79
5.1	Lakaran pengukuran kehilangan kembali dan VSWR yang digunakan di UTM	85
5.2	Peralatan yang digunakan untuk pengukuran corak sinaran	87

5.3	Keputusan serapan gelombang mikro dari 2-12 GHz pada bilik pengujian antena di Universiti Teknologi Malaysia [46]	88
5.4	Gambarajah lakaran bilik pengukuran yang terdapat di UTM	89
5.5	Sambutan voltan terhadap kuasa yang diterima oleh penganalisa spektrum	92
5.6	Gambaran keseluruhan komponen pengujian perhubungan titik ke titik	94
5.7	Pemegang atau tapak ujian antena prototaip	96
5.8	Kedudukan komponen unit luar pada pemegang antena	97
5.9	Paparan kawalan sistem Redline AN50 pada skrin komputer	99
6.1	Keputusan kehilangan kembali bagi antena prototaip 600mm	103
6.2	Corak sinaran simulasi dan keputusan pengukuran prototaip 600mm	105
6.3	Corak sinaran simulasi dan keputusan pengukuran prototaip 600mm yang telah diplot semula	106
6.4	Lebar alur 3dB menurun	107
6.5	Corak sinaran pada satah E pengutuban bersama dan pengutuban silang prototaip 600mm	109
6.6	Corak sinaran pada satah H pengutuban bersama dan pengutuban silang prototaip 600mm	109
6.7	Corak sinaran simulasi dan keputusan pengukuran prototaip (a)500mm, (b)400mm, (c)300mm	111
6.8	Perbezaan corak sinaran antena prototaip dan antena mikrojalur tampal Redline	119

6.9	Perbezaan corak sinaran antena prototaip dan antena mikrojalur tampal Redline pada frekuensi 5725 MHz	120
6.10	Perbezaan corak sinaran antena prototaip dan antena mikrojalur tampal Redline pada frekuensi 5875 MHz	120
6.11	(a) Keadaan antena prototaip tanpa radom (b) Keadaan antena prototaip dengan radom	123
6.12	Perbezaan keputusan antena prototaip 400mm berpemukaan radom dengan tanpa permukaan radom dan simulasi	124
6.13	Perbezaan keputusan antena prototaip 400mm berpemukaan radom dengan tanpa permukaan radom pada satah E	125
6.14	Perbezaan keputusan antena prototaip 400mm berpemukaan radom dengan tanpa permukaan radom pada satah H	125
6.15	Perbezaan corak sinaran antena prototaip 400mm berpemukaan radom dengan tanpa permukaan radom	128
6.16	Ilustrasi kedudukan bangunan Pusat Komunikasi Wayarles dan bangunan Kolej Perdana	129
6.17	Kedudukan ujian perhubungan komunikasi titik ke titik antara bangunan Pusat Komunikasi Wayarles dan Kolej Perdana	130
6.18	Bacaan yang dicatatkan pada peralatan di bangunan Pusat Komunikasi Wayarles	130
6.19	Bacaan yang dicatatkan pada peralatan di bangunan Kolej Perdana	131
6.20	Antena prototaip dipasang pada kenderaan pacuan empat roda	132

6.21	Antena mikrojalur tampal Redline dipasang pada salah satu tingkap bangunan FKE	133
6.22	Bacaan yang dicatatkan pada bangunan Alumni, UTM dengan menggunakan antena prototaip	134
6.23	Bacaan yang dicatatkan pada bangunan P02, FKE dengan menggunakan antena mikrojalur tampal Redline	134
6.24	Keadaan dalam bilik kebuk tak bergema yang dilengkapi penyerap gelombang mikro sepenuhnya	135
6.25	Perbezaan corak sinaran antena prototaip 600mm menggunakan peralatan yang berbeza	136
6.26	Corak sinaran antena prototaip 600mm dalam bentuk 3 dimensi pada medan jauh	137

## SENARAI SIMBOL

$\epsilon_r$	Ketelusan relatif
$d$	Ketebalan
$\lambda_g$	Panjang gelombang terpandu
$\lambda_0$	Panjang gelombang pada ruang bebas
$\Gamma$	Pekali pantulan
$F(\rho)$	Medan dalaman jejarian terpandu
$D$	Keberarahan
$U$	Keamatan sinaran
$U_o$	Keamatan sinaran dari sumber isotropik
$P_{rad}$	Keseluruhan kuasa sinaran
$\Theta_{1r}$	3 dB menurun satah rujukan
$U(\theta, \phi)$	Keamatan sinaran
$P_{in}$	Keseluruhan kuasa masukan yang diterima
$\eta$	Kecakapan sinaran
$R$	Jarak
$h$	Ketinggian
$\Delta\beta$	Perbezaan fasa antara dua lubang alur
$S_\phi$	Jarak antara lubang alur kedudukan azimut
$\rho_{min}$	Jejari minimum lingkaran
$\rho_{max}$	Jejari maksimum lingkaran
$S_p$	Jarak bersebelahan antara pasangan lubang alur
$\theta_1, \theta_2$	Sudut dongakan lubang alur
$R_3, r_4$	Jarak jejarian lubang alur penghapus pantulan
$\theta_T$	Sudut pesongan reka bentuk pemasangan arah pancaran

$\phi$	Kedudukan azimuth
$A_x$	Magnitud maksimum pada komponen $\hat{x}$
$A_y$	Magnitud maksimum pada komponen $\hat{y}$
$P_r$	Kuasa penerima
$P_t$	Kuasa penyinar
$G$	Gandaan
dB	Decibel = $10\log_{10}$
dBi	Decibels over isotropic

**SENARAI SINGKATAN**

CAD	Computer Assisted Design
CAM	Computer Aided Manufacturing
DBS	Direct Broadcast Satellite
DXF	Drawing Interchange Format
EIRP	Effective Isotropic Radiated Power
EM	Electromagnetic
FCC	Federal Communication Commission
FKE	Fakulti Kejuruteraan Elektrik
F/B	Front to Back Ratio
GHz	Giga Hertz
IEEE	Institute Electrical and Electronics Engineer
ISM	Industrial, Scientific and Medical
LP-RLSA	Linear Polarised Radial Line Slot Array
MCMC	Malaysian Communication and Multimedia Commission
MHz	Mega Hertz
MSC	Multimedia Super Corridor
PAP	Pemesongan Arah Pancaran
RLSA	Radial Line Slot Array
SMA	Subminiature Screw Coupled Connector
UNII	Unlicensed National Information Infrastructure
UTM	Universiti Teknologi Malaysia
VNA	Vector Network Analyser
VSWR	Voltage Standing Wave Ratio
WLAN	Wireless Local Area Network
XPD	Cross Polar Discrimination

