

**SINTESIS DAN PENCIRIAN BaTiO_3 TERDOP Nd SEBAGAI
ANTENA PENYALUN DIELEKTRIK (DRA).**

NIK AKMAR BIN REJAB

**UNIVERSITI SAINS MALAYSIA
MAC 2010**

**SINTESIS DAN PENCIRIAN BaTiO₃ TERDOP Nd SEBAGAI
ANTENA PENYALUN DIELEKTRIK (DRA)**

oleh

NIK AKMAR BIN REJAB

**Tesis yang diserahkan untuk
memenuhi keperluan bagi
Ijazah Sarjana Sains**

MAC 2010

Saya isytiharkan bahawa kandungan yang dibentangkan di dalam disertasi ini adalah hasil kerja saya sendiri dan telah dijalankan di Universiti Sains Malaysia kecuali dimaklumkan sebaliknya. Disertasi ini juga tidak pernah disertakan untuk ijazah yang lain sebelum ini.

Disaksikan Oleh:

(TANDATANGAN CALON)

Nama Calon: Nik Akmar Bin Rejab

Tarikh: 26 MAC 2010

(TANDATANGAN PENYELIA)

Nama Penyelia: Prof. Zainal Arifin Bin Ahmad

Tarikh: 26 MAC 2010

PENGHARGAAN

Alhamdulillah, syukur saya kehadiran Allah S.W.T, kerana di atas izin dan berkat dariNya dapat saya menyiapkan projek sarjana ini. Di kesempatan helaian ini saya coretkan setinggi-tinggi ucapan terima kasih kepada penyelia utama saya iaitu Prof. Dr. Hj. Zainal Arifin Bin Ahmad yang sentiasa memberikan dorongan dan bimbingan sepanjang perjalanan penyelidikan ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan kepada Dr. Srimala Sreekantan dan Dr. Khairunisak Binti Abd. Razak sebagai penyelia bersama yang sentiasa bersedia menghulurkan bantuan dalam menyiapkan tesis ini. Tidak lupa juga kepada Dr. Mohd. Fadzil Ain dan Dr. Shah Rizal Kassim kerana memberi pandangan dalam bidang kepakaran masing-masing.

Terima kasih yang tidak terhingga kepada peruntukan geran Penyelidikan Universiti (RU), Universiti Sains Malaysia di bawah tajuk "*Advanced Materials for Industrial Application*" kerana membiayai yuran serta elaun sara hidup sepanjang tempoh pengajian ini (Mac 2008- Mac 2010).

Ucapan terima kasih turut diajukan kepada seluruh warga Pusat Pengajian Kejuruteraan Bahan dan Sumber Mineral kerana memberi peluang kepada saya untuk menyiapkan projek sarjana ini. Jasa baik Dekan, Prof. Dr. Ahmad Fauzi Mohd Noor, Timbalan-Timbalan Dekan, pensyarah-pensyarah serta kakitangan pusat pengajian yang sentiasa memberikan pertolongan tidak akan dilupakan. Terima kasih yang tidak terhingga kepada juruteknik-juruteknik iaitu En. Shahrul Ami Bin Zainal Abidin, En. Zaini Bin Saari, En. A. Razak Bin Embi, En. Abd Rashid Bin Selamat,

En. Khairi, Pn. Fong Lee Lee, En. Mohd Azrol Bin Zainol Abidin dan En. Mokhtar Bin Mohamad yang banyak memberikan bantuan sepanjang projek ini berlangsung.

Teristimewa buat ayahanda dan bonda yang disayangi Rejab Bin Osman dan Norma Binti Derani, terima kasih atas kasih sayang serta segala pengorbanan, dorongan dan bantuan samada dari segi mental, kewangan, masa dan tenaga yang telah dicurahkan. Buat isteri tercinta Nurul Khairunnisa Bt Su, terima kasih kerana sanggup memahami dan berkongsi suka dan duka dalam menempuhi kehidupan ini. Kepada anak-anak saudara, Khairusy Syakirin, Khairul Fashilin, Khairul Khafizin, Fitri Zulkarnain, Fikri Zulfikar dan Fidri Zulhail terima kasih kerana sentiasa menceriakan suasana dalam kehidupan ini. Semoga kejayaan ini menjadi dorongan buat kalian untuk lebih berjaya di dunia dan akhirat.

Akhir sekali, buat rakan seperjuangan khususnya rakan-rakan pelajar siswazah lanjutan, Pn. Banjuraizah Bt Johar, En. Hazman Bin Seli, En. Nur Azam Bin Badruzaman, En. Mohd Al Amin Bin Md Nor, En. Azman Bin Zakariya, En. Mohamadarif Bin Othman, En. Ahmad Zahirani Bin Ahmad Azhar, En. Nik Noriman Bin Zulkifli, En. Firdaus Bin Rusli, En. Mohd Zhariff, En. Firdaus Zakariya, En Mohd Nor Hakimi, En. Mohd Ehsan Bin Mohd Zubir, En. Yazeed dan semua yang banyak memberi tunjuk ajar serta sepanjang pengajian. Saya dahulukan dengan ucapan jutaan terima kasih kerana sokongan dan galakan kalian menjadi pendorong bagi saya menyempurnakan tesis ini.

Sekian, terima kasih

NIK AKMAR BIN REJAB

ISI KANDUNGAN

BAB	PERKARA	MUKA SURAT
	PENGHARGAAN	ii
	ISI KANDUNGAN	v
	SENARAI JADUAL	ix
	SENARAI RAJAH	x
	SENARAI SIMBOL	xiii
	SENARAI SINGKATAN	xiii
	ABSTRAK	xiv
	ABSTRACT	xv
BAB 1 : PENGENALAN		
	1.1 Pendahuluan	1
	1.2 Penyataan Masalah	4
	1.3 Objektif Penyelidikan	8
	1.4 Skop Penyelidikan	9
BAB 2 : KAJIAN PERSURATAN		
	2.1 Pendahuluan	11
	2.2 Aplikasi Rangkaian	13
	2.2.1 Antena	14
	2.2.2 Antena Penyalun Dielektrik	15
	2.2.2.1 Kesan Bentuk Antena Penyalun Dielektrik	19
	2.2.2.1.1 Antena Penyalun Dielektrik Silinder	21
	2.2.2.1.2 Antena Penyalun Dielektrik Segiempat	22
	2.2.2.1.3 Antena Penyalun Dielektrik Hemisfera	23

2.3 Elektroseramik	23
2.3.1 Keramik Piezoelektrik, Piroelektrik dan Feroelektrik	24
2.4 Sintesis Bahan Dielektrik	25
2.4.1 Sintesis Tindak Balas Pepejal	26
2.4.2 Sintesis Tindak Balas Kimia (Sol Gel)	26
2.4.3 Pengkalsinan	28
2.4.4 Pembentukan	30
2.4.5 Pemadatan	31
2.4.6 Pensinteran	32
2.4.7 Fabrikasi Antena Penyalun Dielektrik	36
2.5 Pengaruh Frekuensi terhadap Sifat Dielektrik	37
2.6 Pengukuran terhadap Aplikasi Antena	38
2.6.1 Frekuensi Salunan	36
2.6.2 Kehilangan Pulangan Minima	39
2.6.3 Corak Radiasi	41
2.6.3.1 Nisbah Cuping Hadapan ke Belakang (a/h)	41

BAB 3 : TATACARA EKSPERIMEN

3.1 Pendahuluan	43
3.2 Penyediaan Sampel	44
3.3 Bahagian 1: Penghasilan BaTiO ₃ dan Nd dopan BaTiO ₃	47
3.3.1 Bahan Mentah	47
3.3.2 Rekabentuk Formulasi Komposisi BNT	47
3.3.2.1 Formulasi Komposisi Bagi Sistem Ba _{1-x} Nd _x TiO ₃	49
3.3.3 Penghasilan Gel	50

3.3.4 Pengeringan dan Pengkalsinan	51
3.3.5 Pembentukan Pelet dari Serbuk BNT	52
3.3.6 Pensinteran Pelet	53
3.3.7 Analisis Struktural dan Mikrostruktural	53
3.3.7.1 Analisis Pembelauan Sinar X (XRD)	53
3.3.7.2 Analisis Mikrostruktur dengan FESEM	54
3.3.8 Sampel Akhir	55
3.4 Bahagian 2: Ujian Penentukuran Peralatan “ <i>Agilent Network Analyser</i> ”.	55
3.4.1 Frekuensi Salunan, f , Kehilangan Pulangan, Peratus Lebar Jalur	57
3.4.2 Pengenalan Ringkas Kaedah Pengukuran Corak Pola Radiasi	58
 BAB 4 : KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN	
4.1 Pendahuluan	61
4.2 Bahagian 1: Sintesis dan Pencirian BNT	61
4.2.1 Sintesis	61
4.2.2 Penentuan Suhu Pengkalsinan	65
4.2.2.1 Analisis TG	65
4.2.2.2 Perbandingan Analisis Fasa bagi Serbuk BaTiO ₃	69
4.2.2.3 Analisis Fasa bagi Serbuk BNT	72
4.2.2.4 Analisis Mikrostruktur Serbuk Selepas Kalsin	74
4.2.3 Pemadatan Serbuk dalam Acuan Silinder	78
4.2.4 Penentuan Suhu Optimum Pensinteran	79
4.2.5 Pencirian bagi Pelet	80
4.2.5.1 Analisis Fasa Pelet BNT	80

