

PEMODELAN GEOMETRI  
MENGUNAKAN TEORI SET KABUR

ABD. FATMAH BIN WAHAB

UNIVERSITI SAINS MALAYSIA

2006



**PEMODELAN GEOMETRI  
MENGUNAKAN TEORI SET KABUR**

oleh

**ABD. FATAH BIN WAHAB**

**Tesis yang diserahkan untuk  
memenuhi keperluan bagi Ijazah  
Doktor Falsafah**

**Januari 2008**

## PENGHARGAAN

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah s.w.t. yang Maha Pemurah lagi Maha Penyayang serta selawat dan salam ke atas junjungan besar Nabi Muhammad s.a.w. kerana dengan taufik dan hidayat-Nya jualan tesis ini dapat disiapkan dalam tempoh masa yang ditetapkan. Saya ingin mengambil kesempatan ini untuk merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih ditujukan khas kepada penyelia utama, Prof. Madya Dr. Jamaludin Md. Ali yang banyak memberikan idea yang bernas serta tunjuk ajar demi menghasilkan jalan kerja tesis yang efektif. Seterusnya jutaan terima kasih ditujukan kepada jawatan kuasa penyeliaan tesis, Prof. Dr. Abu Osman Md Tap yang memberi bimbingan dalam bidang matematik kabur dan Prof. Madya Dr. Ahmad Abd. Majid yang membantu dalam bidang komputasi dan analisis data.

Sekalung penghargaan kepada Universiti Malaysia Terengganu (UMT) yang telah memberi peluang serta bantuan kewangan sehingga tamat pengajian. Jutaan terima kasih juga ditujukan kepada Dekan PPSM dan Dekan IPS yang telah memberi kebenaran dan menyediakan kemudahan tempat penyelidikan. Tidak lupa juga, terima kasih ditujukan kepada rakan-rakan seakademik, Gobithasan Rudrusami dan Muhamad Safiih Lola yang membantu dalam menjayakan tesis ini.

Teristimewa kepada ibuku Maimunah dan Mek Mah yang sentiasa berdoa untuk kejayaan anaknya. Kepada isteriku tercinta Norsiah dan anakku yang tersayang W. Yusro, Musfirah dan Miqdam yang banyak memberikan dorongan semangat serta sanggup berkorban sehingga ke detik akhir pengajian saya. Tanpa kesefahaman dan doa daripada kalian, tak mungkin saya dapat menjalani tempoh pengajian yang agak panjang ini. Saya doakan kalian akan diberi rahmat serta perlindungan oleh Allah s.w.t.

# SUSUNAN KANDUNGAN

Muka surat

<b>PENGHARGAAN</b>	ii
<b>JADUAL KANDUNGAN</b>	iii
<b>SENARAI RAJAH</b>	vi
<b>SENARAI PENERBITAN DAN SEMINAR</b>	xv
<b>ABSTRAK</b>	xvi
<b>ABSTRACT</b>	xvii

## **BAB 1 - PENGENALAN**

1.0	Pengenalan	1
1.1	Latar Belakang Kajian dan Sorotan Kepustakaan	5
1.2	Objektif Kajian	11
1.3	Implikasi Kajian	12
1.4	Pernyataan Masalah dan Masalah Kajian	12
1.5	Kandungan Tesis dan Pendekatan Pembinaan Model Kabur	13

## **BAB 2 - PEMODELAN GEOMETRI DAN TEORI SET KABUR**

2.0	Pengenalan	17
2.1	Pembinaan Model Lengkung Bezier Rangup	19
2.1.1	Konsep Asas	19
2.1.2	Lengkung Bezier Rangup	22
2.1.3	Keselajaran Lengkung Bezier Rangup	25
2.1.4	Contoh	26
2.1.5	Model Lengkung Interpolasi Bezier Rangup Kubik	28
2.1.6	Model Permukaan Bezier Rangup	30
2.2	Pemodelan Lengkung dan Permukaan Splin-B Rangup	34
2.2.1	Model Lengkung Splin-B Rangup	35
2.2.2	Model Permukaan Splin-B Rangup	40
2.2.3	Model Lengkung dan Permukaan "NURBS" Rangup	45
2.3	Teori Set Kabur	51
2.3.1	Takrif Set Kabur	52
2.3.2	Operasi Set Kabur	54
2.3.3	Set Aras- $\alpha$ dan Set Kecembungan Kabur	55