## SENARAI LAMPIRAN

LAMPIRAN	TAJUK	MUKASURAT
A	Spesifikasi Antena Hon Yang Digunakan Untuk Pengujian	148
B	Spesifikasi Antena Mikrojalur Tampil Redline	149
C	Spesifikasi Sistem Redline AN-50	150
D	Gambarajah Pemasangan Komponen Redline AN-50	152
E	Jenis-Jenis Antenna Pada Jalur Frekuensi 5.8GHz Yang Ada di Pasaran	153
F	Corak Lubang Alur Antenna Prototaip	154
G	Coran Sinaran Antenna Prototaip 600mm	157
H	Lebar Alur Antena Prototaip Pada -3dB	161
I	Diskriminasi Kutub Silang Pada Frekuensi 5800MHz Untuk Semua Antena	164
J	Perbandingan Keputusan Simulasi Dengan Keputusan Pengukuran Untuk Semua Antena	169
K	Keputusan Kehilangan Balikan Dan VSWR Untuk Semua Antena	174
L	Sijil dan pingat dari INPEX 04	181



M	Piawai corak sinaran yang ditetapkan oleh <i>European Telecommunication Standard Institute</i> ETSI EN 302 085 V1.2.2 (2003-08)	182
N	Kertas kerja yang telah dibentangkan di <i>RF and Microwave Conference 2004</i> , Okt. 5-6 2004, Kuala Lumpur, Malaysia	185



## **BAB 1**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 Pengenalan**

Teori perhubungan antara dua titik menggunakan perambatan gelombang elektromagnet (EM) melalui udara telah dikesan oleh James Maxwell's dan diterbitkan pada 1873. Seterusnya Heinrich Hertz telah menjalankan kajian makmal sehingga menghasilkan perhubungan gelombang radio yang pertama pada tahun 1888. Daripada pembangunan Hertz pada penghujung abad ke-19, beberapa pengkaji dari beberapa buah negara telah menjalankan kajian terhadap perambatan gelombang elektromagnet yang boleh dikawal. Hasilnya tercipta pemancar '*spark-gap*' yang mampu menghasilkan tenaga impuls yang besar kepada antena resonan. Keputusan menunjukkan frekuensi resonan pada antena akan merambat pada semua arah dengan intensiti yang membolehkan arus isyarat boleh di terima oleh antena penerima[1]. Penyelidik terawal dalam bidang ini termasuk Marconi yang bekerja di England pada 1896 telah memperkenalkan perhubungan wayarles sejauh 16 km menggunakan pemancar '*spark-gap*'. Reginald Fessenden yang bekerja di Amerika Syarikat telah berjaya memodulatkan gelombang berterusan (*continuous wave*)[1]. Pembangunan berterusan dalam bidang ini telah membolehkan komunikasi melalui gelombang elektromagnet yang juga dikenali sebagai perhubungan wayarles sedikit demi sedikit telah menggantikan cara perhubungan konvensional yang menggunakan kabel.

Hasil pembangunan berterusan dalam bidang komunikasi wayarles, perhubungan titik ke titik (*point to point*) telah menjadi popular memandangkan kos pemasangan yang murah, mudah dan berkeupayaan mudah alih. Secara teknikal, pehubungan titik ke titik memberikan kehilangan isyarat yang minima dan kualiti komunikasi yang lebih baik berbanding kabel sepaksi pada jarak yang jauh[1]. Antena telah memainkan peranan yang penting sebagai pengantara muka wayarles. Bagi perhubungan titik ke titik pada jarak jauh, antena yang mempunyai corak sinaran berkearah tinggi digunakan[2].

Umumnya, antena yang biasa digunakan di dalam pasaran untuk kegunaan capaian wayarles berjalur lebar tetap (*fixed broadband wireless access*) adalah antena yagi, parabola dan mikrojalur tampal. Perkembangan dunia serba moden telah mendorong kepada suatu reka bentuk antena yang berwajah menarik. Untuk itu, satu penyelidikan dan pengkajian telah dijalankan untuk mencipta satu reka bentuk antena yang boleh diterima pakai dalam keadaan semasa. Rekabentuk antena lubang alur telah dikenal pasti dapat memenuhi perkara ini.

Antena lubang alur terbentuk daripada susunan lubang-lubang alur yang menjadi pendorong gelombang (*Slotted Waveguide Array*). Antena ini dipanggil antena “*Radial Line Slot Antenna (RLSA)*”. Bentuk fizikal antena ini adalah bulat dan rata. Penyelidikan ke atas antena ini dijalankan bagi mengkaji keupayaan antena ini untuk kegunaan capaian wayarles berjalur lebar tetap di samping mengikut era perkembangan teknologi maklumat yang semakin menggalakkan.

## 1.2 Latar Belakang

Kemajuan komputer dan evolusi rangkaian komputer dengan perkembangan keperluan terhadap capaian internet berjalur lebar yang pantas telah membawa ke era rangkaian wayarles. Penjimatan kos adalah satu keuntungan yang besar bagi perhubungan titik ke titik memandangkan ianya tidak perlu kepada pemasangan kabel yang melibatkan kos yang tinggi. Selain kos, keupayaan untuk membawa isyarat pada kelajuan 155Mbps[1] membolehkan ianya menjadi rangkaian tulang belakang kepada Rangkaian Kawasan Setempat (*Local Area Network*, LAN) dan Wayarles LAN.

Antena memainkan peranan utama sebagai alat yang menghubungkan dua rangkaian internet secara wayarles. Lazimnya, jarak antara dua rangkaian internet yang akan dihubungkan ialah dari melebihi 1 km. Oleh itu, sistem perhubungan ini sangat memerlukan antena berkearahkan tinggi yang boleh membawa maklumat pada jarak yang dikehendaki secara wayarles. Antena parabola selalunya digunakan pada jarak yang jauh manakala antena mikrojalur tampal (*mikro-strip patch antenna*) digunakan pada jarak sederhana jauh. Rekabentuk antena lubang alur yang berkearahkan tinggi dan mempunyai rekabentuk yang menarik telah membolehkan antena jenis ini turut digunakan pada sistem perhubungan titik ke titik (*point-to-point communication*) dan titik ke banyak titik (*point-to-multipoint communication*). Ianya akan menjadi satu lagi produk keluaran tempatan yang mampu bersaing dengan produk yang sedia ada di pasaran.