4.2.5.2 Pencirian Mikrostruktur Bagi Pelet BNT	83
4.3 Bahagian 2 : Analisa Pengukuran terhadap BNT sebagai DRA	87
4.3.1 Frekuensi Salunan	88
4.3.2 Kehilangan Pulangan Minima	97
4.3.3 Peratusan Lebar Jalur	99
4.3.4 Perbandingan Keputusan Simulasi dan Eksperimen	100
4.3.5 Keputusan Corak Radiasi	105
BAB 5 : KESIMPULAN	
5.1 Kesimpulan	109
5.2 Cadangan Penyelidikan	110
RUJUKAN	111
LAMPIRAN	118

SENARAI JADUAL

JADUAL	TAJUK	MUKA SURAT
Jadual 1.1	Pembahagian frekuensi dalam aplikasi komunikasi mengikut piawaian ITU.	4
Jadual 1.2	Ringkasan pembahagian frekuensi terhadap perkhidmatan tanpa wayar oleh MCMC.	7
Jadual 2.1	Ringkasan kajian dimensi dan frekuensi resonan antena tampalan logam berjalur kecil berdasarkan kajian - kajian sebelum ini	16
Jadual 2.2	Parameter bagi sistem $Ba_{1-x}Re_xTiO_3$ (Re = Ce, Nd and Pr) dengan $x = 0.003$ (Mahboob et al. 2006)	18
Jadual 2.3	Ringkasan kaedah hasil gel $BaTiO_3$ daripada penyelidikan-penyelidikan sebelum ini.	28
Jadual 3.1	Pembekal dan peratus ketulenan bahan yang digunakan dalam sintesis BNT.	47
Jadual 3.2	Amaun bagi bahan pemula dan pelarut yang diperlukan bagi semua sistem BNT($x = 0 - 0.13$).	48
Jadual 4.1	Keputusan ketumpatan pukal dan % keliangan bagi sebatian BNT	79
Jadual 4.2	Keputusan %BW bagi setiap DR sebatian BNT	99
Jadual 4.3	Keputusan eksperimen dan simulasi f , kehilangan pulangan minima dan %BW bagi DRA berbentuk silinder sebatian BNT.	101
Jadual 4.4	Jarak y bagi setiap penyalun dielektrik BNT.	106

SENARAI RAJAH

RAJAH	TAJUK	MUKA SURAT
Rajah 2.1	Gambarajah blok antena dalam sistem komunikasi tanpa wayar.	15
Rajah 2.2	Kehilangan pulangan bagi antena dengan ketinggian berlainan.	20
Rajah 2.3	Kehilangan pulangan bagi kedua-dua antena dengan kelebaran berbeza.	20
Rajah 2.4	Penyalun dielektrik berbentuk silinder (Petosa, 2007).	22
Rajah 2.5	DRA berbentuk segiempat (Petosa, 2007).	22
Rajah 2.6	DRA berbentuk hemisfera (Petosa, 2007).	23
Rajah 2.7	Penekanan kering eka-paksi; (a) penggelongsoran dan penyusunan semula, (b) penyerpihan partikel dan (c) penyingkiran liang-liang (Reed, 1988).	31
Rajah 2.8	Peringkat-peringkat dalam penempatan jasad seramik semasa pensinteran. (a) Peringkat serbuk bebas (b) Peringkat permulaan pengikatan (c) Peringkat pembentukan sempadan butiran (d) Peringkat penempatan dan penghapusan liang pada sempadan butiran (Randall, 1991).	35
Rajah 2.9	Rekabentuk Antena Penyalun Dielektrik (DRA).	37
Rajah 2.10	Lakaran skematik variasi jumlah polarisasi dan penyerapan sebagai fungsi terhadap frekuensi (Gao dan Sammes, 1999).	38
Rajah 2.11	Lakaran pengukuran frekuensi salunan, f , Kehilangan pulangan minima dan lebar jalur yang digunakan di USM.	39
Rajah 2.12	Kesan ketebalan penyalun ke atas kehilangan pulangan.	40
Rajah 2.13	Jenis plot corak radiasi (a) segiempat tepat dan (b) kutub sebagai fungsi koordinat sfera.	41
Rajah 2.14	Corak radiasi antena berarah	42
Rajah 3.1	Carta aliran bagi proses penghasilan serbuk BNT melalui kaedah sol gel dan analisis yang terlibat	46

Rajah 3.2	Profil pensinteran bagi seramik BNT	53
Rajah 3.3	Rekabentuk antenna penyalun diektrik (DRA) mod $HE_{11\delta}$	56
Rajah 3.4	Contoh frekuensi salunan bagi DR berbentuk segiempat dengan $\epsilon_r = 38$ (Mailadil, 2008)	57
Rajah 3.5	Rekabentuk pengukuran corak radiasi	60
Rajah 3.6	Corak radiasi bagi DRA sebagai unit isyarat penerima (Agilent, 2006).	60
Rajah 4.1	Hasil mendakan putih selepas pencampuran bahan pemula	62
Rajah 4.2	Hasil sol cerah selepas pencampuran bahan pemula selepas dihidrolisis selepas ~ 3 minit.	63
Rajah 4.3	Hasilan sintesis sol lengkap.	64
Rajah 4.4	Pembentukan gel selepas pemanasan pada 90°C selama 5 minit.	64
Rajah 4.5	Gel dikeringkan selepas proses pengeringan pada suhu 100°C selama 24 jam.	65
Rajah 4.6	Keputusan analisis TG bagi serbuk BNT, (a) $x = 0$, (b) $x = 0.01$ dan (c) $x = 0.03$, (d) $x = 0.05$, (e) $x = 0.07$, (f) $x = 0.10$ dan (g) $x = 0.13$.	66
Rajah 4.7	Suhu penghabluran untuk fasa BaTiO_3 berdasarkan analisis TG bagi keseluruhan sistem BNT ($x = 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10$ dan 0.13).	69
Rajah 4.8	Keputusan XRD bagi serbuk sebelum bakar dan serbuk barium titanat (BaTiO_3) selepas pengkalsinan.	71
Rajah 4.9	Corak pembelauan XRD bagi $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{TiO}_3$ ($x = 0, 0.01, 0.05, 0.07, 0.10$ dan 0.13) selepas dikalsin pada suhu 700°C selama 1 jam.	73
Rajah 4.10	Mikrograf SEM bagi butiran BNT dengan komposisi (a) $x = 0$, (b) $x = 0.03$, (c) $x = 0.05$, (d) $x = 0.07$, (e) $x = 0.10$ dan (f) $x = 0.13$, terkalsin pada suhu 700°C selama 1 jam.	75
Rajah 4.11	Ketumpatan pelet-pelet BNT ($x = 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10$ dan 0.13) tersinter pada suhu 1200°C , 1250°C dan 1300°C , selama 3 jam.	80
Rajah 4.12	Corak pembelauan XRD bagi pelet BNT ($x = 0, 0.01, 0.05, 0.07, 0.10$ dan 0.13) selepas disinter pada suhu	82

1250°C selama 3 jam.

Rajah 4.13	Mikrograf SEM bagi BNT dengan mempelbagaikan kepekatan bagi unsur Nd (x) dalam unit mol (a) x = 0, (b) x = 0.01, (c) x = 0.03, (d) x = 0.05, (e) x = 0.07 (f) x = 0.10, dan (g) x = 0.13.	84
Rajah 4.14	Parameter-parameter yang boleh diperolehi daripada graf frekuensi (GHz) melawan kehilangan pulangan dalam unit dB.	88
Rajah 4.15	Keputusan pengukuran dan simulasi f bagi penyalun dielektrik (a) BNT (x = 0.01), (b) BNT (x = 0.03), (c) BNT (x = 0.05), (d) BNT (x = 0.07), (e) BNT (x = 0.10) dan (f) BNT (x = 0.13).	89
Rajah 4.16	Nilai f bagi semua DR sebatian BNT (x = 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10 dan 0.13).	93
Rajah 4.17	Kesan saiz butir terhadap permitiviti relatif (ϵ_r) penyalun dielektrik BNT.	95
Rajah 4.18	Permitiviti relatif (ϵ_r) dan faktor kehilangan ($\tan \delta$) bagi seramik BNT (x = 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10 dan 0.13).	96
Rajah 4.19	Ringkasan kehilangan pulangan minima dari Rajah 4.19 bagi frekuensi saluran yang terhasil.	98
Rajah 4.20	Perbandingan keputusan eksperimen dan simulasi terhadap f .	102
Rajah 4.21	Perbandingan keputusan eksperimen dan simulasi terhadap nilai kehilangan pulangan minima dalam unit (dB).	103
Rajah 4.22	Perbandingan keputusan eksperimen dan simulasi terhadap % BW.	104
Rajah 4.23	Corak radiasi bagi setiap penyalun BNT.	106

SENARAI SIMBOL

ϵ_r	Permitiviti relatif
Tan δ	Kehilangan tangen
f	Frekuensi salunan
dB	Unit desibel
μ	Unit mikro
\emptyset	Sudut dogakan
Θ	Sudut Azimu
λ	Panjang gelombang

SENARAI SINGKATAN

BaTiO ₃	Barium Titanat
BNT	Barium Titanat didopkan Nd
CST	Computer Simulation Technology
DBS	Direct Broadcast Satellite
GHz	Giga Hertz
IEEE	Institute Electrical and Electronics Engineer
MHz	Mega Hertz
SKMM	Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia
SMA	Subminiature Screw Coupled Connector
USM	Universiti Sains Malaysia
WLAN	Wireless Local Area Network