2.3.4	Nombor Kabur dan Strukturnya	57
2.3.5	Sifat Aritmetik Nombor Kabur	60
2.3.6	Prinsip Perluasan	61
2.3.7	Data Rangup dan Data Kabur	63
2.4	Kesimpulan	65

### **BAB 3 - MODEL SPLIN KABUR**

3.0	Pengenalan	66
3.1	Lengkung Splin Kabur dan Splin Penyahkaburan	67
3.2	Penginterpolasi Splin Kabur dan Splin Penyahkaburan Kubik	68
3.3	Masalah Data Ketakpastian	72
3.4	Permukaan Splin Kabur dan Splin Penyahkaburan	76
3.5	Kesimpulan	78

### **BAB 4 - PEMODELAN SPLIN BEZIER KABUR**

4.0	Pengenalan	79
4.1	Titik Kawalan Kabur dan Titik Kawalan Penyahkaburan	80
4.2	Pembinaan Model Lengkung Bezier Kabur	83
4.2.1	Sifat Asas dan Contoh	85
4.3	Lengkung Bezier Penyahkaburan	86
4.4	Keselajaran Lengkung Bezier Kabur	86
4.5	Contoh Lengkung Bezier Kabur dan Penyahkaburan	87
4.6	Model Interpolasi Bezier Kabur Kubik	89
4.7	Model Permukaan Bezier Kabur dan Permukaan Bezier Penyahkaburan	91
4.7.1	Takrif	92
4.7.2	Contoh	93
4.8	Kesimpulan	95

### **BAB 5 - PEMODELAN SPLIN-B KABUR**

5.0	Pengenalan	96
5.1	Model Lengkung Splin-B Kabur	98
5.1.1	Takrif	98
5.1.2	Contoh	100

5.2	Lengkung Splin-B Penyahkaburan	102
5.3	Masalah Pengkaburan Titik Data	106
5.3.1	Pengkaburan Titik Data Mengikut Paksi	106
5.3.2	Pengkaburan Titik Data Mengikut Pepenjuru	110
5.3.3	Titik Data Kabur Lengkap	111
5.4	Model Splin-B Data Berkomponen Kabur	112
5.4.1	Model Splin-B Data Komponen $(x,y)$ Kabur	113
5.4.2	Model Splin-B Data Kabur Lengkap	117
5.5	Model Splin-B Knot Bernilai Kabur	119
5.5.1	Contoh	120
5.5.2	Model Splin-B Knot Penyahkaburan	124
5.6	Masalah Data Kompleks	128
5.7	Lengkung "NURBS" Kabur	129
5.8	Permukaan Splin-B Kabur	132
5.8.1	Takrif	133
5.8.2	Contoh	136
5.9	Model Permukaan "NURBS" Kabur	139
5.10	Kesimpulan	141

## **BAB 6 - PERMUKAAN DASAR TASIK KENYIR DATA ZON1**

6.0	Pengenalan	143
6.1	Perihalan Data dan Permukaan Linear	144
6.2	Pelaksanaan Model Kabur	148
6.2.1	Langkah Pemodelan Data Zon1	148
6.2.2	Pengkaburan Data Zon1	149
6.2.3	Penyesuaian Model Kabur	151
6.3	Kesimpulan	157