Selain itu, jalur frekuensi 5725-5875 MHz telah diluluskan oleh Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia sebagai jalur ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) yang tidak memerlukan lesen di Malaysia. Jalur frekuensi ini juga telah diperuntukan untuk kegunaan capaian wayarles tetap (*fixed wireless access*)[3].

### 1.3 Skop Penyelidikan dan Objektif

Skop kajian ini terbahagi kepada dua bahagian utama iaitu pembinaan prototaip antena lubang alur dan pengukuran keupayaan antena tersebut. Antena lubang alur direka bentuk dan dibina bersesuaian untuk kegunaan Rangkaian Kawasan Setempat Wayarles komunikasi titik ke titik. Ianya menggunakan peralatan pembinaan berkualiti tetapi dengan harga yang berpatutan. Pembinaan antena ini disesuaikan dengan piawai IEEE 802.16 dan IEEE 802.11a jalur UNII-3[1][4]. Frekuensi bagi piawai IEEE (*Institute Electrical and Electronics Engineer*) ini bersesuaian juga dengan frekuensi yang telah ditetapkan oleh Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia untuk kegunaan di luar bangunan iaitu pada 5.725-5.875 GHz[3].

Objektif penyelidikan ini adalah untuk membina antena yang menarik, berkeupayaan tinggi, berkualiti dan rata yang mana boleh digunakan untuk komunikasi capaian wayarles berjalur lebar tetap pada frekuensi 5.725-5.875 GHz. Ia juga bertujuan memperolehi ciri – ciri penting rekabentuk antena seperti gandaan, corak sinaran, nisbah gelombang pegun (VSWR), galangan, pengutuban, kearahan, nisbah cuping depan terhadap cuping belakang (*front to back ratio*) dan kecekapan sinaran. Kajian ini akan menggunakan peralatan Penerimaan Wayarles Berjalur Lebar Tetap Readline AN50.

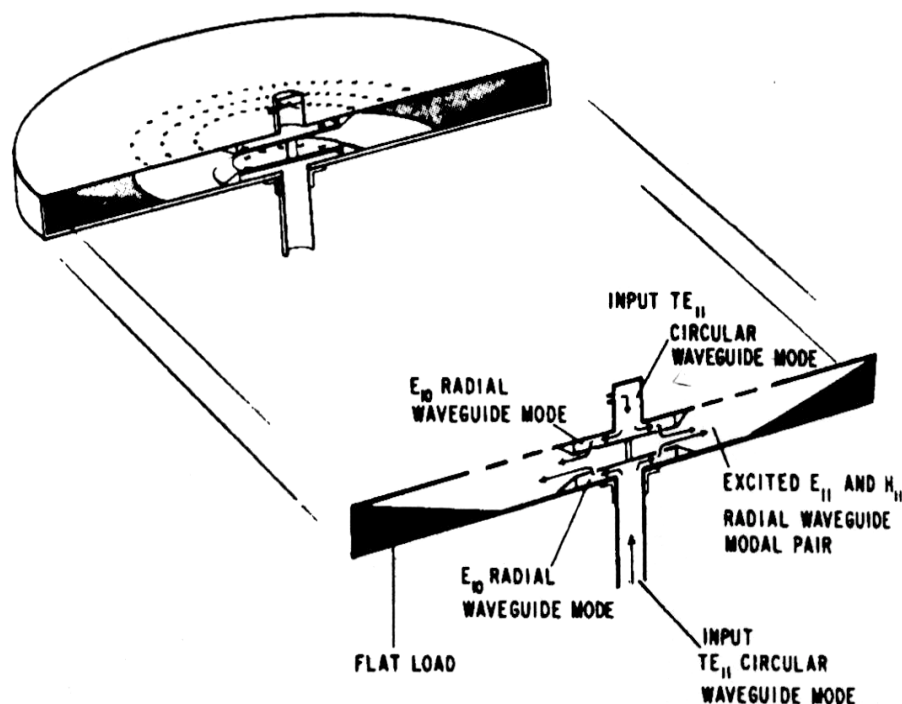
### 1.4 Kajian Literatur

Antena lubang alur pertama telah dihasilkan oleh G.C Southworth pada tahun 1946[5]. Antena ini digunakan untuk tujuan tranmisi gelombang radio. Antena lubang alur jejarian (*Radial Line Slot Antenna*) telah dibina untuk aplikasi

penerimaan isyarat satelit. Rekabentuk ini mampu menghasilkan corak sinaran berbentuk pensil[6].