SINTESIS DAN PENCIRIAN BaTiO_3 TERDOP Nd SEBAGAI ANTENA PENYALUN DIELEKTRIK (DRA)

ABSTRAK

Sebatian barium titanat yang didopkan dengan unsur neodimium (Nd) dihasilkan berdasarkan sistem $\text{Ba}_{(1-x)}\text{Nd}_x\text{TiO}_3$ dengan nilai x berubah dari 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10 dan 0.13. Sebatian ini disediakan melalui kaedah sol gel. Serbuk dikalsin pada suhu 700°C dan fasa tetragonal wujud sebelum proses pensinteran pada 1250°C selama 3 jam. Sampel tanpa dop mempunyai struktur hablur tetragonal dan sampel berdop Nd menunjukkan peralihan fasa tetragonal kepada kubik. Selain itu, hasilan butiran halus ($0.35 \mu\text{m}$) dengan penambahan Nd adalah disebabkan oleh pertumbuhan butiran yang terhalang. Serbuk bagi setiap komposisi dibentuk menjadi pelet dan diuji sebagai Antena Penyalun Dielektrik (DRA). Setiap sampel menunjukkan frekuensi salunan wujud dalam aplikasi Jalur-X ($7 - 11.2 \text{ GHz}$) dan permitiviti relatif (ϵ_r) adalah dalam julat $51.25 - 56.89$ manakala kehilangan tangen, ($\tan \delta$) adalah $0.039 - 0.045$ bergantung kepada kepekatan Nd pada suhu bilik. DRA yang dihasilkan sesuai diaplikasi dalam julat $8.71 - 9.16 \text{ GHz}$. Corak radiasi menunjukkan isyarat yang dihasilkan boleh terarah ke semua arah atau dikenali sebagai '*omni-directional signal*'.

SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF Nd DOPED BaTiO₃ AS DIELECTRIC RESONATOR ANTENNAS (DRA)

ABSTRACT

Neodymium (Nd) doped barium titanate powder (Ba_(1-x)Nd_xTiO₃) with x value varying from 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10 and 0.13 was prepared using the sol gel method. The powder was calcined at 700°C and tetragonal phase exist before sintered at 1250°C for 3 hours. The undoped samples have polycrystalline tetragonal structure and Nd doping into BaTiO₃ caused phase transformation form tetragonal to cubic. In addition, the smaller grains (0.35 μm) with the addition of Nd is associated to the inhibit grain growth of samples. The powders for each composition were formed into pellets and tested as dielectric resonator antenna (DRA). Each samples showed a resonance frequency at X-band (7-11.2 GHz) application and relative permittivity (ϵ_r) value in the range of 51.25 – 56.89 and the tangent loss ($\tan \delta$) was 0.039 – 0.045 depending on the concentration of the Nd at room temperature. This DRA are suitable in the range of 8.71 – 9.16 GHz application. The radiation pattern showed the omni-directional signal that improved the transmitter and receiver in all direction.

BAB 1

PENGENALAN

1.1 Pendahuluan

Industri elektronik semakin berkembang maju dan menggunakan teknologi tinggi hasil dari penggunaan komponen-komponen dari bahan elektroseramik. Hasilnya telah membawa kepada aplikasi komponen seramik yang meluas sebagai bahagian dalaman alatan elektronik seperti komputer, telefon bimbit, radio, cerek elektrik, motor ultrasonik, perintang, transduser diagnostik perubatan dan kapasitor pemalar dielektrik tinggi.

Pembangunan teknologi yang berasaskan elektrik dan elektronik memerlukan bahan elektroseramik yang mempunyai sifat elektrik, magnetik dan optik yang sangat baik. Asas elektroseramik adalah berpunca daripada kelakuan elektron-elektron di dalam struktur bahan yang boleh memberi kelainan pada kelakuan elektrik dan elektronik bahan berkenaan. Bahan elektroseramik adalah berasaskan bahan yang telah dikenalpasti dan dipilih daripada bahan mentah yang berketulenan tinggi.

Sifat bahan elektroseramik boleh dimodifikasi untuk memenuhi aplikasi penebat, bahan feroelektrik, seramik berkonduktif tinggi, elektrod sebagai sensor serta alat pengawal atur (*actuator*) dan antena penyalun dielektrik (DRA) pada gelombang mikro. Kelebihan ini telah menjadikan bahan elektroseramik sebagai bahan yang paling sesuai dalam kebanyakan komponen elektronik. Elektroseramik

boleh bertindak sebagai peranti gelombang mikro kerana sifat dielektriknya boleh diubah mengikut penggunaannya. Antara penggunaan yang paling mendapat tumpuan pada masa kini adalah antena penyalun dielektrik (DRA) yang beroperasi pada gelombang mikro. Kebanyakan sebatian seramik feroelektrik yang wujud secara semulajadi mempunyai ketulenan yang rendah dan tidak homogen dalam sifat fizikal. Oleh itu, sebatian ini perlu diubahsuai secara sintetik untuk mendapat kesesuaian dalam kegunaan yang diperlukan. Maka, kajian ini mencadangkan kaedah tindakbalas kimia sol gel yang terbukti dapat menghasilkan sebatian yang homogen dan berketulenan tinggi berbanding tindakbalas pepejal dalam menghasilkan bahan elektroseramik untuk digunakan sebagai antena penyalun dielektrik (DRA).

DRA berfungsi sebagai peranti penerima dan pemancar isyarat telekomunikasi yang lebih berkesan berbanding antena sedia ada yang menggunakan logam. Selain mengalami kehilangan dielektrik yang tinggi antena yang menggunakan logam adalah bersaiz lebih besar berbanding antena penyalun dielektrik (Petosa et al. 2007). Banyak kelebihan terdapat pada penyalun antena berdielektrik. Antaranya ialah saiz antena yang dihasilkan dapat dikecilkan jika pemalar dielektrik bahan elektroseramik tersebut ditingkatkan (Peng et al. 2004). Kecenderungan terhadap pengurangan saiz penyalun antena dan aplikasi tanpa wayar pada gelombang mikro menyebabkan impak yang besar dalam sistem telekomunikasi pada masa kini. Ini kerana, arus perubahan kini mengutamakan rekabentuk komponen yang lebih padat untuk senang dibawa serta mempunyai banyak fungsi bagi kemudahan pengguna.

Penyalun antenna dalam aplikasi gelombang mikro suatu sebatian seramik perlu memiliki beberapa syarat utama. Syarat-syarat tersebut ialah mempunyai dielektrik yang tinggi, faktor lesapan yang rendah dan sifat dielektrik yang stabil terhadap perubahan suhu. Bahan elektroseramik memainkan peranan penting kepada sejagat melalui perhubungan yang meluas daripada daratan sehingga komunikasi satelit. Sebagai contoh, telefon bimbit menggunakan gelombang GSM (*Global System for Mobile Communications*) beroperasi pada frekuensi gelombang 850 MHz sehingga 1900 MHz. Gelombang WLAN (*Wireless Local Area Network*) untuk jaringan komputer tanpa wayar pula beroperasi pada frekuensi 2.4 GHz. Selain itu, gelombang "Bluetooth" iaitu komunikasi tanpa wayar berjarak sederhana beroperasi pada frekuensi 2.45 GHz. Manakala televisyen satelit penyiaran sambungan langsung (DBS TV) beroperasi pada frekuensi 12 GHz. Kemajuan terhadap sistem telekomunikasi gelombang mikro dan penyiaran satelit kini telah menyebabkan permintaan yang tinggi terhadap penyalun dielektrik (DR) berbentuk silinder yang mempamerkan kehilangan yang rendah (Petosa, 2007) berbanding penyalun daripada logam dan saiz antenna boleh dikurangkan.

Umumnya DR merupakan komponen elektromagnetik yang mempunyai permitiviti relatif (ϵ_r) yang tinggi (> 20) dan faktor kehilangan terendah (< 0). Dalam kajian ini, bahan elektroseramik dihasilkan untuk digunakan sebagai sebuah unit antenna penyalun dielektrik (DRA). Pengukuran terhadap DRA terhadap frekuensi salunan, f , adalah untuk menentukan potensi DRA tersebut sebagai antenna yang boleh beroperasi pada frekuensi lebih tinggi berbanding penyalun logam sedia ada yang beroperasi pada julat 2.4 – 5.8 GHz (SKMM, 2009). Kepadatan terhadap aplikasi rangkaian pada julat 2.4 – 5.8 GHz boleh menyebabkan kesesakan pada

sistem rangkaian. Oleh itu, kajian ini memberi tumpuan kepada penghasilan DRA yang berpotensi untuk beroperasi dalam julat frekuensi yang lebih tinggi (8 - 12 GHz) untuk mengurangkan gangguan kesesakan rangkaian. Kajian ini bertujuan untuk mengkaji potensi DRA pada julat ini melalui kestabilan frekuensi, kekuatan isyarat dan lebar jalur yang dihasilkan dalam julat frekuensi tinggi kerana sehingga kini tidak banyak kajian tertumpu di dalam bidang ini. Aplikasi-aplikasi bagi setiap frekuensi yang digunakan untuk perkhidmatan tertentu perlu menepati piawaian yang telah ditetapkan oleh Kesatuan Telekomunikasi Antarabangsa (ITU). Jadual 1.1 menetapkan beberapa piawaian frekuensi dalam julat 1 – 40 GHz dan fungsi bagi setiap frekuensi yang digunakan di seluruh dunia.