## **BAB 7 – KESIMPULAN DAN KAJIAN LANJUTAN**

7.0	Kesimpulan Kajian	159
7.1	Dapatan dan Sumbangan Kajian	161
7.2	Cadangan Kajian Lanjutan	162

<b>SENARAI RUJUKAN</b>	<b>164</b>
------------------------	------------

## SENARAI RAJAH

Muka surat

Rajah 1.1	Penyusunan dan organisasi tesis.	15
Rajah 1.2	Ilustrasi proses dan konsep pemodelan geometri teknik kabur.	15
Rajah 1.3	Proses pemodelan lengkung kabur dan lengkung penyahkaburan.	16
Rajah 1.4	Proses pemodelan permukaan kabur dan penyahkaburan.	16
Rajah 2.1	Set cembung dan set tak cembung rangup.	20
Rajah 2.2	Rantau kecembungan hul titik $P_1, P_2, \dots, P_n$ .	20
Rajah 2.3	Lengkung polinomial $B_i^1(t), B_i^2(t), B_i^3(t)$ dan $B_i^4(t)$ yang digunakan dalam penjanaan lengkung Bezier berdarjah $n = 1, 2, 3$ dan 4.	21
Rajah 2.4	Lengkung Bezier kubik dalam bentuk 2D dan 3D dengan titik kawalan rangup $\{P_0, P_1, P_2, P_3\}$ dalam pelbagai kedudukan yang berbeza.	23
Rajah 2.5	Lengkung Bezier berperingkat lebih tinggi dalam 3D dengan titik kawalan yang lebih dari empat.	23
Rajah 2.6	Sifat perubahan terhadap lengkung Bezier rangup.	24
Rajah 2.7	Lengkung Bezier rangup yang terbuka dan tertutup.	27
Rajah 2.8	Penggubahan lengkung Bezier rangup.	27
Rajah 2.9(a)	Penggabungan di antara dua lengkung Bezier rangup terbuka menjadi lengkung rangup yang tertutup dengan menyamakan kedua-dua titik hujung.	27
Rajah 2.9(b)	Lengkung Bezier rangup kubik yang selanjara secara $C^0$ dan $C^1$ pada titik kawalan rangup $P_0 = Q_0$ dan $P_3 = Q_3$ .	28
Rajah 2.10	Lengkung Bezier rangup kubik $G^1$ selanjara menginterpolasi 3 titik data rangup.	29
Rajah 2.11	Lengkung Bezier rangup kubik menginterpolasi titik data $P_0, P_3, P_6$ dan $P_9$ secara cebis demi cebis dengan syarat keselanjaraan $G^1$ .	29



Rajah 2.12	Lengkung Bezier rangup kubik selanjar secara $G^1$ yang menginterpolasi 7 titik data dengan 12 titik kawalan rangup.	30
Rajah 2.13	Jaring kawalan rangup yang membentuk polihedron cirian bagi tampilan Bezier rangup.	31
Rajah 2.14	Permukaan Bezier rangup kuadratik dengan polihedron cirian rangupnya.	33
Rajah 2.15	Permukaan Bezier kuadratik dan kubik.	33
Rajah 2.16	Perubahan lengkungan permukaan Bezier rangup dalam jaring kawalannya.	34
Rajah 2.17	Permukaan Bezier rangup berperingkat lebih tinggi dengan jaring kawalan rangupnya yang berbeza.	34
Rajah 2.18	Fungsi asas splin-B rangup (a) nilai knot tak seragam, (b) nilai knot berulang, (c) nilai knot seragam dan (d) cantuman 4 nilai knot dalaman.	36
Rajah 2.19(a)	Lengkung splin-B rangup kuadratik dan kubik yang berubah dalam poligon kawalan rangupnya.	39
Rajah 2.19(b)	Fungsi asas splin-B rangup dan lengkung splin-B rangup dengan perubahan titik kawalan rangup.	39
Rajah 2.20	Lengkung splin-B rangup dengan dua nilai knot yang diubah.	40
Rajah 2.21	(a) Jaring kawalan splin-B rangup dan (b) Permukaan hasil darab tensor splin-B dan titik kawalannya.	42
Rajah 2.22(a)	Perihaln permukaan splin-B rangup kubik. (a) Jaring kawalan rangup yang berubah. (b) Permukaan splin-B rangup berubah secara setempat. (c) Permukaan splin-B rangup kubik serta jaring kawalannya.	44
Rajah 2.22(b)	(a) Perihaln perubahan tempatan permukaan splin-B dan (b) perubahan permukaan di bawah jaring kawalan rangupnya.	44
Rajah 2.23	Visual mengenai permukaan splin-B rangup, lengkung kontur dan permukaan rata yang diplot mengguna takrif permukaan splin-B rangup.	45
Rajah 2.24	Perbandingan permukaan splin-B rangup kubik. (a) titik kawalan rangup yang asal dan (b) titik kawalan rangup yang diubah.	45