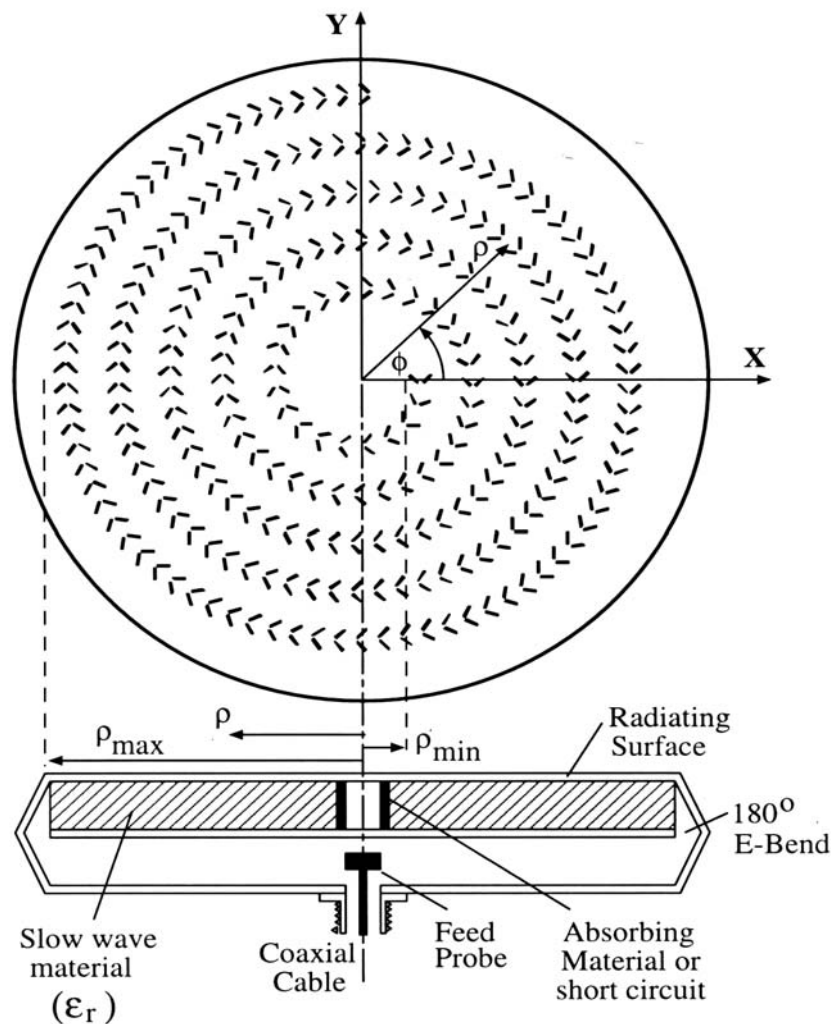
Pada permulaannya konsep antenna “*Radial Line Slot Antenna*” (RLSA) telah diperkenalkan oleh Kelly pada penghujung 1950an [7] dan penggunaanya diperkenalkan pada awal 60-an [8],[9]. Pengubahsuaian konsep peralihan suapan antenna telah dilakukan, ianya dibentuk berdasarkan ciri kesalingan antenna yang boleh bertindak sebagai pemancar dan penerima. Daripada rekabentuk ini, didapati lebar alurnya adalah berbentuk pensil dan boleh memancar dan menerima isyarat mengikut rekabentuk pengutuban [9].

Konsep antenna RLSA terdiri daripada lingkaran konsentrasi yang berbentuk cincin dari pelbagai arah, yang terdiri dari lobang-lobang alur (*slots*) dengan pemungut di tengah antenna seperti di dalam Rajah 1.1.



Rajah 1.1 : Struktur antenna yang dicadangkan oleh Goebels dan Kelly [8].

Konsep antena yang mempunyai lubang-lubang alur (*slot*) ini telah diterima pakai oleh Goto dan Yamamoto pada tahun 1980 [10]. Goto dan Yamamoto telah merekabentuk antena yang pengutubannya adalah membulat (*circular*) dengan lapisan jejarian rongga dua lapisan dan struktur prob (*probe*) suapan berada di tengah antena seperti mana yang ditunjukkan di dalam Rajah 1.2.

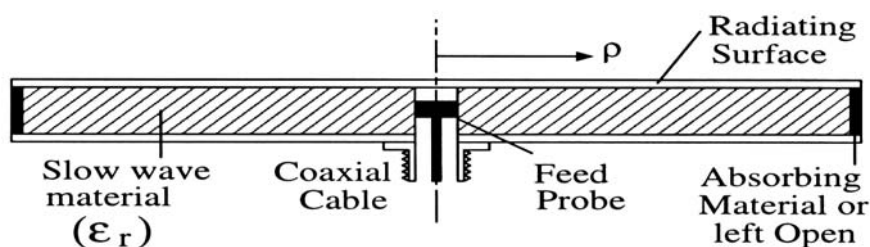


Rajah 1.2 : Struktur antena RLSA dua lapisan seperti yang dicadangkan oleh Goto dan Yamamoto [10].

Walau bagaimanapun, cadangan ini agak susah untuk mencapai bukaan pencahayaan amplitud yang tetap kerana rekabentuknya yang agak rumit. Kajian menunjukkan pembinaannya memerlukan kos yang agak tinggi.



Takahashi [11] telah mencadangkan struktur binaan satu lapisan yang lebih mudah untuk mengatasi masalah ini pada tahun 1989 seperti di dalam Rajah 1.3 .



Rajah 1.3 : Struktur binaan antenna RLSA satu lapisan seperti yang dicadangkan oleh Takahashi [11].

Struktur binaan satu lapisan ini adalah lebih sesuai untuk penggunaan perhubungan titik ke titik. Ini adalah kerana ianya mempunyai potensi kecekapan pancaran yang tinggi, lebih menarik dan pemasangannya juga adalah lebih mudah. Penyelidikan antenna RLSA selepas itu kebanyakannya menggunakan struktur binaan seperti pada rajah 1.3.

#### 1.4.1 Kajian antenna RLSA pada jalur frekuensi 12GHz

Aplikasi yang lazim digunakan pada julat frekuensi ini ialah penerimaan isyarat dari satelit. Goto dan Yamamoto telah mempolopori kajian RLSA berpengutuban membulat untuk kegunaan penerimaan isyarat dari satelit [10][12]. Pada tahun 1995, Masaharu Takahashi telah membina antenna RLSA berpengutuban membulat berpandukan struktur yang dicadangkan oleh Goto dan Yamamoto. Antena berdiameter 550mm ini telah mncapai gandaan yang tinggi iaitu 33.5 dBi dan mempunyai kecekan sinaran sebanyak 62%. Antena ini mencatatkan aras cuping sisi 10 dB dengan diskriminasi kutub silang -20dB . Antena ini mempunyai kehilangan balikan yang baik iaitu -20dB[13]. Hal ini telah memotivasikan Paul Davis untuk