Jadual 1.1: Pembahagian frekuensi dalam aplikasi komunikasi mengikut piawaian ITU (SKMM, 2006).

Jalur	Frekuensi (GHz)	Aplikasi
Jalur-L	1 - 2	Satelit Mobil, (MSS), UHF TV, Telefon Bimbit
Jalur-S	2 - 4	MSS, Perkhidmatan Radio Audio Digital (DARS) dan Penyelidikan Ruang Angkasa.
Jalur-C	4 - 8	Perkhidmatan Satelit Tetap (FSS), Perkhidmatan Gelombang Mikro Daratan Tetap.
Jalur-X	8 – 12.5	FSS Komunikasi Ketenteraan, DARS, Perkhidmatan Gelombang mikro Daratan, Satelit Pemerhati Bumi.
Jalur-Ku	12.5 - 18	FSS, Perkhidmatan Satelit Penyiaran (BSS), Perkhidmatan Gelombang Mikro Daratan Tetap.
Jalur-K	18 – 26.5	BSS, FSS, Perkhidmatan Gelombang Mikro Daratan, Perkhidmatan Pengagihan Pelbagai Saluran Tempatan (LMDS)
Jalur-Ka	26.5 - 40	FSS, Perkhidmatan Gelombang Mikro Daratan, LMDS, Penyambungan Pengantara-satelit (ISL), Pengimejan Satelit.

1.2 Penyataan Masalah

Malaysia merupakan antara negara yang telah menandatangani perjanjian dengan ITU dalam menstruktur rangkaian telekomunikasi negara supaya selari dengan piawaian antarabangsa. Di Malaysia, piawaian terhadap rangkaian

perkhidmatan ini dikawal oleh Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia (SKMM). Suruhanjaya ini telah menghasilkan jadual 'Rancangan Spektrum' untuk perkhidmatan yang telah digariskan terhadap setiap frekuensi dalam julat 9 KHz – 420 THz. Teknologi tanpa wayar seperti WiFi atau WLAN, 3G dan WiMax merupakan aplikasi rangkaian yang digunakan di seluruh dunia pada masa kini untuk menghantar dan menerima maklumat dengan pantas dalam bentuk audio mahupun video.

Setiap aplikasi rangkaian ini mengalami kemajuan yang pesat sejak kebelakangan ini. Bermula dengan aplikasi WiFi atau WLAN (rangkaian kawasan setempat tanpa wayar) yang beroperasi dalam julat 2.4 - 2.5 GHz kemudian dimajukan dengan aplikasi 3G yang merupakan teknologi untuk rangkaian data berkelajuan tinggi berasaskan telefon bimbit dan mempunyai rangkaian ke seluruh dunia sehinggalah teknologi terbaru iaitu WiMax yang beroperasi pada 3.5 - 5.8 GHz yang dibangunkan untuk saling melengkapi WiFi dan 3G (SKMM, 2006). Hubungan ketiga-tiga jenis aplikasi ini adalah bermula daripada WiFi yang digunakan untuk menghubungkan peranti atau komputer di kawasan rumah atau pejabat, WiMax pula digunakan untuk menghubungkan rangkaian-rangkaian WiFi di suatu kawasan yang luas. Manakala 3G pula menjadi penghubung WiMax ke seluruh negara dan dunia. Ketiga-tiga aplikasi ini tertumpu kepada julat frekuensi 2.4 - 5.8 GHz. Keadaan ini akan mewujudkan kesesakan rangkaian jika bilangan pengguna meningkat.

Melalui perangkaan Kementerian Tenaga, Air dan Komunikasi Malaysia, (2008), kadar penembusan jalur lebar (*broadband penetration*) negara, iaitu (18 %), amat rendah berbanding negara-negara maju di Asia seperti Singapura (78 %), Hong

Kong (80 %) dan Korea (93 %). Oleh kerana infrastruktur dan perkhidmatan jalur lebar merupakan tulang belakang bagi perkembangan K-Ekonomi Negara, Pelan Jalur Lebar pada akhir tahun 2004 diperkenalkan bagi mensasarkan penembusan jalur lebar bagi isi rumah sebanyak 50 % pada tahun 2010 atau mencapai 2.8 juta pengguna (SKMM, 2009). Berdasarkan peningkatan pengguna dari tahun ke tahun, keadaan ini lama kelamaan akan menyebabkan kesesakan rangkaian yang boleh menjejaskan kelajuan maklumat yang dihantar. Oleh itu, aplikasi rangkaian yang tertumpu kepada frekuensi dalam julat 2.4 sehingga 2.5 GHz pada masa depan mungkin sudah tidak berkeupayaan menampung perkhidmatan yang semakin berkembang.

Maka alternatif kepada julat frekuensi yang lain perlu dilakukan untuk mengelakkan kesesakan rangkaian perkhidmatan yang sentiasa mengalami perubahan dari tahun ke tahun. Kajian terhadap antena yang boleh beroperasi pada frekuensi yang lebih tinggi dilakukan untuk mengelakkan kesesakan pada rangkaian sedia ada. Antena yang digunakan dalam peranti komunikasi mudah alih pada masa kini terdiri daripada antena jenis tampalan logam berjalur kecil yang diperbuat daripada bahan logam seperti emas, perak dan kuprum (Sekiya, 2006). Selain mempunyai kehilangan dielektrik yang tinggi, masalah lain yang timbul adalah saiznya yang besar.

Revolusi terhadap pengecilan saiz telefon mudah alih dan sistem telekomunikasi satelit yang dilihat telah menjadi satu keperluan dalam era-modenisasi kini. Dalam penyelidikan ini, tumpuan diberikan kepada pembuatan antena penyalun dielektrik (DRA) yang boleh beroperasi dalam julat frekuensi yang

lebih tinggi. Julat frekuensi yang dipilih adalah dalam Jalur-X. Berdasarkan piawaian ITU, julat frekuensi bagi Jalur-X adalah antara 8.0 – 12.5 GHz.

Antena yang beroperasi dalam Jalur-X mempunyai keistimewaan dalam aplikasi peranti pengesanan objek-objek dalam jarak jauh melalui gelombang radio yang dihasilkan serta berkeupayaan untuk menentukan lokasi dan kedudukan objek-objek berkenaan. Julat ini, hanya terdapat beberapa frekuensi yang sesuai bagi aplikasi telefon mudah alih. Jadual 1.2 menunjukkan ringkasan piawaian yang ditetapkan oleh MCMC terhadap aplikasi komunikasi tanpa wayar (SKMM, 2009). Dalam julat 8.025 – 10.550 GHz adalah sesuai untuk semua aplikasi komunikasi tanpa wayar tetapi dalam julat 10.55 – 12.5 GHz, komunikasi tanpa wayar untuk perkhidmatan aeronautik tidak sesuai digunakan.

Jadual 1.2: Ringkasan pembahagian frekuensi terhadap perkhidmatan tanpa wayar oleh SKMM, (2006).

Jalur-X (GHz)	Perkhidmatan Tanpa Wayar
8.025 - 10.55	Sesuai untuk semua jenis alat komunikasi tanpa wayar.
10.55 – 12.50	Sesuai untuk semua alat komunikasi tanpa wayar kecuali perkhidmatan aeronautik

Dalam kajian ini, tumpuan diberikan kepada seramik barium titanat $BaTiO_3$ khususnya barium titanat terdop-neodymium (BNT). Sebagai bahan alternatif bagi dielektrik antena, BNT tersebut disediakan menggunakan kaedah sol-gel. Kaedah ini dipilih untuk lebih memahami kesan sistem $Ba_{1-x}Nd_xTiO_3$ ke atas sifat-sifat bahan dan dielektrik untuk aplikasi antena penyalun dielektrik (DRA). Antara kelebihan kaedah sol gel adalah hasilan butiran yang halus dan homogen, ketulenan tinggi serta suhu penyediaan yang rendah. Proses ini akan memberikan kesan yang lebih signifikan terhadap sifat dielektrik berbanding kaedah tindakbalas pepejal.

Manakala, kesan dopan terhadap sebatian seramik berfungsi untuk meningkatkan sifat dielektrik sesuatu bahan dielektrik. Melalui kajian yang telah dijalankan, peningkatan ϵ_r boleh dicapai melalui penggantian kation dari jejari ionik yang besar (Jin dan Young, (2000), Rath et al. (2007)). Keadaan ini disebabkan ionik kebolehtutupan (*ion polarizability*) yang tinggi wujud pada jejari ionik yang besar. Kebiasaannya jejari ionik pada tapak-A dalam sistem ABO_3 mempunyai saiz yang lebih besar berbanding tapak-B. Oleh itu, dalam sistem ABO_3 penggantian kation pada tapak-A secara teorinya akan mempamerkan permitiviti relatif (ϵ_r) yang tinggi (Shaikh et al. 1988).

Berdasarkan kepada ciri-ciri dan aplikasi yang ditunjukkan oleh penyalun dielektrik selama ini, suatu kajian lanjut dan bersistematik mengenai peranan Nd sebagai dopan dalam sistem $Ba_{1-x}Nd_xTiO_3$ yang disintesis melalui kaedah sol gel adalah diperlukan. Potensi kegunaan bahan yang menunjukkan kelakuan permitiviti relatif (ϵ_r) dan faktor kualiti (Q_f) yang tinggi serta faktor lesapan ($\tan \delta$) terendah yang diperolehi daripada sistem $Ba_{1-x}Nd_xTiO_3$ akan dikaji sebagai antenna penyalun dielektrik pada frekuensi gelombang mikro.