Rajah 2.25	Lengkung <i>NURBS</i> rangup (a) kuadratik dan (b) kubik dengan 13 titik kawalan dan knot seragam.	47
Rajah 2.26	Lengkung <i>NURBS</i> rangup nilai knot seragam dengan 13 titik kawalan rangup (a) kuadratik dan (b) kubik.	48
Rajah 2.27	Permukaan <i>NURBS</i> kubik yang melalui 4 bucu jaring kawalan rangup.	49
Rajah 2.28	Permukaan <i>NURBS</i> rangup kubik dan sifat kawalan permukaan secara setempat yang unik.	50
Rajah 2.29	Visual mengenai idea tentang set kabur dalam suatu set wacana semesta dengan pemetaan darjah keahlian ke dalam selang tertutup $[0, 1]$ .	52
Rajah 2.30	Set kabur dengan fungsi keahlian dalam bentuk linear dan tak linear.	53
Rajah 2.31	Fungsi keahlian nombor nyata "sekitar 10" yang diskret dan selanjur.	53
Rajah 2.32	Struktur dan komponen asas set kabur $A$ dalam set semesta $X$ .	54
Rajah 2.33	Set kabur normal, tak normal dan global.	54
Rajah 2.34	Kesatuan, persilangan dan pelengkap bagi set kabur.	55
Rajah 2.35	Perbandingan di antara dua set kabur (a) tak cembung dengan (b) yang cembung.	56
Rajah 2.36	Nombor kabur yang ditakrif oleh fungsi keahlian $f$ dan $g$ yang normal dan selanjur.	58
Rajah 2.37	Struktur nombor kabur, set rangup, set aras- $\alpha$ dan selang nombor kabur.	59
Rajah 2.38	Prinsip perluasan nombor kabur.	63
Rajah 3.1	Prosedur pemodelan splin teknik kabur.	67
Rajah 3.2	(a) Fungsi kabur dan (b) fungsi splin kabur dengan titik $\tilde{D}_i = (\tilde{t}_i, \tilde{y}_i)$ .	69
Rajah 3.3	(a) Lengkung splin kabur dan (b) perbandingan splin rangup dengan splin penyahkaburan.	71
Rajah 3.4	Splin kabur dalam 3D data yang ke-3 dan ke-4 adalah kabur.	71

Rajah 3.5	Lengkung splin kabur kubik yang menginterpolasi titik data berkompunen kabur. (a) data $x$ kabur, (b) data $y$ kabur dan (c) data $(x,y)$ kabur.	73
Rajah 3.6	Lengkung splin kabur kubik. (a) Lengkung interpolasi titik data komponen dan berpepenjuru kabur, (b) lengkung perbandingan dan (c) sifat perubahan lengkung secara setempat.	75
Rajah 3.7	Splin kabur kubik menginterpolasi titik data $\{\tilde{D}_i\}_{i=0}^{11}$ dengan data ke-2, ke-3 dan ke-9 adalah ketakpastian berlaku pada komponen $x$ dan $y$ . Lengkung penyahkaburan dibanding dengan splin interpolasi kubik biasa.	76
Rajah 3.8	Permukaan splin kabur dan splin penyahkaburan kubik dalam pelbagai kedudukan.	77
Rajah 3.9	(a) Permukaan splin rangup dan (b) splin penyahkaburan.	78
Rajah 3.10	Permukaan splin kabur yang menginterpolasi data dengan fungsi $z = \cos(e^{-(x^2+y^2)})$ .	78
Rajah 4.1	Titik kawalan rangup dalam set wacana semesta $S$ .	81
Rajah 4.2	Titik kawalan kabur dan selang $\langle \tilde{P}_i^-, P_i, \tilde{P}_i^+ \rangle$ pada suatu set aras- $\alpha$ dalam selang $(0,1]$ .	82
Rajah 4.3	Pendekatan pengkaburan dan penyahkaburan titik dalam pemodelan geometri menggunakan teori set kabur.	83
Rajah 4.4	Lengkung Bezier kabur kuadratik yang terhasil dengan tiga titik kawalan kabur $\{\tilde{P}_0, \tilde{P}_1, \tilde{P}_2\}$ .	84
Rajah 4.5	Lengkung Bezier kabur kubik.	85
Rajah 4.6	Lengkung penyahkaburan Contoh 4.1.	86
Rajah 4.7	Lengkung Bezier kabur dan Bezier penyahkaburan beserta poligon kawalannya.	88
Rajah 4.8	Lengkung Bezier kabur dan penyahkaburan kubik.	88
Rajah 4.9	Lengkung gabungan. (a) lengkung Bezier kabur dan (b) lengkung Bezier penyahkaburan yang disambung secara selanjar $C^0$ .	88
Rajah 4.10	Lengkung Bezier kabur dan penyahkaburan kubik disambung secara selanjar $C^1$ .	89