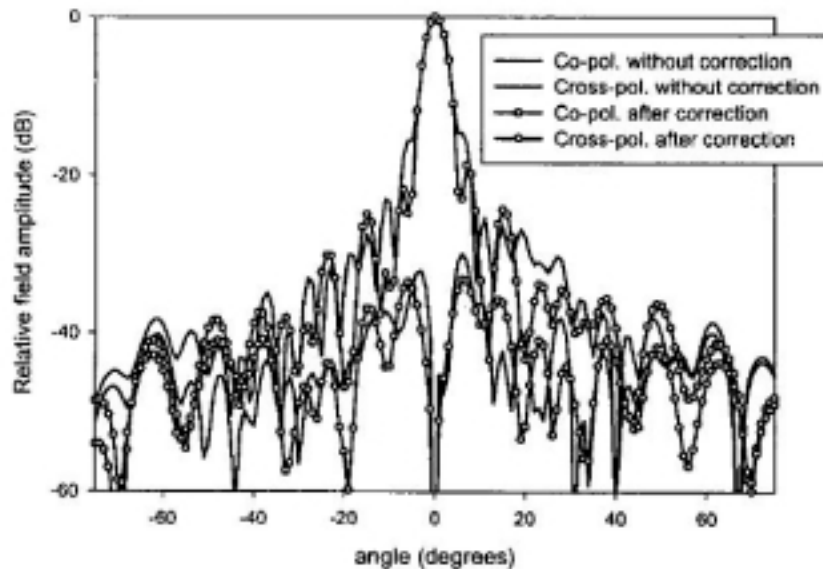
membina antenna RLSA berpengutuban lurus. Namun begitu, struktur binaan antenna ini berasaskan cadangan struktur Takashi . Teknik rekabentuk penghapusan pantulan telah digunakan. Antena ini telah menghasilkan kearahannya 32 dBi dengan lebar alur yang sempit 4.5 darjah pada satah E dengan aras cuping sisi -22dB. Antena ini berdiameter 400mm dengan bilangan lubang alur sebanyak 1200 seperti ditunjukkan pada rajah 1.4. Antena ini telah mencapai kecekapan menyinar sebanyak 58%. Bagi antenna berdiameter 600mm pula, gandaan antenna adalah 35.6 dBi dengan lebar alur sempit 3 darjah. Antena ini telah mencatatkan aras cuping sisi -18dB. Antena ini mempunyai bilangan lubang alur sebanyak 4700 dengan kecekapan menyinar sebanyak 67%[14].



Rajah 1.4 : Binaan satu lapisan pengutuban lurus antenna RLSA [14].

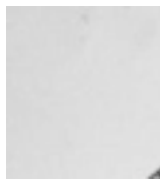
Setahun kemudian, Kechagias, K. telah menghasilkan antenna RLSA berpengutuban membulat yang mempunyai gandaan sebanyak 32 dBi. Antena berdiameter 600mm ini telah mencatatkan aras cuping sisi -22dB dengan lebar alur 2.4 darjah[15]. Jose I Herranz-Herruzo pula telah menghasilkan antenna RLSA

berpengutuban lurus berdiameter 600mm dengan menggunakan kaedah “*Multiple Sweep Method of Moment*”. Jose telah membandingkan kaedah rekabentuk beliau dengan kaedah yang digunakan oleh Paul Davis dan beliau telah membandingkan keputusan corak sinarannya. Antena rekaan Jose ini berjaya mengurangkan aras cuping sisi kepada -20dB seperti yang ditunjukkan pada rajah 1.5.[16].



Rajah 1.5 : Corak sinaran antenna rekaan Jose yang menunjukkan aras cuping sisi berjaya dikurangkan[16]

Setahun kemudian Manuel Sierra-Castaner telah membina antenna RLSA berpengutuban membulat dengan berdiameter 120mm dan gandaan 18.2 dB. Antena ini mencatatkan aras cuping sisi -20 dB dengan diskriminasi kutub silang sebanyak 25 dB. Kecekapan menyinar antenna ini mencapai 58.7%[17]. Ini suatu pembaharuan dalam penyelidikan RLSA kerana antenna ini bersaiz kecil (seperti pada rajah 1.6) tetapi mempunyai ciri-ciri antenna bersaiz besar telah berjaya dibina.



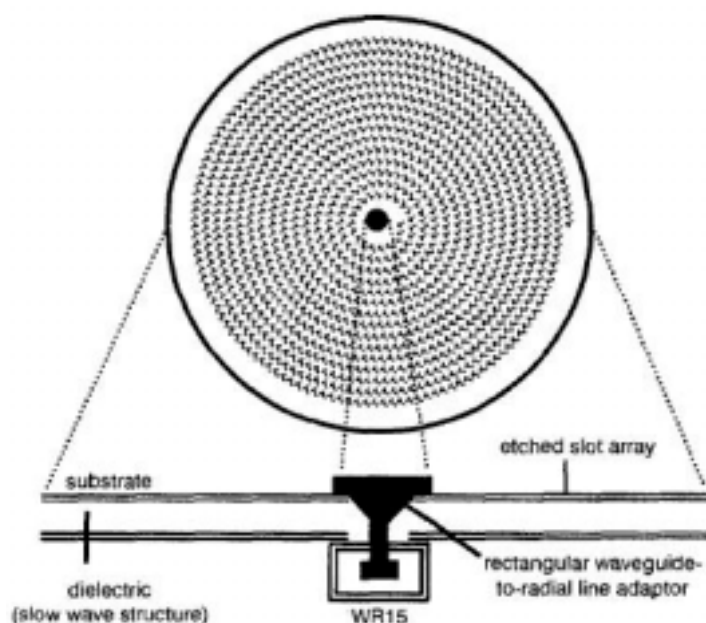
Rajah 1.6 : Antena RLSA bersaiz kecil yang dibina oleh Manuel Sierra-Castaner[17]

Penyelidik di negara kita juga tidak ketinggalan untuk mengkaji RLSA. Lim, T.S., Tharek A.R., Wan Khairuddin, W.A. dan Hasnaian, A telah mengorak langkah membuat penyelidikan RLSA untuk kegunaan penerimaan isyarat satelit di Malaysia. Berasaskan antena RLSA yang dibina oleh Paul Davis, mereka telah berjaya membina antena RLSA berpengutuban lurus dengan teknik pemesanan arah pancaran. Rekaan ini lebih mudah dan senang difabrikasi dan memberikan gandaan sebanyak 34.6 dBi dengan kecekapan 69% pada antena berdiameter 600mm. Aras cuping sisi -9dB dicatatkan. Antena berlebar alur 3.4 darjah ini mempunyai kehilangan balikan sebanyak -15dB[18][19]. Teknik pemesanan arah pancaran ini akhirnya dipatenkan atas nama Tharek A.R dan Bialkowski M.E.[20].