1.3 Objektif Penyelidikan

Objektif kajian ini adalah:

- i. Menghasilkan penyalun dielektrik (DR) berbentuk silinder menggunakan sebatian $Ba_{1-x}Nd_xTiO_3$ (BNT) melalui kaedah sol gel dengan mempelbagaikan nisbah molar ($x = 0, 0.01, 0.03, 0.05, 0.07, 0.10$ dan 0.13) dan boleh beroperasi dalam julat yang lebih tinggi ≈ 9 GHz.

- ii. Mengkaji kesan dopan Nd terhadap potensi DRA yang dihasilkan seperti frekuensi salunan, f (GHz), kehilangan pulangan minima (dB), peratus lebar jalur (%BW) dan corak radiasi.

1.4 Skop Penyelidikan

Skop kajian ini terbahagi kepada dua bahagian utama iaitu penghasilan serbuk serta pelet dan pengukuran keupayaan antena penyalun dielektrik tersebut. Dalam Bab 2, kajian persuratan mengenai antena dan prinsip asas elektroseramik akan dijelaskan. Bab ini merangkumi topik yang berkaitan dengan BaTiO₃ dan BaTiO₃ berdop lantanid. Prosedur eksperimen diterangkan secara lanjut dalam Bab 3. Manakala Bab 4 memuatkan keputusan yang diperolehi daripada kajian yang telah dilakukan ke atas BaTiO₃ tulen dan BNT. Seterusnya Bab 5 merupakan kesimpulan dan cadangan penambahbaikan terhadap kajian di masa hadapan.

Bagi mencapai objektif yang dinyatakan, maka kajian boleh diringkaskan kepada 2 bahagian. Bahagian 1 adalah penyediaan BNT melalui kaedah sol-gel untuk menghasilkan serbuk dan pelet. Gel yang dihasilkan pada bahagian 1 dihancurkan menjadi serbuk. Suhu pengkalsinan ditentukan menggunakan analisis Termogravimetri (TGA) dan kewujudan fasa yang dikehendaki disahkan dengan menggunakan alat pembelauan Sinar X (XRD). Setelah menentukan suhu pengkalsinan yang dikehendaki, serbuk yang telah dikalsin akan dimampatkan dalam acuan silinder menggunakan pemampat eka-paksi bagi menghasilkan jasad anum berbentuk pelet. Jasad anum disinter pada suhu dan tempoh yang optimum. Seterusnya penentuan fasa menggunakan XRD di lakukan ke atas semua komposisi

BNT. Manakala morfologi setiap komposisi dilakukan dengan menggunakan mikroskop elektron imbasan FESEM.

Manakala pada Bahagian 2 tumpuan diberikan kepada penghasilan antena penyalun dielektrik (DRA). Sampel yang disinter dijadikan penyalun dielektrik dan dipasang untuk diaplikasi sebagai DRA. Seterusnya sifat-sifat dielektrik pada gelombang mikro akan dicirikan melalui penggunaan alat "analisis rangkaian" (*Network Analyzer*) untuk membuktikan kesesuaian bahan tersebut untuk digunakan sebagai penyalun dielektrik pada aplikasi gelombang mikro.

BAB 2

KAJIAN PERSURATAN

2.1 Pendahuluan

Bab ini mengandungi maklumat dan teori yang berkaitan dengan penyelidikan yang dijalankan. Kemajuan teknologi jalur lebar tanpa wayar seperti WLAN, WIFI, 3G dan WiMax memberi impak yang besar kepada pembangunan sosio-ekonomi negara. Jika dahulu perkhidmatan bekalan air dan elektrik merupakan faktor penting untuk menarik pelaburan, kini perkhidmatan jalur lebar pula merupakan keperluan asas dalam urusan harian. Bagi memenuhi keperluan ini, usaha-usaha perlu ditumpukan dalam memastikan perkhidmatan jalur lebar disediakan kepada orang awam adalah konsisten tanpa masalah dalam penghantaran dan penerimaan rangkaian data. Dalam teknologi tanpa wayar, antena merupakan komponen terpenting untuk menentukan keberkesanan rangkaian data yang dihantar atau diterima.

Antena yang paling meluas digunakan kini adalah antena tampalan logam berjalur kecil (*microstrip antenna*). Namun begitu terdapat beberapa masalah pada antena tampalan logam berjalur kecil ini. Antara masalah tersebut ialah saiznya yang besar. Selain itu, kehilangan konduksi bagi jalur tampalan logam yang memerlukan bahan seperti emas, perak dan kuprum menyebabkan bebanan kos dalam pembuatan. Berdasarkan permasalahan ini, antena penyalun dielektrik (DRA) merupakan alternatif kepada antena tampalan logam berjalur kecil. Ini kerana, saiz antena yang dihasilkan dapat dikurangkan jika pemalar dielektrik bahan elektroseramik ditingkatkan (Peng

et al. 2004). Manakala saiz DRA adalah berkadar dengan $1/\sqrt{\epsilon_r}$, ϵ_r ialah permitiviti relatif bahan yang digunakan (Almeida et al., 2008).

Banyak bahan elektroseramik yang telah digunakan dalam penghasilan DRA. Bahan elektroseramik ini menawarkan kadar kehilangan yang rendah dan saiz yang kecil (Cohn, 1968). Ubahsui terhadap sifat-sifat bahan elektroseramik ini menyebabkan bahan tersebut berfungsi sebagai bahan-bahan penebat (bahan dielektrik), seramik konduksi tinggi, elektrod, penderia dan penggerak (actuator). Bahan yang bersifat dielektrik, berstrukturkan perovskit seperti BaTiO₃, BaSrTiO₃ (BST), BaZrTiO₃ (BZT) dan PbZr_{0.52}Ti_{0.48}O₃ (PZT) dapat digunakan sebagai DRA (Sebastian, 2008).

Unsur dopan digunakan dalam sebatian seramik feroelektrik. Ini kerana walaupun kebanyakan sebatian seramik feroelektrik sememangnya wujud secara semulajadi, tetapi kesesuaian untuk aplikasi elektronik memerlukan ubahsui secara sintetik. Selain tidak homogen dalam sifat fizikal, sebatian semulajadi juga mempunyai ketulenan yang rendah. Oleh itu, kajian ini menggunakan kaedah tindakbalas kimia sol gel yang terbukti menghasilkan sebatian yang homogen dan berketulenan tinggi berbanding tindakbalas pepejal (Leneau & Mosset, 1988, Cheung et al. 1999, Harizanov et al. 2003). Manakala pencirian fasa, mikrostruktur dan pemprosesan terhadap sebatian seramik yang dihasilkan daripada kaedah ini seperti pengkalsinan, pembentukan dan pensinteran diterangkan dengan lebih mendalam dalam bab ini. Selain itu bab ini juga mengandungi maklumat mengenai pengukuran terhadap lebar jalur (*bandwidth*) dan keberkesanan radiasi pada DRA

yang sangat dipengaruhi oleh pemalar dielektrik bahan dan bentuk DRA yang digunakan (Ghosh et al. 2001, Almeida, 2007).

2.2 Aplikasi Rangkaian

Aplikasi rangkaian yang dicipta berfungsi untuk menghubungkan manusia sesama manusia melalui teknologi komunikasi. Dalam aplikasi jalur lebar (broadband), terdapat beberapa jenis rangkaian yang biasa digunakan di Malaysia antaranya 3G, WiMax, WiFi dan WLAN. Sistem rangkaian 3G merupakan teknologi untuk rangkaian data berkelajuan tinggi berasaskan telefon bimbit. WiMax pula merupakan teknologi tanpa wayar terkini yang boleh mengadakan liputan bagi kawasan sehingga 50 kilometer dengan kos yang jauh lebih rendah berbanding 3G. Manakala WiFi atau WLAN (rangkaiannya tanpa wayar kawasan setempat) adalah merupakan teknologi berasaskan rangkaian komputer menggunakan piawai IEEE 802.11. Piawai ini dibangunkan oleh “*Institute of Electrical and Electronic Engineers (IEEE)*” yang berpusat di Amerika Syarikat. Di Malaysia, Suruhanjaya Komunikasi dan Multimedia Malaysia (SKMM) adalah badan yang bertanggungjawab terhadap piawai penggunaan frekuensi.

Teknologi WiFi menggunakan piawaian 802.11b mempunyai kelajuan transaksi 11 Mbps dengan liputan sehingga 90 meter. Manakala, WLAN berasaskan 802.11a mempunyai kelajuan 54 Mbps tetapi liputan lebih dekat berbanding 802.11b. Teknologi WLAN terkini yang sedang memasuki pasaran negara ialah produk berasaskan 802.11g (menggabungkan kedua-dua fungsi 802.11b dan 802.11a) (SKMM, 2006).

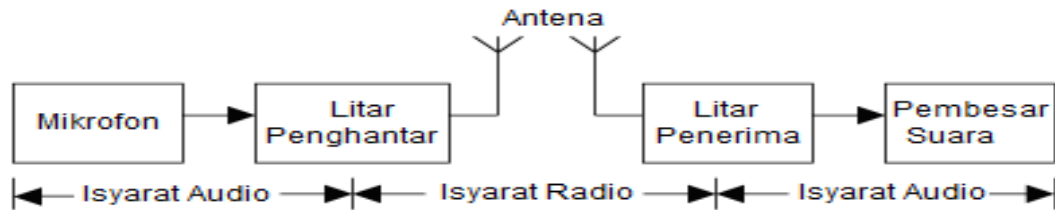
Sistem 3G merupakan kesinambungan teknologi telefon bimbit bermula dari GSM dipertingkatkan kepada GPRS, EDGE dan seterusnya 3G (WCDMA). Bagaimanapun, ia adalah satu alternatif kepada kelajuan rangkaian berbanding GSM sedia ada.