Rajah 4.11	Lengkung Bezier kabur kubik selanjar $G^1$ yang menginterpolasi titik $\tilde{P}_0, \tilde{P}_3$ dan $\tilde{P}_6$ .	90
Rajah 4.12	Lengkung Bezier kabur kubik selanjar $G^1$ yang menginterpolasi titik kabur $\tilde{P}_0, \tilde{P}_1$ dan $\tilde{P}_2$ .	91
Rajah 4.13	Jaringan titik kawalan kabur, polihedron cirian penyahkaburan dan tampalan Bezier kabur $(n+1) \times (m+1)$ untuk $n = m = 3$ .	92
Rajah 4.14	Pemukaan Bezier kabur dan penyahkaburan beserta polihedron kawalannya.	93
Rajah 4.15	Pemukaan Bezier kabur dan penyahkaburan kubik.	93
Rajah 4.16	(a) Pemukaan jaring Bezier kabur dan penyahkaburan. (b) Pemukaan Bezier kabur dan penyahkaburan.	94
Rajah 4.17	Lengkung kontur dan permukaan Bezier penyahkaburan.	94
Rajah 5.1	Lengkung splin-B kabur kuadratik dengan nilai knot seragam, (a) lengkung tak menginterpolasi kedua titik hujung dan (b) menginterpolasi kedua titik hujung.	101
Rajah 5.2	Lengkung splin-B kabur kubik nilai knot (a) seragam dan (b) tak seragam.	102
Rajah 5.3	Lengkung splin-B penyahkaburan dan perbandingannya dengan lengkung splin-B rangup.	103
Rajah 5.4	(a) Lengkung splin-B kabur kubik, (b) lengkung splin-B penyahkaburan kubik dan (c) perbandingan di antara lengkung splin-B rangup dengan splin-B penyahkaburan kubik.	104
Rajah 5.5	Lengkung splin-B kabur dan penyahkaburan kubik tertutup.	104
Rajah 5.6	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan tertutup dalam bentuk 3D.	105
Rajah 5.7	Penyesuaian lengkung splin-B kabur kubik dengan titik kawalan kabur beserta poligonnya dan lengkung splin-B penyahkaburan kubik dengan titik kawalannya.	105
Rajah 5.8(a)	Kedudukan data $x, y$ dan $z$ kabur dengan poligon kawalan kaburnya yang dihasil melalui kaedah pengkaburan titik data.	108

