

“Saya/kami akui bahawa saya telah membaca karya ini pada pandangan saya/kami karya ini adalah memadai dari skop dan kualiti untuk tujuan penganugerahan Ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektronik (Elektronik Industri).”

Tandatangan :  .....

Nama Penyelia : **EN. CHAIRULSYAH WASLI.**

Tarikh : **4 APRIL 2006**

**PEMBANGUNAN PENAPIS LULUS JALUR 2.4 GHz DENGAN  
MENGUNAKAN TEKNOLOGI MIKROSTRIP**

**SHAHRUL NESRULLAH BIN MUSTAPHA**

**Laporan projek ini dikemuka sebagai memenuhi sebahagian daripada syarat  
penganugerahan ijazah Sarjana Muda Kejuruteraan Elektronik Industri**

**Fakulti Kejuruteraan Elektronik dan Kejuruteraan Komputer (FKEKK)  
Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia**

**APRIL 2006**

**“Saya akui, karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali ringkasan dan petikan yang  
tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya”**

Tandatangan : *Shahrul* .....

Nama Penulis : **SHHRUL NESRULLAH MUSTAPHA**

Tarikh : **4 APRIL 2006**

**Buat yang diingati dan dikasihi...**

**Untuk ayah dan bonda tersayang, Mustapha Bin Abd Rahman dan Che Zainab Bt Yusoff, keluarga tercinta dan rakan-rakan seperjuangan yang banyak membantu. Tidak lupa juga kepada semua yang membantu sama ada secara langsung atau secara tidak langsung. Semoga kalian serta umat Islam seluruhnya dirahmati Allah.**

## PENGHARGAAN

Segala puji-pujian bagi Allah S.W.T, Tuhan Maha Mengetahui segala yang tersembunyi mahupun yang tidak tersembunyi. Selawat dan salam buat junjungan besar Nabi Muhammad Sallallahu'alaihiwassalam serta seluruh pejuang Islam dan Umat Islam.

Syukur Alhamdulillah, dengan limpah dan kurnia-Nya, dapat juga saya menyiapkan Projek Sarjana Muda ini. Saya merakamkan penghargaan ikhlas kepada penyelia projek, Encik Chairulsyah Bin Wasli diatas bimbingan dan dorongan yang diberikan sepanjang tempoh penyelidikan tesis ini.

Terima kasih juga yang tidak terhingga kepada pensyarah-pensyarah Kolej Universiti Teknikal Kebangsaan Malaysia yang tidak jemu untuk memberikan tunjuk ajar sepanjang tempoh kajian.

Jazakallah yang tidak terhingga kepada saudara Mushairi, saudari Siti Norazian, saudara Syahro, saudara Saifulzi, saudara Zakaria dan saudara Khairul Ahzamyang telah banyak membantu dari sudut teknikal dalam kajian ini.

Penghargaan juga kepada kedua ibubapa saya dan ahli keluarga yang lain yang banyak memberi sokongan dari segi moral dan juga kewangan. Tidak lupa juga kepada para sahabat yang banyak membantu.

## ABSTRAK

Tesis ini memberi maklumat secara terperinci kepada pembaca mengenai teori, rekabentuk, proses fabrikasi, keputusan dan permasalahan yang mungkin wujud dalam proses merekabentuk penapis lulus jalur gelombang mikro. Pendekatan yang telah dilaksanakan untuk menjayakan projek ini ialah menggunakan kaedah kajian secara ilmiah, pengiraan dimensi, dan simulasi perisian komputer. Ketiga-tiga pendekatan ini adalah perlu untuk menganalisa sama ada ciri-ciri penapis lulus jalur bagi memenuhi spesifikasi yang diperlukan sebelum proses fabrikasi dilakukan. Simulasi perisian computer adalah cara penyelesaian yang terbaik kerana ianya cepat dan ekonomik.