Teknologi WiMax yang mempunyai kemampuan untuk menampung transmisi kelajuan data antara 15 hingga 75 Mbps akan menjadikannya sebagai pilihan teknologi masa depan. Teknologi ini bagaimanapun tidak akan mencabar 3G atau WiFi secara langsung kerana mereka dibangunkan untuk saling melengkapkan antara satu sama lain. Gabungan ketiga-tiga rangkaian yang bermula dari WiFi digunakan untuk menghubungkan peranti atau komputer di kawasan rumah atau pejabat, WiMax pula akan digunakan untuk menghubungkan rangkaian-rangkaian WiFi di suatu kawasan yang luas. Manakala, 3G pula menjadi penghubung WiMax ke seluruh negara dan dunia. Keberkesanan hubungan antara ketiga-tiga rangkaian ini adalah sangat bergantung kepada antena yang digunakan. Antena merupakan komponen terpenting untuk menentukan keberkesanan rangkaian data yang dihantar atau diterima (SKMM, 2006).

2.2.1 Antena

Antena merupakan sistem penghantar atau penerima isyarat dalam bentuk gelombang elektromagnetik yang terdiri daripada penyalun, penapis, litar penterjemah dan penguat isyarat. Rajah 2.1 menunjukkan blok sistem komunikasi tanpa wayar bagi telefon mudah alih. Sistem perhubungan tanpa wayar adalah satu sistem yang mana isyarat audio ditukarkan ke dalam isyarat radio, kemudian isyarat radio tersebut dihantar melalui udara dari litar penghantar kepada litar penerima

dalam julat frekuensi yang tertentu. Litar penerima akan menerima isyarat yang sama seperti isyarat pada litar penghantar,, kemudian isyarat radio itu akan ditukar kembali kepada isyarat audio. Sistem perhubungan tanpa wayar tidak boleh berkongsi frekuensi dengan sistem yang lain kerana ianya akan menyebabkan berlakunya gangguan isyarat yang dipanggil 'interference' (Petosa, 2007).



Rajah 2.1: Gambarajah blok antenna dalam sistem komunikasi tanpa wayar.

Antena yang paling meluas penggunaannya adalah antena tampalan logam berjalur kecil (*microstrip patch antenna*). Selain kos penghasilannya yang murah, antena ini adalah ringan kerana boleh dibentuk secara 2 dimensi sahaja iaitu dalam bentuk tampalan (Yasushi, 2003). Namun begitu terdapat masalah pada antena tampalan logam berjalur kecil ini. Masalah tersebut ialah saiznya yang besar.

Berdasarkan kajian-kajian sebelum ini, suatu ringkasan ke atas penemuan kajian terhadap dimensi dan frekuensi salunan yang telah dijalankan ditunjukkan dalam Jadual 2.1. Kebanyakan antena jenis tampalan logam bentuk segi empat adalah lebih besar dari 20 mm pada setiap sisinya. Sebahagian antena tersebut memerlukan kepingan logam tambahan yang diletakkan atas permukaan dasar dengan dilapik bahan lain di antaranya sebagai peruang. Kepingan logam ini diperlukan untuk memperbaiki sifat antena, seterusnya menyebabkan saiz antena tampalan logam berjalur kecil semakin bertambah.

Jadual 2.1: Ringkasan kajian dimensi dan frekuensi resonan antena tampalan logam berjalur kecil berdasarkan kajian - kajian sebelum ini.

Penyelidk	Dimensi <i>panjang x lebar, (mm)</i>	Frekuensi Salunan
Rhonda et al. 1995	68.26 X 65.09	1.05 GHz
Ghorbani et al. 2004	150 X 100	Sekitar 1 GHz
Alameddine et al. 2005	65.8 X 51.8	1680 hingga 2880 MHz

Berdasarkan permasalahan ini, antena penyalun dielektrik (DRA) merupakan alternatif kepada antena tampalan logam berjalur kecil. Ini kerana, saiz antena yang dihasilkan dapat dikecilkan jika pemalar dielektrik bahan elektroseramik ditingkatkan (Peng et al. 2004).

2.2.2 Antena penyalun dielektrik (DRA)

Penemuan TiO_2 dalam penggunaan teknologi tanpa wayar telah menjadi permulaan kepada ramai penyelidik yang disebabkan oleh permitiviti relatifnya yang tinggi ($\epsilon_r \sim 100$) dan faktor kualiti yang tinggi ($Q.f_r \sim 50000$ pada 3 GHz). Namun begitu, disebabkan kebergantungan terhadap suhu apabila pekali suhu frekuensi salunan adalah ($\tau_f = 450$ ppm/K) menyebabkan pengkomersilan ke atas bahan ini terbantut. Perkembangan selepas itu menghasilkan sebatian yang berguna dalam sistem binari BaO- TiO_2 . Salah satu daripada bahan dielektrik terawal yang ditakrifkan mempunyai aplikasi yang praktikal sebagai penyalun dielektrik adalah seramik BaTi_4O_9 . Bahan ini mempunyai τ_f yang jauh lebih rendah ($\tau_f = 15$ ppm/ K) berbanding dengan TiO_2 . Dilaporkan $\epsilon_r = 38$ dan $Q.f_r \sim 28160$ pada 11 GHz untuk bahan ini (Masse et al. 1971). $\text{BaTi}_9\text{O}_{20}$ juga dikenali sebagai sebatian yang mempunyai sifat gelombang mikro yang praktikal, mempamerkan keputusan ϵ_r dan

$Q \cdot f_r$ yang sama dengan BaTi_4O_9 tetapi pekali suhu frekuensi salunannya adalah ($\tau_f = 2 \text{ ppm/K}$) (Wersing, 1996).

Penyelidikan terus berkembang terhadap sistem perovskit yang lebih rumit dalam sistem ternari menerusi $\text{Ba}(\text{Zn}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$ dan $\text{Ba}(\text{Mg}_{1/3}\text{Ta}_{2/3})\text{O}_3$. Kedua-dua bahan ini mempunyai sifat yang istimewa pada frekuensi gelombang mikro ($\epsilon_r \sim 30$, $Q_f > 70000$ pada 2 GHz dan $\tau_f = \text{sifar}$). Disebabkan kos bagi Ta_2O_5 yang tinggi (~USD350 sekilogram) menyebabkan penggunaan kedua-dua bahan seramik ini dalam aplikasi adalah terbatas (Hughes et al. 2001).

Antara sistem terawal yang dikaji adalah $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_2$. Wakino et al. (1991) telah mengkaji kesan penggantian Ba dengan Pb dan diperhatikan bahawa nilai ϵ_r adalah bertambah dari 60 hingga ke 88, manakala nilai $Q \cdot f_r$ (pada 3 GHz) bertambah dari 3300 hingga 6000. Seterusnya, Fu et al. (2005) mendapati dengan mempelbagaikan kandungan TiO_2 dalam sistem $\text{BaO-Nd}_2\text{O}_3\text{-TiO}_3$, nilai ϵ_r adalah dalam julat 80 - 83, manakala $Q \cdot f_r$ adalah antara 5700 - 11560 pada 4 GHz dan pekali suhu frekuensi salunan, τ_f adalah 62 – 151 ppm/ $^\circ\text{C}$.

Dalam kajian ini, penghasilan bahan seramik termaju akan dilakukan berdasarkan sistem $\text{Ba}_{1-x}\text{Re}_x\text{TiO}_3$ melalui sintesis tindak balas kimia, Re adalah unsur nadir-bumi iaitu neodmium. Bahan ini dijangka berpotensi diguna sebagai penyalun dielektrik bagi sistem telekomunikasi. Mahboob et al. (2006), dalam kajiannya membuktikan kesan unsur Ce, Nd dan Pr kepada sifat dielektrik gelombang mikro melalui sintesis keadaan pepejal. Kepekatan bagi setiap unsur ditetapkan pada $x = 0.003$. Berdasarkan keputusan yang diperolehi didapati

permitiviti meningkat dengan penambahan dopan ke dalam sebatian BaTiO₃ tersebut. Jadual 2.2 menunjukkan ringkasan dari keputusan permitiviti relatif, faktor kehilangan, parameter kekisi, ketumpatan dan peratus keliangan yang diperolehi oleh Mahboob et al. (2006).

Jadual 2.2: Parameter bagi sistem Ba_{1-x}Re_xTiO₃ (Re = Ce, Nd dan Pr) dengan $x = 0.003$ (Mahboob et al. 2006).