Rajah 5.8(b)	Lengkung splin-B kabur dihasil melalui penyesuaian data $x$ , data $y$ dan data $z$ adalah kabur .	108
Rajah 5.9	(a) dan (b) ialah lengkung splin-B kabur dengan titik data $x$ dan $y$ kabur serentak. (c) ialah lengkung splin-B penyahkaburan.	109
Rajah 5.10	Data kabur pada paksi dan pepenjuru dalam bentuk 2D dan 3D.	111
Rajah 5.11	Titik data kabur lengkap diberi dalam bentuk 2D dan 3D.	112
Rajah 5.12	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan titik data berpepenjuru kiri-kanan kabur	113
Rajah 5.13	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan titik data berpepenjuru kanan-kiri kabur.	114
Rajah 5.14	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan titik data berpepenjuru kabur dalam bentuk 3D.	115
Rajah 5.15	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan data 3D berpepenjuru kanan-kiri kabur.	116
Rajah 5.16	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan dalam bentuk 3D yang dihasil menggunakan titik data $x$ , $y$ dan $z$ berpepenjuru kabur.	117
Rajah 5.17	Lengkung splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan kubik data kabur lengkap.	118
Rajah 5.18	Lengkung splin-B kabur dan penyahkaburan. (a) lengkung splin-B dengan knot $\tilde{t}_6$ kabur, (b) lengkung splin-B knot penyahkaburan dan (c) persilangan lengkung dalam poligon kawalan $\{P_1, P_2, P_3\}$ dan $\{P_3, P_4, P_5\}$ .	121
Rajah 5.19	Lengkung splin-B kabur kubik dengan dua nilai knot $\tilde{t}_5, \tilde{t}_6$ kabur dan perbandingan lengkung penyahkaburan dengan lengkung rangup.	122
Rajah 5.20	Lengkung splin-B kabur dengan nilai knot kabur dan titik kawalan komponen $x$ kabur.	123
Rajah 5.21	Lengkung splin-B kabur kubik (a) lengkung dengan dua nilai knot dan titik kawalan kabur dan (b) fokus terhadap tiga komponen lengkung A rangup, lengkung B bahagian kiri kabur dan C lengkung bahagian kanan kabur.	124
Rajah 5.22	Lengkung splin-B knot penyahkaburan dibanding dengan lengkung splin-B knot bernilai rangup.	125

Rajah 5.23(a)	Lengkung splin-B kabur dengan dua nilai knot kabur dan titik kawalan komponen $y$ kabur.	126
Rajah 5.23(b)	Lengkung splin-B kabur dengan dua nilai knot kabur dan titik kawalan komponen $y$ yang dinyahkaburan dibanding dengan lengkung rangup.	126
Rajah 5.24	Lengkung splin-B dengan dua nilai knot kabur dan titik kawalan komponen $z$ kabur. Lengkung splin-B rangup dan penyahkaburan yang di sebelah kanan.	127
Rajah 5.25	Beberapa bentuk lengkung splin-B kabur kubik diplot menggunakan titik kawalan kabur dan knot bernilai kabur.	127
Rajah 5.26	Lengkung splin-B kabur kubik (a) menggunakan data kabur kompleks (data ketakpastian) dan (b) lengkung penyahkaburan kubik.	128
Rajah 5.27	Lengkung <i>NURBS</i> kabur kuadratik knot seragam dihasil menggunakan 13 titik kawalan, komponen yang ke-4, 5 dan 9 adalah kabur.	130
Rajah 5.28	Lengkung <i>NURBS</i> kabur kubik knot seragam dihasil menggunakan 13 titik kawalan, komponen ke-4, 5 dan 9 adalah kabur.	130
Rajah 5.29	Lengkung <i>NURBS</i> rangup dan <i>NURBS</i> kabur serta titik kawalannya.	131
Rajah 5.30	Lengkung <i>NURBS</i> kabur dengan nilai knot seragam.	131
Rajah 5.31	Perbandingan lengkung <i>NURBS</i> . (a) lengkung <i>NURBS</i> penyahkaburan kubik, (b) lengkung <i>NURBS</i> rangup dan <i>NURBS</i> penyahkaburan dan (c) kedudukan lengkung rangup dan lengkung kabur yang berbeza.	132
Rajah 5.32	Polihedron cirian kabur bagi permukaan splin-B kabur.	134
Rajah 5.33	Tampalan linear permukaan splin-B kabur dan permukaan splin-B kuadratik dengan jaring kawalan rangup.	135
Rajah 5.34	Permukaan splin-B kabur dengan titik kawalan kabur yang diwakili oleh satu set data kabur.	136
Rajah 5.35	Permukaan splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan dengan titik kawalan komponen $x$ kabur.	136