#### **1.4.2 Kajian antena RLSA pada gelombang milimeter (*milimeter-wave*)**

Penyelidikan antena lubang alur tatasusunan pada frekuensi gelombang milimeter juga semakin popular. Memandangkan antena ini mempunyai kehilangan isyarat yang rendah dan boleh beroperasi pada kuasa yang tinggi, ia sesuai digunakan

untuk kegunaan Radar. Pada tahun 1996, Reuven Shavit telah memperkenalkan antenna lubang alur berbentuk segiempat berukuran  $9 \times 7 \times 0.5$  cm. Antena ini mempunyai 440 bilangan lubang alur dan mencapai gandaan yang tinggi iaitu 24 dBi. Antena ini mempunyai aras cuping sisi -16 dB pada frekuensi 77 GHz. Pembangunan antenna ini dibuat dengan kerjasama HIT Technologies Ltd di Israel, Israel Aircraft Industries dan BMW di Jerman[21]. Pada tahun 2002, Y.Kim telah memperkenalkan antenna RLSA pada frekuensi 60GHz. Antena ini dicadangkan untuk penggunaan Rangkaian Kawasan Setempat Wayarles pada masa akan datang. Penyuar berbentuk segiempat telah dicadangkan seperti rajah 1.7.

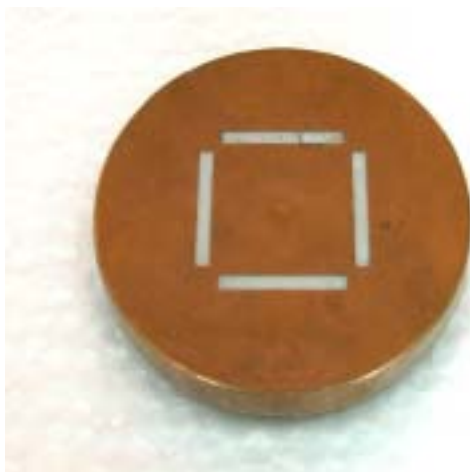


Rajah 1.7 : Struktur antenna RLSA pada frekuensi 60GHz yang dicadangkan oleh Y. Kim[22]

Antena berdiameter 100mm ini mempunyai gandaan 30dBi dengan aras cuping sisi -18dB. Antena ini berlubang alur 5 darjah dan berkehilangan balikan -14 dB[22].

### 1.4.3 Kajian antena RLSA pada jalur frekuensi 5 GHz

Penyelidikan antena RLSA pada julat frekuensi ini juga masih baru. Pada tahun 2002, Tharek A.R dan Farah Ayu I.K. memulakan penyelidikan ini dengan membuat simulasi pada frekuensi 5.5 GHz. Ianya dicadangkan untuk penggunaan Rangkaian Kawasan Setempat Wayarles dalam bangunan. Simulasi ini menunjukkan pada empat lubang alur, lebar alur seluas 48 darjah boleh dihasilkan[23]. Farah Ayu akhirnya telah berjaya membina antena RLSA berpengutuban lurus pada frekuensi 5.12 GHz dengan kehilangan balikan -30.93 dB seperti pada rajah 1.8. Antena ini berkearah rendah iaitu 2.14 dBi dan mempunyai diskriminasi kutub silang sebanyak -20 dB[24].



Rajah 1.8 : Antena RLSA yang dibina oleh Farah Ayu pada frekuensi 5.12 GHz[24]

Pada masa yang sama, K. Sudo, T. Mizutani, J. Hirokawa dan M. Ando telah berjaya membina antena RLSA berpengutuban membulat pada frekuensi 5.8 GHz. Antena ini telah dibina untuk penggunaan pada Satelit Berkuasa Solar (*Solar Power Sattellite*) seperti pada rajah 1.8. Antena ini dipilih kerana bagi aplikasi ini, kuasa pemancaran adalah sebanyak 400W[25]. Antena berdiameter 300mm ini mempunyai gandaan 22.3 dBi dengan kecekapan menyinar 52.4%. Antena berlebar alur 9.3 darjah ini mempunyai aras cuping sisi -13.3 dB dan kehilangan balikan sebanyak -15 dB.



Rajah 1.9 : Struktur Antena RLSA berkuasa tinggi yang dicadangkan oleh K. Sudo[25]

#### 1.4.4 Kajian antena lubang alur berpemukaan radom

Yoshiro Hase telah membina antena lubang alur tatasusunan berbentuk segiempat untuk dipasangkan pada satelit komunikasi COMETS. Antena ini dibina pada dua frekuensi iaitu 31 GHz untuk mod pemancar dan 21 GHz untuk mod penerima. Antena ini bersaiz 25 x 9 cm. Pada frekuensi 31 GHz, gandaan antena ialah 24.4 dBi manakala untuk frekuensi 21 GHz pula 21.9 dBi. Lebar alur antena ini untuk mod pemancaran dan penerimaan adalah melebihi 17 darjah. Aras cuping sisi antena ini pula ialah -10dB. Menariknya kajian ini, bilamana antena ini diletakkan radome pada permukaannya, gandaan antena pada mod pemancaran meningkat sebanyak 0.8 dB manakala untuk mod penerimaan pula, gandaan antena telah meningkat sebanyak 0.6 dB. Tebal radom untuk antena pemancar ialah 3mm manakala untuk antena penerima pula 4.5mm. Radom ini diperbuat daripada sejenis plastik. Yoshiro Hase menjelaskan bahawa pemilihan ketebalan radom ini dipilih

setelah 10 percubaan dengan ketebalan radom yang berbeza dilakukan. Beliau juga mengakui bahawa keputusan ini suatu yang menarik dan berpendapat kemungkinan radom ini telah bertindak sebagai lensa dielektrik[26].

Y. Hwang pula telah menjalankan kajian penggunaan radom dielektrik keatas antenna resonan. Kajian dibuat pada frekuensi 1.8 GHz dan mendapati gandaan antenna telah meningkat sebanyak 1.2 dBi[27]. M. Hakkak pula telah mengkaji penggunaan dielektrik sebagai radom pada antenna pandugelombang resonan pada frekuensi 11 GHz. Beliau mendapati gandaan antenna meningkat sebanyak 7 dB. Lebar jalur antenna juga telah meningkat sekurang-kurangnya 10% daripada lebar jalur asal antenna ujian[28].

Kesemua penyelidik tadi telah menggunakan bahan dielektrik sebagai radom dan ini menjadikan kajian untuk meningkatkan prestasi antenna RLSA semakin menarik.

