

**PEMEROLEHAN PENGETAHUAN DAN ENJIN  
INFERENS RANGKAIAN BAYESIAN  
MENGGUNAKAN PENDEKATAN HIBRID  
UNTUK SISTEM PAKAR MATA**

**RAHMAD KURNIAWAN**

**UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA**

**PEMEROLEHAN PENGETAHUAN DAN ENJIN INFERENS RANGKAIAN  
BAYESIAN MENGGUNAKAN PENDEKATAN HIBRID  
UNTUK SISTEM PAKAR MATA**

**RAHMAD KURNIAWAN**

**TESIS YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMPEROLEHI  
IJAZAH DOKTOR FALSAFAH**

**FAKULTI TEKNOLOGI DAN SAINS MAKLUMAT  
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA  
BANGI  
2019**

## **PENGAKUAN**

Saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang tiap-tiap satunya telah saya jelaskan sumbernya.

Julai 2019

RAHMAD KURNIAWAN

P86697

## PENGHARGAAN

Syukur Alhamdulillah kepada Allah S.W.T kerana memberikan saya nikmat yang tiada terkira dalam bentuk petunjuk, semangat, kesihatan, masa, dan kematangan fikiran untuk menyiapkan kajian ini dalam bentuk yang begini rupa. Jutaan terima kasih yang tidak saya mampu untuk balas kembali hingga akhir hayat saya kepada penyelia Prof. Madya Dr. Mohd Zakree Ahmad Nazri dan Prof Madya Dr. Siti Norul Huda Sheikh Abdullah atas bantuan yang begitu besar, pengajaran, bimbingan, arahan, teguran dan nasihat yang begitu berguna sepanjang kajian ini. Terimakasih kepada para pakar mata Prof Madya Dr. Jemaima Che Hamzah, Dr. Herman Sp.M, Dr. Oktavianto Herlambang, Sp.M, Dr. Marjis, Sp.M, Dr. Kasmareni, Dr Siska dan Dr. Nastiti yang telah memberi petua untuk pemerolehan pengetahuan dan pengujian. Terimakasih juga kepada Hospital *Sumatera Eye Center*, Rumah Sakit Umum Daerah Bangkinang dan Hospital Universiti Kebangsaan Malaysia yang telah memberi izin kepada saya untuk melakukan penyelidikan. Tidak lupa juga kepada semua Prof. dan Dr. berserta semua pensyarah di Fakulti Sains dan Teknologi Maklumat yang telah banyak memberikan ilmunya kepada saya semasa pengajian ini.

Terima kasih saya ucapkan kepada kakitangan, pihak pengurusan Fakulti Sains dan Teknologi Maklumat atas segala kemudahan yang disediakan. Dengan adanya kemudahan yang telah diberikan kepada saya, penyelidikan saya dapat berjalan dengan baik. Seterusnya pihak perpustakaan kerana telah membekalkan kemudahan dan kerjasama semasa kajian ini.

Ucapan terima kasih juga saya hulukan kepada Ibunda dan Ayahanda, Abang Imansyah Putra abang Fazrie Ashari Hadi, serta semua keluarga besar. Sokongan dan doa yang terus mengalir dari mereka membolehkan saya bertenaga untuk terus menyiapkan kajian saya.

Ucapan terima kasih kepada rakan-rakan yang turut memberikan sokongan dan semangat kepada saya dalam menyiapkan tesis ini.

## ABSTRAK

Jurutera sistem pakar sering berhadapan dengan masalah kesamaran maklumat, kelewahan petua dan ketidakpastian dalam membangunkan sistem pakar khususnya dalam inferens yang berkesan. Ralat petua atau hingar pada pangkalan pengetahuan menyebabkan ketepatan keputusan sistem pakar menjadi rendah berbanding keputusan diagnosis seorang pakar. Antara fasa kritis yang menjadi punca ralat petua adalah ketika fasa pemerolehan pengetahuan. Sumber pengetahuan dari pelbagai sumber turut mengakibatkan kelewahan petua. Kedua-dua permasalahan ini menyebabkan enjin inferens konvensional yang berasaskan teknik perantaian ke hadapan perlu lebih kukuh ketika berdepan dengan isu berkenaan. Bagi menyelesaikan permasalahan ini, tesis ini memperkuatkannya enjin inferens dengan menghibrid teknik perantaian ke hadapan dengan Rangkaian Bayesian (RB). Teknik hibrid digunakan adalah untuk mengeksploitasi RB dalam mendepani isu kelewahan petua. Kelewahan petua dapat mengurangkan kelajuan gelintaran petua, tetapi ia dapat digunakan untuk mempertingkatkan inferens kebarangkalian. Tesis ini menguji kaedah yang diusulkan dengan membangunkan sistem pakar diagnosis mata dengan penambahbaikan dari segi penjanaan petua automatik berasaskan perlombongan data, enjin inferens yang kukuh dan berkesan dengan mempertingkatkan nilai kebarangkalian berasaskan lewahan petua. Tesis ini menyumbang tiga sumbangan penting. Pertama, membangunkan kaedah integrasi petua dari multi-sumber (PERBATIK) dalam fasa pemerolehan pengetahuan bagi menghasilkan petua yang lebih lengkap, tepat dan berkesan. Kaedah cadangan PERBATIK menjana petua dari 2000 data rekod penyakit mata yang diperolehi daripada Hospital *Sumatera Eye Center*. Kedua, membangunkan kaedah penaakulan hibrid yang kukuh dan berkesan berasaskan Perantaian ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian (PHRB). Ketiga, membangunkan teknik yang dapat mengeksploitasi masalah kelewahan petua (KSLP) untuk memeroleh nilai kebarangkalian yang lebih besar dan tepat untuk petua yang diperolehi. Keberkesanan sistem pakar ini telah diuji dengan membandingkan keputusan diagnosis sistem pakar dengan keputusan diagnosis dari tiga pakar mata yang berbeza. Sistem yang dicadangkan juga telah dibandingkan dengan kaedah sedia ada seperti kaedah *Dempster-Shafer*. Keputusan menunjukkan bahawa, (i) darjah ketepatan yang diperolehi hasil dari penggunaan petua yang dijana dari teknik perlombongan adalah tinggi, (ii) kaedah penaakulan hibrid PHRB lebih kukuh dan berkesan daripada kaedah sedia ada yang dibandingkan, iaitu dengan ketepatan 97%, (iii) petua yang mengalami lewahan dapat digunakan untuk mempertingkatkan kebarangkalian petua sistem pakar dan (iv) perbandingan kecekapan diagnosis sistem pakar dengan teknik yang diusulkan dengan keputusan diagnosis manusia berdasarkan data kompleks dan tidak muktamad secara puratanya adalah sama.