Untuk tujuan ini, perisian komputer '*Microwave Office 2004*' telah digunakan untuk menganalisa ciri-ciri dan seterusnya menentukan jenis parameter-parameter penapis lulus jalur yang sesuai untuk proses rekabentuk. Simulator Emsight bagi perisian ini menggunakan teknik "*Method of Moment (MoM)*".

Kajian ini secara amnya terbahagi kepada tiga peringkat iaitu kajian ilmiah dan pengiraan dimensi, membuat simulasi litar, fabrikasi litar penapis yang direkabentuk dan selanjutnya mengukur serta menganalisa keputusan ujikaji. Rekabentuk penapis ini ditumpukan kepada penapis jenis penapis lulus jalur gandingan selari yang beroperasi pada frekuensi tengah 2.4GHz dengan menggunakan bahan dielektrik NWFR4 dan FR4 (kaca epoksi)

## ABSTRACT

This thesis provides the reader with a detailed and comprehensive study of theory, design, fabrication, result and problem encountered in the designing bandpass RF microwave filter. The approaches used to achieve this project are through literature survey, dimensional calculation and computer software simulation. These approaches are used to analyse the characteristics and the required specification before fabricating the microstrip bandpass filter. Computer simulation is the best technique to get the solution because it is fast and economical.

To achieve this purpose, computer software, microwave Office 2004 is used to analyse the characteristics of the microstrip bandpass filter and to determine its suitable parameters. The Emsight Simulator is developed by using a technique called "Method of Moment (MoM)".

This research generally is divided into three stages which includes literature review and dimensional calculation followed by software simulation and lastly fabrication, testing and analysis of the results. The filter design is concentrated on the parallel-coupled bandpass microstrip filter operating at 2.4GHz by using NWFR4 and FR4 (epoxy glass) as a substrate.

## KANDUNGAN

<b>BAB</b>	<b>PERKARA</b>	<b>MUKASURAT</b>
	<b>JUDUL</b>	i
	<b>PENGAKUAN</b>	ii
	<b>DEDIKASI</b>	iii
	<b>PENGHARGAAN</b>	iv
	<b>ABSTRAK</b>	v
	<b>ABSTRACT</b>	vi
	<b>KANDUNGAN</b>	vii
	<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
	<b>SENARAI RAJAH</b>	xii
	<b>SENARAI SIMBOL DAN ISTILAH</b>	xvi
	<b>SENARAI LAMPIRAN</b>	xvii
<b>1.0</b>	<b>Pengenalan</b>	
	1.1 Pengenalan	1
	1.2 Tujuan Merekabentuk Penapis Lulus Jalur	2
	1.3 Objektif	3
	1.4 Skop Kerja	4
<b>2.0</b>	<b>KAJIAN</b>	
	2.1 Pengenalan	6
	2.2 Pengelasan Penapis	7
	2.1.1 Penapis Lulus Rendah	7
	2.1.2 Penapis Lulus Tinggi	8

2.1.3	Penapis Lulus Jalur	9
2.3	Ciri-Ciri Penapis	10
2.4	Transformasi Litar Daripada 'Lumped Element'	13
2.5	Talian gandingan selari sebagai penyongsang lepasan ( <i>inverter immitance</i> )	15
<b>3.0</b>	<b>METDOLOGI PROJEK</b>	
3.1	Teori	17
3.2	Simulasi	18
3.3	Pembuatan / Fabrikasi	19
3.4	Pengujian	19
<b>4.0</b>	<b>PENAPIS MIKROSTRIP</b>	
4.1	Penapis Mikrostrip	23
4.1.1	Pengenalan	23
4.1.2	Definasi Mikrostrip	24
4.2	Kelebihan Mikrostrip	25
4.3	Kelemahan Mikrostrip	25
4.4	Elemen-Elemen Asas Penapis Mikrostrip	26
4.5	Bahan Dielektrik	28
4.6	Analisa Rumus Dan Formula	28
4.6.1	Formula Sintesis (Apabila $Z_0$ Dan $\epsilon_r$ Diberikan).	28
<b>5.0</b>	<b>REKABENTUK PENAPIS</b>	
5.1	Pengenalan	34
5.2	Rekabentuk Penapis Daripada ' <i>Lumped Circuit</i> '	35
5.3	Spesifikasi Rekabentuk Penapis Lulus	38