## **1.5 Kesimpulan**

Kajian literatur menunjukkan tiada satupun penyelidikan mengemukakan data cuping belakang untuk antenna RLSA. Ini berkemungkinan aplikasi yang dicadangkan untuk penggunaan antenna itu tidak memerlukan data tersebut. Kajian literatur juga mendapati belum ada penyelidikan dilakukan terhadap antenna RLSA untuk kegunaan perhubungan titik ke titik dan perhubungan titik ke banyak titik. Oleh itu, tesis ini mampu memberikan satu maklumat penting kepada kajian penggunaan antenna RLSA untuk aplikasi capaian wayarles tetap seperti gandaan, aras cuping sisi, diskriminasi kutub silang, kehilangan balikan, kecekapan antenna dan nisbah cuping hadapan ke cuping belakang. Tesis ini juga akan mengkaji saiz terkecil yang boleh dibina untuk antenna RLSA berpengutuban lurus pada frekuensi 5.8 GHz. Ini bertujuan menghasilkan antenna RLSA pada harga yang murah tetapi memenuhi ciri-



ciri utama antenna seperti gandaan dan kecekapan yang tinggi. Penggunaan radom dielektrik keatas antenna juga akan dikaji dalam tesis ini.

## 1.6 Garis Kasar Tesis

Kandungan ringkas keseluruhan tesis adalah seperti berikut:

Bab kedua dalam tesis ini membincangkan gambaran kasar ciri-ciri dan jenis-jenis antenna yang lazimnya digunakan dalam Rangkaian Kawasan Setempat Wayarles. Di dalam bab ini juga dibincangkan mengutarakan teori pengutuban lurus antenna RLSA. Ini termasuklah corak rekabentuk lubang-lubang alur bagi menghasilkan antenna yang dinamakan rekabentuk pemasangan arah pancaran (*beam squinted*).

Bab tiga pula menerangkan bagaimana penentuan parameter dan kaedah pengukuran antenna. Dalam bab ini, beberapa parameter penting serta teknik pengukuran antenna dibincangkan.

Penerangan terperinci mengenai proses pembinaan prototaip antenna dijelaskan dalam bab keempat. Proses ini termasuklah penentuan spesifikasi produk, membentuk suapan, ruang jejarian, perisian rekabentuk corak lubang alur serta perisian simulasi (*simulation*), proses membentuk fizikal permukaan menyinar dan proses penghasilan serta teknik prototaip.

Seterusnya dalam bab kelima, menyentuh mengenai tatacara pengukuran yang dijalankan terhadap prototaip antenna RLSA. Peralatan dan kaedah yang digunakan juga turut dibincangkan dalam bab ini.

Dalam bab keenam pula dibincangkan mengenai keputusan dan analisa pengukuran. Penelitian dan penyelidikan tentang keupayaannya dibuat bagi setiap antena RLSA. Antena prototaip pada saiz yang berbeza diameter telah berjaya dibina dan diuji keupayaannya. Pengujian penggunaan antena prototaip keatas sistem komersil perhubungan titik ke titik menggunakan peralatan Redline AN50 ditunjukkan. Keputusan menunjukkan antena prototaip berjaya beroperasi pada sistem tersebut dengan penghantaran data maksimum 36Mbps.

Tesis ini diakhiri dengan bab yang ke tujuh mengenai perbincangan yang menyeluruh, kesimpulan yang dibuat hasil daripada pengkajian yang dilaksanakan dan diikuti dengan cadangan-cadangan untuk kerja-kerja pada masa hadapan.

Daya tarikan antena prototaip adalah reka bentuknya yang menarik, nipis dan mudah juga bersesuaian bagi penggunaan pada kawasan yang mementingkan pemandangan estatik seperti di Cyberjaya dan Putrajaya. Untuk itu kajian penggunaan bahan dielektrik dengan permukaan antena yang menarik perlu dijalankan bagi membolehkan antena RLSA diterima dipasaran.

## RUJUKAN

1. Harry R. Anderson (2003). *Fixed Broadband Wireless System Design*. John Willey and Sons Ltd, West Sussex.
2. Simon R. Saunders (1999). *Antennas and Propagation For Wireless Communication Systems*. John Willey and Sons Ltd, West Sussex.
3. Malaysian Communications and Multimedia Commission (2002). *Spectrum Plan 9kHz-420THz*. First edition. Kuala Lumpur.
4. Martin P. Clark (2000). *Wireless Access Networks*. John Willey and Sons Ltd, West Sussex
5. G.C. Southworth. *Microwave Radio Transmission*. US Patent 2,405,242. 1946
6. Ando M., Numata T., Takada J., Goto N. (1988). *A linearly polarized radial line slot antenna*. IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 36. No. 12. 1675-1680.
7. K.C.Kelly (1957). *Recent Annular Slot Array Experiments*. IRE National Convention Record, Vol. 5, Part 1, 144-151.
8. F.J.Goebels, Jr., K.C.Kelly (1961). *Arbitrary Polarization From Annular Planar Antenna*. IRE Trans. On Antennas and Propagation, Vol. AP-9, 342-349.
9. K.C.Kelly, F.J.Goebels, JR. (1964). *Annular Slot Monopulse Antenna Array*. IEEE Trans. Antennas and Propagation, Vol AP-12, 391-403.
10. N.Goto, M.Yamamoto (1980). *Circularly Polarized Radial Line Slot Antennas*. IECE Technical Report, AP89-54, 43

11. M.Takahashi, J.Takada, M.Ando, N.Goto (1989). *A Single-Layered Radial Line Slot Antenna*. IECE Technical Report, AP89-54.
12. Naohisa Goto, Yoshiharu Ito, Kunitaka Arimura, Makato Ando, Tatsuya Shirai, Ryuji Teramoti. *Flat Circular Unidirectional Microwave Antenna*. US patent 4,819,003. 1989.
13. Masaharu Takashi, Makato Ando, Naohisa Goto, Yuji Numano, Masanori Suzuki, Yusuhiko Okazaki, Takashi Yoshimoto (1995). *Dual Circularly Polarized Radial Line Slot Antennas*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 43. No. 8.
14. Davis, P.W. and Bialkowski, M.E. (1997). *Experimental investigations into a linearly polarized radial slot antenna for DBS TV in Australia*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 45. No. 7. 1123-1129.
15. Kechagias, K.; Vafiadis, E.; Sahalos, J.N. (1998). *On the RLSA antenna optimum design for DBS reception*. IEEE Transactions on Broadcasting, Vol. 44. Issue. 4. 460-469.
16. Herranz-Herruzo, J. I.; Ferando-Betaller, M.; Valero-Nogueira, A.(2002). *Optimized design of linearly polarized radial-line slot-array antennas using multiple method of moments*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 3. 526-529.
17. Manuel Sierra-Castaner ; Manuel Sierra-Perez ; Maria Vera-Isasa ; Jose Luis Fernandez-Jambrina (2003). *Low-Cost Monopulse Radial Line Slot Antenna*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, Vol. 51. No. 2.
18. Lim, T.S.; Tharek, A.R.; Wan Khairuddin, W.A; Hasnain, A. (2003) *Prototypes development for reflection canceling slot design of radial line slot array antenna for direct broadcast satellite reception*. Applied Electromagnetics, 2003. APACE 2003. Asia-Pacific Conference, pp. 34-37.