Rajah 5.36	Permukaan splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan dengan titik kawalan komponen y kabur.	136
Rajah 5.37	Diberi satu set data dengan komponen z adalah kabur, permukaan tampalan linear dan permukaan splin-B kabur diplot beserta permukaan splin-B penyahkaburannya.	137
Rajah 5.38	Permukaan splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan dengan titik kawalan komponen (x,y) adalah kabur.	137
Rajah 5.39	Permukaan splin-B kabur dan splin-B penyahkaburan dengan data komponen (x,y,z) adalah kabur.	137
Rajah 5.40	Visual tentang bagi permukaan splin-B kabur dari sudut yang berbeza yang diplot menggunakan titik kawalan (x,y,z) kabur.	138
Rajah 5.41	Permukaan splin-B penyahkaburan licin serta selanjur.	138
Rajah 5.42	Gambaran lapisan permukaan splin-B kabur kubik. (a) permukaan bagi data komponen z kabur, (b) kedudukan tiga lapisan permukaan, (c) ilustrasi yang mempamer ketiga-tiga permukaan splin-B yang terdiri daripada lapisan atas, tengah dan bawah dan (d) permukaan penghampiran penyahkaburan licin yang mewakili maklumat data ketakpastian secara tersirat.	139
Rajah 5.43	Permukaan <i>NURBS</i> kabur dan titik kawalan komponen x dan y kabur.	140
Rajah 5.44	Permukaan <i>NURBS</i> kabur (a) dihasil dengan titik kawalan komponen z kabur dan (b) dihasil berdasarkan titik kawalan penyahkaburan komponen z.	140
Rajah 5.45	Permukaan <i>NURBS</i> kabur (a) diplot bersama permukaan penyahkaburan menggunakan titik kawalan berpepenjuru kabur dan (b) permukaan <i>NURBS</i> yang dihasil berdasarkan titik kawalan penyahkaburan.	141
Rajah 5.46	<i>NURBS</i> Kabur $\Rightarrow$ splin-B kabur $\Rightarrow$ splin Bezier kabur.	142
Rajah 6.1	Ilustrasi tentang teknik pungutan data permukaan Tasik Kenyir menggunakan bot dan alat pantulan permukaan.	144

Rajah 6.2	Perihal statistik data Tasik Kenyir Zon1:Surfer-[200106.srf].	145
Rajah 6.3	Taburan titik data rangup yang mempamerkan kedudukan dan jujukan data yang tak seragam.	145
Rajah 6.4	Data Zon1 rangup dalam bentuk data grid.	146
Rajah 6.5	Ilustrasi mengenai kedalaman rangup data Zon1 di antara permukaan alat dengan permukaan dasaran tasik.	146
Rajah 6.6	Perihal domain dan julat data Zon1.	147
Rajah 6.7	Lengkung dan permukaan linear data Zon1.	147
Rajah 6.8	Proses pemodelan lengkung dan permukaan data Zon1 menggunakan teknik kabur.	148
Rajah 6.9	Data rangup dan data paksi-z kabur.	150
Rajah 6.10	Data Zon1 dengan komponen z kabur yang sudah diproses.	150
Rajah 6.11	Lengkung permukaan Bezier kabur data Zon1.	151
Rajah 6.12	Permukaan Bezier kabur data Zon1.	152
Rajah 6.13	Permukaan Bezier penyahkaburan data Zon1.	153
Rajah 6.14	Lengkung splin-B kabur data Zon1.	154
Rajah 6.15	Permukaan splin-B kabur data Zon1 beserta asasnya.	154
Rajah 6.16	Lengkung kontur dan permukaan splin-B kubik data Zon1 kabur.	155
Rajah 6.17	Fokus permukaan splin-B kabur kubik data Zon1 pada bahagian tertentu.	155
Rajah 6.18	Permukaan pada bahagian (a) dan (b) adalah hasil penyesuaian data Zon1: Tasik Kenyir di Terengganu menggunakan model splin-B penyahkaburan kubik.	156
Rajah 6.19	Ralat ketakpastian di antara permukaan rangup dengan permukaan splin-B penyahkaburan kubik adalah kecil.	157