	Jalur Mikrostrip	
5.4	Penapis Mikrostrip Gandingan Selari	40
5.4.1	Strategi Dalam Proses Rekabentuk Penapis.	41
5.5	Rekabentuk Secara Pengiraan Dimensi	43
5.5.1	Analisis, Kiraan Dan Keputusan	43
5.5.1.1	Penapis Lulus Jalur Gandingan Selari Dengan $eR=4.7$ (FR4)	43
<b>6.0</b>	<b>SIMULASI PERISIAN 'MICROWAVE OFFICE 2004'</b>	
6.1	Pengenalan	50
6.2	Pengenalan Simulasi Perisian ' <i>Microwave Office 2004</i> '	50
6.3	Strategi Simulasi Dan Analisis	52
<b>7.0</b>	<b>FABRIKASI PENAPIS</b>	
7.1	Pengenalan	61
7.2	Proses Fabrikasi Penapis	61
<b>8.0</b>	<b>PENGUJIAN, KEPUTUSAN DAN ANALISIS</b>	
8.1	Pengenalan	68
8.2	Pengujian Penapis Mikrostrip Lulus Jalur.	68
8.3	Pengukuran Galangan Elemen	69
8.4	Pengukuran Isyarat/ Sambutan Frekuensi Penapis	69
8.5	Keputusan Pengujian	72
8.6	Perbincangan	76
<b>9.0</b>	<b>MASALAH REKABENTUK DAN CADANGAN MASA DEPAN</b>	

9.1	Masalah Rekabentuk	79
9.2	Cadangan Masa Hadapan	81
9.3	Kesimpulan	82
	<b>RUJUKAN</b>	<b>85</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>88</b>

**SENARAI JADUAL**

<b>NO</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
4.1	Ciri-Ciri Bahan Dielektrik	29
8.1	Jadual Pengukuran Sambutan Frekuensi Dan kehilangan Balikan Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz.	73
8.2	Ringkasan Perbandingan Keputusan Antara Hasil Simulasi Dan Hasil Pengujian.	77

## SENARAI RAJAH

NO	TAJUK	HALAMAN
2.1	Spektrum Elektromagnet Daripada ELF Dehingga Ke X-Ray	6
2.2	Set Spektrum Elektromagnet	7
2.3	Graf Sambutan Penapis Lulus Rendah	8
2.4	Graf Sambutan Penapis Lulus Tinggi	9
2.5	Graf Sambutan Penapis Lulus Jalur	10
2.6	Litar ' <i>Lumped Element</i> ' Untuk Penapis Jalur Rendah	14
2.7	Transformasi Lumped-Element Dari Litar Lulus Rendah Ke Jalur Lulus	15
2.8	Litar Setara Antara (a) Talian Gandingan-Selari Dan (b) Penyongsang Galangan	16
3.1(b)	Carta Alir Dalam Membangunkan Penapis Lulus Jalur Gandingan Selari	21
3.1(a)	Carta Alir Dalam Membangunkan Penapis Lulus Jalur Gandingan Selari	22
4.1	Geometri Asas Mikrostrip	24