19. Hasnain bin Abdullah @ Idris (2002). *Pembangunan dan Pengujian Keupayaan Antena Radial Line Slot Array (RLSA) Berpengutuban Lelurus untuk Penerimaan Isyarat Perkhidmatan Satelit Penyiaran Terus (DBS) di Malaysia*. Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana.
20. Utusan Malaysia (2002) *Kelebihan Antena Rata*. Sabtu 20 Julai.
21. Shavit, R. (1996). *MM-wave multi-beam slot array antenna*. Nineteenth Convention of Electrical and Electronics Engineers in Israel, 173-175
22. Kim, Y.; Lee, J.; Chae, H.; Park, J.; Kim, S.-C.; Nam, S. (2002). *60 GHz band radial line slot array antenna fed by rectangular waveguide*. Electronic Letters, Vol. 58. Issue. 2. 59-60
23. Tharek, A.R.; Farah Ayu, I.K (2002). *Theoretical investigations on linearly polarized radial line slot array (RLSA) antenna for wireless LAN indoor application at 5.5 GHz*. Electrotechnical Conference, MELECON 2002. 11<sup>th</sup> Mediterranean. 364-367
24. Farah Ayu binti Ismail Kassim (2004). *Small Aperture Radial Line Slot Array Antenna Design and Development For Indoor Wireless Local Area Network Application*. Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana.
25. <http://www.kurasc.kyoto-u.ac.jp/jusp/S4-3.pdf>
26. Hase Y; Obara N.; Saito,H.; Ohuchi, C. (1996). *Slot Array antenna system for COMETS advanced mobile sitcom experiments*. Vehicular Technology Conference, Mobile Technology for the Human Race. Vol. 1. 353-356.
27. Y. Hwang; Y.P. Zhang; K.M. Luk; E.K.N. Yung (1997). *Gain-enhanced miniaturized rectangular dielectric resonator antenna*. Electronics Letters, Vol. 33. No. 5.

28. M. Hakkak and H. Ameri (1992). *Gain Enhancement of Dielectric Resonator Loaded Waveguide Antennas with Dielectric Overlays*. Electronics Letters, Vol. 28. No. 6.
29. IEEE (1993). *IEEE Standard Definitions of Terms for Antennas*. IEEE Antennas and Propagation Society, USA
30. Planet3 Wireless Inc (2002). *Certified Wireless Network Administrator, Official Study Guide*. Georgia, USA.
31. Takada, J., Ando M. and Goto N. (1991). *Suppressed of reflection from slots in a linearly-polarized radial line slot antenna*. Proceedings IEEE AP-S International Symposium, 1342-1345.
32. Davis, P.W. (2000). *A linearly polarized radial line slot antenna for direct broadcast satellite services*. University of Queensland, Australia, Thesis Ph.D.
33. Davis, P.W. and Bialkowski, M.E. (1996). *Prototyping of radial slot antennas for the direct to home satellite TV in Australia*. Proceedings of ISAP'96, Chiba, Japan.
34. Balanis C. A. (1997). *Antenna Theory, Analysis and Design*. John Willey & Sons Inc, New York.
35. Stutzman W. L. and Thiele G. A. (1998). *Antenna Theory and Design, Second Edition*. John Willey & Sons Inc, New York.
36. J.S. Hollis, T.J. Lyon, L. Clayton, Jr. (1970). *Microwave Antenna Measurement*. Scientific-Atlanta, Inc, Atlanta, Georgia, USA
37. Schejbal, V.; Mahoney, J.D.; McDonald, N. (1999). *Directivity of planar antennas*. Antennas and Propagation Magazine, IEEE , Volume: 41 , Issue: 2

38. IEEE (1979). *IEEE Standard Test Procedures for Antennas*. Antenna Standard Committee, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.
39. [www.telex.com/Wireless/faq.nsf](http://www.telex.com/Wireless/faq.nsf)
40. European Telecommunication Standards Institute (2004). *Fixed Radio Systems, Point to Multipoint Antennas, Antennas for Point to Multipoint fixed radio systems in the 3GHz to 11GHz band*. ETSI EN 302 085 V1.2.2 (2003-08).
41. Warren L. Stutzman (1993). *Polarization in Electromagnetic Systems*. Artech House. Boston, London.
42. Jeffrey A. Fordham (1999). *An Introduction to Antenna Ranges, Measurements and Instrumentation*. The magazine of Antennas, Components and Infrastructure for Wireless Communications, Volume 2.
43. Bialkowski, M. E. (1995). *Analysis of a coaxial –to-waveguide adaptor including disc-ended probe and a tuning post*. IEEE Transactions Microwave Theory Tech. Vol.43. No. 2. 344-349.
44. Lim Tien Sze (2002). *Linearly Polarised Radial Line Slot Array Antenna Radiation Pattern Modelling And Test-Bed Development For Direct Broadcast Satellite*. Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana.
45. Razali Ngah; Imran Mohd Ibrahim; Wan Khairuddin Wan Ali (2000). *Absorbers Analysis For Anechoic Chamber*. National Conference On Telecommunication Technology 2000, Johor Bahru, Malaysia, A46-48
46. Abdul Kadir Deris (2001). “Kajian Awal Pembangunan Kebuk Tanpa Gema atau *Anechoic Chamber*” Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana Muda.



47. Imran Mohd Ibrahim (November 2000). “Penyerap Gelombang Mikro Untuk Anechoic Chamber” Universiti Teknologi Malaysia. Tesis Sarjana Muda.
48. IEEE (1999). *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, High-speed Physical Layer in the 5 GHz Band*. LAN/MAN Standards Committee, The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.