## SENARAI PENERBITAN & SEMINAR

Muka surat

1.1	Kecekapan matematik dalam reka bentuk untuk keperluan industri.	170
1.2	Fuzzy set in geometric modelling.	170
1.3	Geometric modelling of uncertain region.	170
1.4	Tinjauan: Set kabur dalam pemodelan geometri.	170
1.5	Pemodelan geometri bagi masalah data ketidakpastian.	170
1.6	Reka bentuk lengkung "NURBS" kabur.	170
1.7	Penyesuaian data ketidakpastian melalui splin kabur.	170

# PEMODELAN GEOMETRI MENGGUNAKAN TEORI SET KABUR

## ABSTRAK

Pemodelan geometri dan teori set kabur telah dikembangkan dan diguna dengan meluasnya dalam berbagai cabang matematik, termasuk juga sains dan kejuruteraan. Supaya model yang boleh dipercayai diperolehi, parameter bagi persamaan yang terlibat mestilah tepat. Bagaimanapun, nilai-nilai yang tepat tidak selalunya dapat dibekalkan, dan lazimnya pada suatu tahap tertentu selalunya tidak pasti. Tesis ini memperkenalkan model hibrid kabur berasaskan pemodelan geometri rangup dan teori set kabur. Oleh itu, beberapa model hybrid kabur seperti model fungsi splin kabur, model Bezier kabur, model splin-B kabur dan model "NURBS" kabur untuk perwakilan lengkung dan permukaan bagi set data ketakpastian dikaji dan dibangunkan. Nombor kabur digunakan bagi membina takrif titik kawalan kabur dan knot kabur untuk perkembangan lengkung dan permukaan kabur dalam pemodelan geometri. Tesis ini juga membincang model lengkung dan permukaan splin-B kabur berasaskan data kabur yang kompleks dan model splin penyahkaburan dengan menggunakan titik kawalan yang dinyahkaburan. Untuk menguji dan menganalisis model, kita memilih set data nyata Zon1: Tasik Kenyir, yang telah dipungut dari uji kaji fizikal. Dengan menggunakan data yang dikutip, permukaan splin-B bagi Zon1: Tasik Kenyir dijana dalam kedua-dua bentuk kabur dan penyahkaburan, dan ralat ketakpastian antara splin-B rangup dan splin-B penyahkaburan dibandingkan. Akhir sekali, dapatan kajian dan beberapa aspek kajian selanjutnya dalam bidang pemodelan geometri dengan menggunakan teori set kabur dibincangkan.

# GEOMETRIC MODELLING USING FUZZY SET THEORY

## ABSTRACT

Geometric modelling and fuzzy set theory have been developed and widely used in various branches of mathematics, as well as in sciences and engineering. In order to achieve reliable model, the parameters in the governing equations must be exact. However, those exact values are not often be provided, and normally to some degree are always uncertain. This thesis introduces fuzzy hybrid model based on crisp geometric modelling and fuzzy set theory. Therefore, several possible fuzzy hybrid models, such as fuzzy function spline model, fuzzy Bezier model, fuzzy B-spline model and fuzzy *NURBS* model for curves and surfaces representation of uncertain data set are studied and developed. Fuzzy numbers are used to construct the definitions of fuzzy control points and fuzzy knots for the development of fuzzy curves and fuzzy surfaces in geometric modelling. We also discuss fuzzy B-spline curves and surfaces model which is based on complex fuzzy data and defuzzification spline model using defuzzified control points. For testing and analyzing the models, we chose real data set of Zon1: Tasik Kenyir that was collected through physical experiments. Using the data collected, the B-spline surfaces of Zon1: Tasik Kenyir were generated in both fuzzy and defuzzification formed, and the uncertain error between crisp and defuzzified B-spline is compared. Finally, the results and some aspects of further research in the area of geometric modelling using fuzzy set theory are discussed.