BAB	TAJUK	HALAMAN
4.2	Graf Frekuensi Lawan Lebar Penapis	27
5.1	Litar 'Lumped Element' Untuk Penapis Jalur Rendah	36
5.2	Litar 'Lumped Element' Untuk Penapis Lulus Jalur	38
5.3	Carta Alir Bagi Strategi Dalam Proses Rekabentuk Penapis	42
5.4	Lakaran Bentuk Bentangan Litar Penapis Jalur Lulus Gandingan Selari	44
5.5	Bentangan Bagi Penapis Mikrostrip Jalur Lulus Gandingan Selari 2-Seksyen Dengan $\epsilon_r = 4.7$ (Bukan Dalam Skala)	48
5.6	Bentangan Bagi Penapis Mikrostrip Jalur Lulus Gandingan Selari 2-Seksyen Dengan $\epsilon_r = 5.4$ (Bukan Dalam Skala)	49
5.7	Saiz Bentangan Penapis Mikrostrip Jalur Lulus Gandingan Selari Dengan $\epsilon_r = 4.7$ (FR4)	50
6.1	Carta Alir Menerangkan Strategi Simulasi Penapis Mikrostrip Dengan Menggunakan Perisian 'Microwave Office 2004'.	53
6.2	Struktur Bentangan Litar Penapis Mikrostrip Jenis Lulus Jalur Gandingan Selari.	54
6.3	Rajah Untuk Mendefinasi Struktur Parameter.	55
6.4	Rajah Untuk Menentukan Saiz 'Enclosure'.	55
6.5	Rajah Untuk 'Dielectric Layers'.	56
6.6	Rajah Untuk 'Boundries'	57
6.7	Rajah Untuk Lukisan Struktur Pada Perisian 'Microwave Office 2004'.	58

<b>BAB</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
6.8	Rajah Untuk Menentukan Julat Frekuensi	59
6.9	Rajah Menunjukkan Graf Segiempat	60
7.1	Alat Untuk ' <i>UV Exposure</i> '	63
7.2	Proses ' <i>Develop</i> '	63
7.3	Mesin Untuk ' <i>Etching</i> '	64
7.4	Proses ' <i>Etching</i> '	64
7.5	Proses ' <i>Stripping</i> '	65
7.6	Mesin ' <i>Developer</i> ' Dan ' <i>Stripping</i> '	65
7.7	Penyambung BNC 50 $\Omega$	66
7.8	Bentuk Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Gandingan Selari 2.4GHz Yang Siap Difabrikasi Dan Bekas Daripada Acrylic Skala Sebenar).	66
7.9	Bentuk Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Gandingan Selari 2.4GHz Yang Siap Difabrikasi Daripada Pandangan Hadapan(Skala Sebenar).	67
7.10	Bentuk Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Gandingan Selari 2.4GHz Yang Siap Difabrikasi Daripada Pandangan Sisi Port (Skala Sebenar).	67
8.1 (b)	Pemasangan Alat pengukuran Sambutan Frekuensi	70
8.1(a)	Pemasangan Alat pengukuran Sambutan Frekuensi	70
8.2	Network Analyzer Advantest	71
8.3	Kabel Koaxial (50 $\Omega$ )	71
8.4	Kehilangan Balikan Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz	73

<b>BAB</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
8.5	Sambutan Frekuensi Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz	74
8.6	Kehilangan Balikan Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz (Daripada Network Analyzer)	74
8.7	Sambutan Frekuensi Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz (Daripada Network Analyzer)	74
8.8	Sambutan Frekuensi Penapis Mikrostrip Lulus Jalur Pada 2.4GHz.(Untuk Tiga Litar Penapis)	74
9.1	Bentuk Litar Setara Penapis Mikrostrip Lulus Jalur	82

## SENARAI SIMBOL DAN ISTILAH

A	-	Kerosotan
BW	-	Lebar Jalur
$F_o$	-	Frekuensi Tengah
$f_L$	-	Frekuensi Potong Bawah
$F_h$	-	Frekuensi Potong Atasan
$Z_{in}$	-	Galangan Masukan
$Z_o$	-	Galangan Ciri
$R_{in}$	-	Rintangan Masukan
$R_o$	-	Rintangan Ciri
$\epsilon_r$	-	Ketelusan Relatif Bahan Dielektrik
$\epsilon_{eff}$	-	Ketelusan berkesan bahan dielektrik
h	-	Tebal Bahan Dielektrik
t	-	Tebal Talian Mikrostrip
w	-	Lebar Elemen Talian Mikrostrip
L	-	Panjang Elemen
$\lambda$	-	Panjang Gelombang
lumped	-	Tergumpal
Stub	-	Puntung
Gap	-	Sela
PCB	-	Papan Litar Bercetak