Parameter	Ba _{1-x} Re _x TiO ₃ ($x = 0.003$, Re = Ce, Nd, Pr)		
	Ce	Nd	Pr
ϵ_{RT} pada 10 kHz	12.519	7893	47534
RT tan δ pada 10 kHz	0.036	0.054	0.26
T _c (°C) pada 10 kHz	140.2	134.1	133.0
ϵ_{Tc} pada 10 kHz	14649	10222	63684
Pemalar Curie pada 10 kHz (°C)	4.89x10 ⁵	4.08x10 ⁶	4.66x10 ⁶
Parameter Kekisi			
a (Å)	3.9919	3.9961	4.0044
c (Å)	4.0332	4.0360	4.0435
Nisbah c/a	1.0103	1.0100	1.0098
Ketumpatan Eksperimen (g/cm ³)	5.249	5.334	5.283
Ketumpatan Sinar-X (g/cm ³)	6.024	6.008	5.972
% Keliangan	12.86	11.22	11.53

Satu daripada kelebihan DRA adalah kebolehsuaian yang tinggi. Ini membenarkan rekabentuk yang bersesuaian dengan julat keperluan fizikal atau elektrik bagi aplikasi komunikasi yang berbeza. Antara kelebihan penggunaan DRA disenaraikan seperti berikut (Petosa, 2007):

- i. Saiz DRA adalah berkadar dengan $\lambda_0/\sqrt{\epsilon_r}$, yang mana λ_0 adalah panjang gelombang ruang bebas (*free space wavelength*) pada frekuensi salunan, dan ϵ_r adalah pemalar dielektrik bahan. Ini membenarkan rekabentuk DRA yang

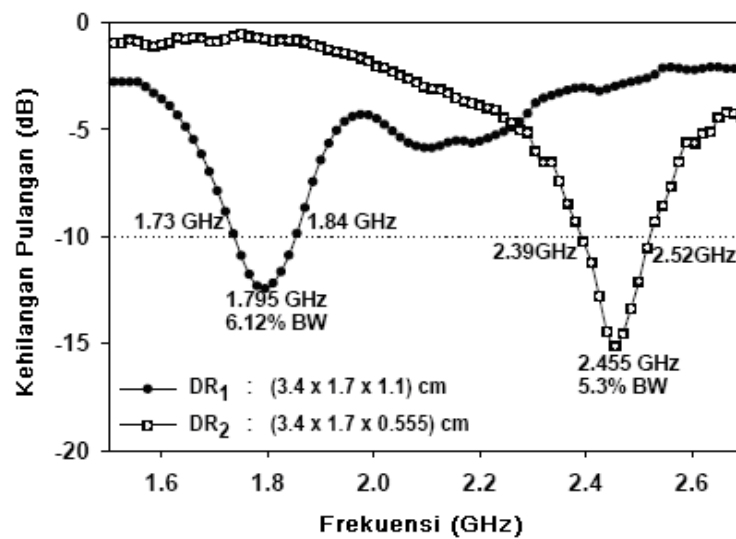
kecil dengan penggunaan bahan dielektrik yang mempunyai permitiviti relatif, ϵ_r , yang tinggi.

- ii. Frekuensi salunan dan radiasi faktor-Q akan dipengaruhi oleh nisbah aspek DRA bagi pemalar dielektrik tertentu, ini membenarkan kebolehsuaian rekaan.
- iii. Pemilihan bahan dielektrik dengan ciri kehilangan rendah, kecekapan radiasi yang tinggi boleh dikekalkan. Ini disebabkan kekurangan gelombang pada permukaan dan kehilangan konduksi yang rendah pada DRA.
- iv. Julat ϵ_r yang boleh digunakan (dari 8 sehingga lebih daripada 100), membenarkan pereka boleh mengawal saiz fizikal DRA dan lebar jalurnya.
- v. DRA boleh direka untuk beroperasi pada julat frekuensi yang besar, dari 1.3 GHz ke 40 GHz.

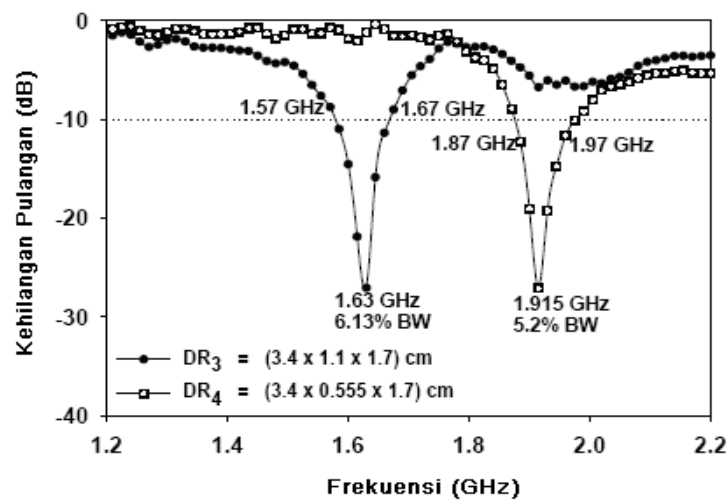
2.2.2.1 Kesan Bentuk Antena penyalun diektrik (DRA)

Rekabentuk DRA yang berlainan akan memberi ciri radiasi yang berlainan (Petosa, 2007). Kajian secara sistematik dilakukan pada tahun 1983 dan 1984 terhadap rekabentuk DRA yang dilakukan pada bentuk silinder, segiempat tepat dan hemisfera (Long et al. 1983, McAllister et al. 1983 serta McAllister dan Long, 1984). Setiap rekabentuk-rekabentuk ini dicirikan dengan nilai ϵ_r , jejari atau kelebaran, a , ketinggian, h dan ketebalan, d . Manakala Mridula et al. (2004) mendapati bahawa dengan perbezaan ketinggian dan kelebaran bagi DRA berbentuk segiempat memberikan kesan yang berbeza kepada nilai frekuensi salunan f (*resonant frequency*) dan kehilangan pulangan (*return loss*). Rajah 2.2 menunjukkan dua unit DRA yang mempunyai ketinggian yang berbeza iaitu DR₁ dan DR₂. Frekuensi salunan f , bagi DR₁ wujud pada 1.795 GHz dengan lebar jalur 6.12 % sesuai

beroperasi dalam jalur frekuensi GSM 1800 (1710-1880 MHz). Manakala f bagi DR₂ pula wujud pada 2.445 GHz dan sesuai beroperasi dalam jalur frekuensi WLAN (2.4-2.484 GHz). Seterusnya Rajah 2.3 menunjukkan , dua unit DRA yang mempunyai kelebaran yang berbeza iaitu DR₃ dan DR₄. Didapati DRA bagi DR₃ adalah sesuai bagi jalur GPS (1.565-1.585 GHz) dan DR₄ bagi jalur PCS 1900 (1.85-1.99 GHz). Keputusan ini menunjukkan bahawa dimensi penyalun dielektrik yang berbeza akan memberi frekuensi salunan f yang sesuai untuk aplikasi berlainan.



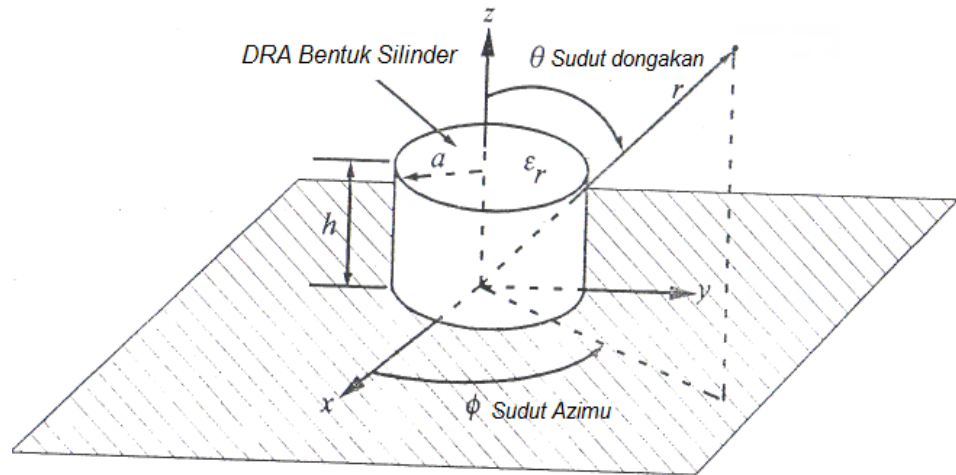
Rajah 2.2 : Kehilangan pulangan bagi antenna dengan ketinggian berlainan (Mridula et al. 2004).



Rajah 2.3: Kehilangan pulangan bagi kedua-dua antenna dengan kelebaran berbeza (Mridula et al. 2004).