**SENARAI LAMPIRAN**

<b>LAMPIRAN</b>	<b>TAJUK</b>	<b>HALAMAN</b>
A	Formula pengiraan	88
B	' <i>Lumped-element</i> ' kepada litar setara	90
C	Pemalar konduktiviti	91
D	Graf sambutan frekuensi S[21]	92

## **BAB I**

### **PENGENALAN**

#### **1.1 PENGENALAN**

Penapis elektronik merupakan litar pemilih frekuensi yang meluluskan dan menghalang isyarat pada julat frekuensi yang tertentu. Frekuensi gelombang mikro pula adalah frekuensi yang berada dalam julat SHF (Super High Frequency) dan EHF (Extra High Frequency) iaitu diantara 900MHz sehingga 300GHz. Dalam projek ini, frekuensi gelombang mikro yang dicadangkan adalah antara 1.9 GHz sehingga 2.9 GHz.

Penapis adalah salah satu alat yang penting dalam litar elektronik. Ciri penapis yang meluluskan dan merosotkan isyarat pada julat frekuensi yang tertentu menjadikannya satu unsur yang penting dalam hampir semua sistem elektronik terutamanya sistem perhubungan gelombang mikro. Beberapa kegunaan penapis frekuensi dalam system gelombang mikro:

- i. Satu penapis lulus rendah diperlukan untuk meluluskan isyarat pada julat frekuensi yang tertentu sambil menghalang isyarat pengayun, imej dan lain-lain dalam litar pencampur.
- ii. Penapis diperlukan untuk meluluskan harmonik-harmonik tertentu dan pada masa yang sama, merosot harmonik yang lain dalam sebuah pendarab,.

Aplikasi khusus penapis adalah seperti penerima ESM, perhubungan satelit, system mudah alih, sistem siaran langsung satelit, perhubungan PCM dan pemultipleks FM gelombang mikro mengikut julat frekuensi tertentu.

## 1.2 TUJUAN MEREKABENTUK PENAPIS LULUS JALUR

Dalam bidang perhubungan gelombang mikro seperti sistem satelit, sistem telefon selular, sistem radio dan lain-lain lagi Penapis lulus jalur pada frekuensi gelombang mikro merupakan penapis yang semakin luas penggunaannya. Tujuan projek ini adalah untuk membina satu penapis lulus jalur yang berupaya meluluskan dan menghalang isyarat pada frekuensi gelombang mikro yang tinggi (GHz) dengan baik supaya boleh digunakan dengan meluas dalam sistem komunikasi masa hadapan. Untuk projek ini, penapis mikrostrip digunakan kerana penapis ini bersaiz kecil, ringan dan amat sesuai digunakan pada frekuensi tinggi.

Satu perisian komputer 'Microwave Office 2004' digunakan untuk mengira parameter-parameter rekabentuk penapis dengan lebih

cepat dan tepat. Proses simulasi litar dengan menggunakan perisian memerlukan analisis dari pelbagai sudut supaya sifat-sifat penapis, talian mikrostrip dan frekuensi yang ditentukan menepati ciri-ciri rekabentuk penapis.

### 1.3 OBJEKTIF

Pada masa sekarang, teknologi penapis untuk frekuensi mikro semakin berkembang dengan pesat, satu projek untuk merekabentuk satu penapis lulus jalur gelombang mikro telah dikaji.

Antara objektif projek ini ialah :

1. Mengenal teknologi Mikrostrip yang banyak digunakan pada masa kini.
2. Mengkaji cara membuat fabrikasi litar penapis mikrostrip dan cara untuk membuat pengujian pada litar.
3. Membangunkan satu litar penapis '*bandpass*' (bandpass filter) yang berkuasa 2.4GHz dengan menggunakan teknologi Microstrip.
4. Mengkaji cara merekabentuk litar penapis gelombang mikro dengan menggunakan talian mikrostrip.
5. Mengkaji cara-cara penggunaan perisian '*microwave office 2004*' dalam proses simulasi litar gelombang mikro.

## 1.4 SKOP KERJA

Dalam era teknologi yang sentiasa berkembang kini, aplikasi sistem perhubungan frekuensi gelombang radio mikro semakin digunakan dengan meluas terutamanya di Negara-negara maju. Oleh sebab itu juga, Malaysia tidak seharusnya ketinggalan dalam mengejar perkembangan teknologi ini dan harus menceburkan diri dalam teknologi ini.

Dalam projek ini yang bertajuk “Membangunkan Penapis Lulus Jalur Gelombang Mikro 2.4GHz Dengan Menggunakan Mikrostrip”. Dengan ini, membangunkan satu litar penapis lulus jalur yang berkuasa 2.4GHz dengan menggunakan teknologi Mikrostrip.

Skop kerja bagi projek ini merangkumi beberapa bahagian yang penting iaitu:

1. Membuat penyelidikan berkaitan dengan penapis mikrostrip, talian penghantaran mikrostrip dan gelombang elektromagnetik. Ini adalah perlu untuk menentukan nilai dimensi penapis, ciri-ciri bahan dielektrik, galangan ciri yang sepadan dan menentukan sambutan frekuensi supaya penapis yang dibentuk mempunyai ciri-ciri yang dapat menghadkan dan meluluskan julat frekuensi tertentu yang baik.
2. Membangunkan rumus-rumus yang sesuai untuk mengira dimensi penapis mikrostrip, galangan ciri, ketelusan relative sesuatu bahan dielektrik dan untuk menghasilkan satu layout penapis mikrostrip.
3. Membuat simulasi litar dengan menggunakan perisian ‘*Microwave Office 2004*’.
4. Fabrikasi penapis apabila mendapat litar yang sesuai dengan menggunakan ciri-ciri yang telah diambil kira.
5. Menghasilkan penapis lulus jalur gandingan selari dengan frekuensi tengah 2.4 GHz Ini kerana pada frekuensi 2.4 GHz – 2.45 GHz merupakan frekuensi

*'unlicensed frequency band'* dan ini adalah amat sesuai untuk teknologi *'bluetooth'*, *'WIFI'*, *'3<sup>rd</sup> Generation'* dan sebagainya.

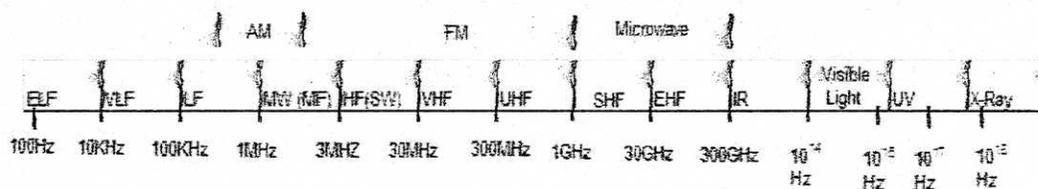
6. Menguji hasil rekabentuk penapis apabila kesemua proses rekabentuk telah selesai.
7. Membuat perbandingan hasil pada penapis yang telah difabrikasi dan dengan hasil simulasi.

## BAB II

### KAJIAN LATAR BELAKANG

#### 2.1 PENGENALAN

Spektrum elektromagnet boleh dibahagikan kepada beberapa julat seperti rajah 2.1,



Rajah 2.1 : Spektrum Elektromagnet daripada ELF sehingga ke X-Ray

Frekuensi radio (RF) merangkumi julat antara 100 kHz sehingga 300 GHz manakala bagi frekuensi gelombang mikro terletak pada julat diantara 300 MHz sehingga 300 GHz. Ini bermakna frekuensi gelombang mikro adalah subset kepada frekuensi gelombang radio seperti yang ditunjukkan pada rajah 2.2