2.2.2.2 Antena penyalun dielektrik Silinder (Cylindrical DRA)

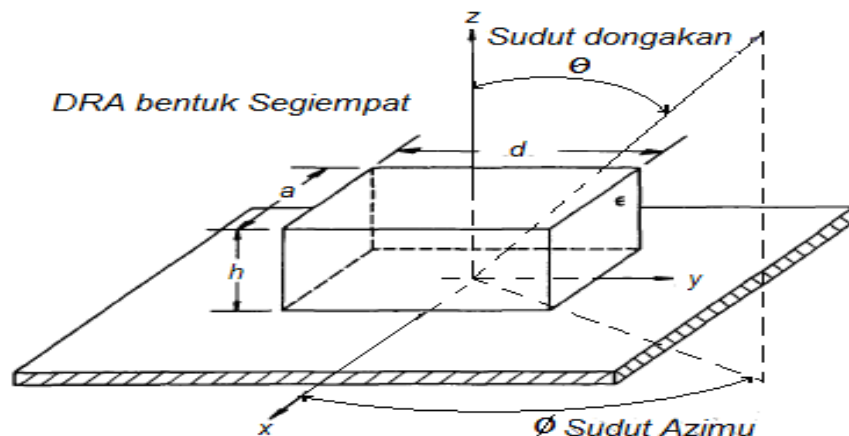
DRA silinder menawarkan fleksibiliti merekabentuk yang lebih baik, yang mana nisbah jejari/ketinggian (a/h) memberi kesan terhadap frekuensi salunannya, f dan faktor kualiti, Q . Oleh itu, bagi ϵ_r dan f tertentu, Q yang berbeza akan diperolehi untuk setiap dimensi DRA yang berbeza. Selain itu, fabrikasi DRA bentuk silinder adalah lebih mudah berbanding DRA yang lain kerana mempunyai bentuk yang lebih ringkas. DRA silinder dicirikan dengan ketinggian h , jejari a dan pemalar dielektrik ϵ_r , seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2.4. Bentuk silinder mempunyai satu darjah kebebasan iaitu nisbah bidang a/h . Oleh itu, satu DRA silinder yang tinggi dan berdiameter kecil boleh mempunyai frekuensi salunan yang sama dengan silinder yang rendah dan lebar. Tetapi, faktor- Q bagi kedua-dua penyalun ini adalah berbeza. DRA yang digunakan dalam litar elektronik biasanya dihasilkan dalam bentuk silinder atau pelet yang mempunyai pemalar dielektrik yang tinggi (>35) (Long et al. 1983). Terdapat 3 parameter pada setiap mod iaitu sudut azimu (ϕ), sudut dongakan (θ) dan jarak jejarian (r). Sudut azimu bermakna arah garisan diukur berasaskan sudut ufuk dari arah utara benar mengikut pusingan jam. Manakala sudut dongakan (θ) bermaksud sudut pesongan reka bentuk pemesanan arah pancaran. Jarak jejarian mempengaruhi jenis pancaran yang dihasilkan bagi sesuatu rekabentuk (Petosa, 2007).



Rajah 2.4: Penyalun dielektrik berbentuk silinder (Petosa, 2007).

2.2.2.3 Antena penyalun dielektrik Segiempat

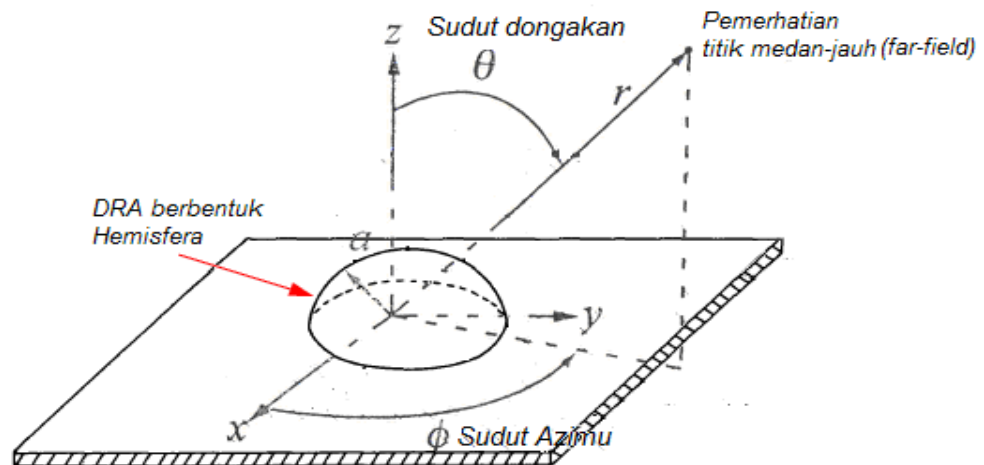
Konfigurasi penyalun dielektrik segiempat ditunjukkan Rajah 2.5. DRA dengan keratan rentas segiempat menawarkan fleksibiliti merekabentuk yang lagi besar berbanding dengan bentuk silinder dan hemisfera. Bentuk ini mempunyai dua darjah kebebasan iaitu panjang/lebar, (d/a) dan ketebalan/lebar (h/a) . DRA berbentuk segiempat ini dicirikan dengan ketinggian h , kelebaran a , ketebalan d , dan ϵ_r . Nilai ϵ_r yang dikehendaki boleh diubah dengan mengawal nisbah bidang (d/a) dan (h/a) untuk memberi ciri radiasi yang berbeza. Ini membenarkan pereka mempunyai lebih banyak pilihan semasa merekabentuk DRA untuk aplikasi tertentu.



Rajah 2.5 : DRA berbentuk segiempat (Petosa, 2007).

2.2.2.4 Antena penyalun dielektrik Berbentuk Hemisfera.

Geometri DRA berbentuk hemisfera ditunjukkan dalam Rajah 2.6. DRA berbentuk hemisfera mempunyai kegunaan praktikal yang terbatas. Ini disebabkan kesusahan dalam penghasilan dan kekurangan darjah kebebasan dalam parameter rekaan. Bagi bahan yang mempunyai nilai ϵ_r tertentu, jejari bagi sfera akan menentukan frekuensi salunan dan jenis radiasi yang dihasilkan. Oleh itu, pereka tidak dapat mengawal saiz antena atau lebar jalurnya. Penyalun jenis ini hanya dicirikan dengan nilai ϵ_r dan jejari a . Oleh itu, pereka mengalami kesukaran mengawal saiz antena atau lebar jalurnya kerana ciri yang terhad.



Rajah 2.6 : DRA berbentuk hemisfera (Petosa, 2007).

2.3 Elektroseramik

Elektroseramik dicirikan sebagai bahan seramik yang dihasilkan untuk mendapatkan sifat-sifat elektrik dan elektronik (Somiya, 1989). Modifikasi terhadap sifat-sifat bahan seramik ini menyebabkan bahan tersebut berfungsi sebagai bahan-bahan penebat (bahan dielektrik), seramik konduksi tinggi, elektrod, penderia dan penggerak. Terdapat beberapa sifat dalam kumpulan elektroseramik. Sifat-sifat tersebut adalah piezoelektrik, piroelektrik dan feroelektrik sebagai satu kumpulan,

semikonduktor, seramik elektro-optik, seramik magnet dan seramik superkonduktor (Moulson & Herbert, 2003).

2.3.1 Seramik Piezoelektrik, Piroelektrik dan Feroelektrik

Bahan-bahan seramik yang bercirikan penebat elektrik adalah dikenali sebagai bahan dielektrik iaitu suatu bahan yang tidak mengkonduksi elektrik di bawah pengaruh medan elektrik. Walau bagaimanapun, apabila pemindahan taburan cas berlaku dalam bahan dielektrik, momen dwikutub akan terbentuk. Fenomena ini dikenali sebagai pengutuban (Bengisu, 2001). Pengutuban spontan berlaku pada hablur tunggal bagi sesetengah bahan apabila tegasan dikenakan (Cady, 1964). Satu bahagian dalam hablur akan menghasilkan cas positif manakala bahagian yang bertentangan pula akan menghasilkan cas negatif. Kesan ini dikenali sebagai piezoelektrik.

Fenomena piezoelektrik telah membawa kepada penggunaan seramik piezoelektrik yang luas dalam peralatan seperti mikrofon, tolok kelajuan dan tolok terikan. Kesan piezoelektrik ini ditemui oleh Pierre dan Jacques Curie pada tahun 1880 (Haertling, 1988). Antara bahan yang menghasilkan sifat piezoelektrik ini adalah BaTiO_3 .

Hablur piroelektrik adalah subkelas bagi hablur piezoelektrik. Bagi bahan piroelektrik, magnitud bagi pengutuban spontan banyak bergantung pada suhu. Pemanasan hablur mengakibatkan berlaku ubah bentuk mekanikal yang disebabkan oleh pengembangan haba dan mampu mengubah darjah pengutuban. Antara seramik piroelektrik yang biasa dikenalpasti adalah plumbum zirkonat (PbZrO_3). Kesemua

bahan piroelektrik adalah piezoelektrik dan ia digunakan dalam aplikasi seperti alat kawalan pencemaran (Moulson & Herbert, 2003).

Bahan feroelektrik adalah subkelas bagi hablur piroelektrik. Hablur feroelektrik mengandungi pengutuban spontan, iaitu suatu fenomena yang dapat mengekalkan kekutuban walaupun tiada penerapan voltan seperti yang ditunjukkan oleh hablur piroelektrik. Ciri-ciri terpenting dalam hablur feroelektrik adalah arah pengutuban dapat diterbalikkan dalam medan elektrik dan ini mengakibatkan terbentuknya gelung histerisis. Kelakuan feroelektrik ini banyak bergantung pada struktur hablur. Hablur tersebut mestilah tidak memusat dan perlu mengandungi posisi atom atau orientasi molekul yang berselang untuk membenarkan kekutuban berbalik dan penahanan pengutuban selepas voltan tidak dikenakan (Mostaghaci dan Brook, 1986).

Seramik feroelektrik mempunyai sifat-sifat yang berguna seperti pemalar dielektrik tinggi, pemalar piezoelektrik tinggi, kehilangan dielektrik yang rendah, kerintangan elektrik tinggi dan pekali piroelektrik tinggi. BaTiO_3 dan PbTiO_3 adalah antara seramik feroelektrik yang biasa digunakan.

2.4 Sintesis Bahan Dielektrik

Kaedah penghasilan sebatian dalam kajian ini lebih tertumpu kepada penghasilan bahan seramik yang sesuai untuk aplikasi elektrik dan elektronik. Kaedah penghasilan ini diperlukan kerana sebatian seramik keluarga perovskit sememangnya wujud secara semulajadi, namun, faktor ketulenan dan kehomogenan yang rendah menyebabkan sebatian ini perlu dihasilkan secara sintetik. Selain tidak homogen