Kata kunci: pendekatan hibrid, penyakit mata, Rangkaian Bayesian, sistem pakar

## KNOWLEDGE ACQUISITION AND BAYESIAN NETWORK INFERENCE ENGINE USING THE HYBRID APPROACH FOR THE EYE EXPERT SYSTEM

### ABSTRACT

Expert system engineers are often faced with information-specific problems, pitfalls, and uncertainty in developing expert systems, especially ineffective inferences. Rule or noise error on knowledge base causes the accuracy of expert system results to be lower than expert diagnosis results. One of the critical phases that is the cause of the rule error is during the acquisition phase of knowledge. Sources of knowledge from a variety of sources also result in redundant rules. Both of these problems cause a conventional inferential engine based on forward-chaining techniques to be more ineffective when faced with the issue. In order to solve this problem, this thesis reinforces the inference engine by hybridising forward-chaining with the Bayesian Network (RB). The hybrid technique used is to exploit RB in addressing the issue of rules redundancy. Rules redundancy can reduce the speed of rules searching, but it can be used to improve the probability of an inference. This thesis examines the proposed methodology by developing and improving an eye diagnostic expert system by integrating data mining for an automatic rule generator with a reliable and effective inferential engine with an improved probability-based approach. This thesis contributes to three essential contributions. First, develop a multi-sourcing (PERBATIK) method of integration in the knowledge acquisition phase to produce complete, accurate and effective rules. The proposed method (PERBATIK) generated rules from 2000 records of eye diseases from Sumatera Eye Center Hospital. Secondly, it develops a robust and effective Hybrid Reasoning based on the Forward-chaining and Bayesian Networks (PHRB). Thirdly, develop a technique that can exploit the problem of rules redundancy (KSLP) to obtain higher and precise probability value for the derived rules. The efficacy of this expert system has been tested by comparing the results of the expert system diagnosis with diagnosis results from three different eye ophthalmic. The proposed system has also been compared with existing methods such as the *Dempster-Shafer* method. The results show that, (i) the degree of accuracy obtained from the use of rules generated from mining techniques is high, (ii) the hybrid reasoning method is more robust and effective than compared the existing method, PHRB has obtained accuracy approximately 97% (iii) enhancing the probability of expert system rules and (iv) comparison of expert system diagnostic efficiencies with proposed techniques with human diagnostic results based on complex and non-conclusive data on average is the same.

**Keywords:** Bayesian Network, eye diseases, expert system, hybrid approach

## KANDUNGAN

	<b>Halaman</b>
<b>PENGAKUAN</b>	ii
<b>PENGHARGAAN</b>	iii
<b>ABSTRAK</b>	iv
<b>ABSTRACT</b>	v
<b>KANDUNGAN</b>	vi
<b>SENARAI JADUAL</b>	xi
<b>SENARAI ILUSTRASI</b>	xv
<b>SENARAI SINGKATAN DAN ISTILAH</b>	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1. Pengenalan	1
1.2. Latar Belakang Masalah	2
1.2.1. Ralat Petua	3
1.2.2. Penaakulan Lemah	4
1.2.3. Lewahan Petua	5
1.3. Pernyataan Masalah	7
1.4. Matlamat Dan Objektif Kajian	9
1.5. Skop Kajian	9
1.6. Sumbangan Kajian	10
1.7. Definisi Istilah	11
1.8. Organisasi Kajian	11
<b>BAB II KAJIAN KESUSASTERAAN</b>	
2.1. Pengenalan	14
2.2. Sistem Pakar	15
2.2.1. Sistem Pakar Diagnosis Perubatan	18
2.2.2. Sistem Pakar Untuk Diagnosis Penyakit Mata	21
2.3. Masalah Ralat Petua	23
2.4. Petua Sekutuan	25

2.5.	Masalah Penaakulan Lemah	30
2.5.1.	Kaedah Perantai Ke Hadapan	31
2.5.2.	Kaedah Rangkaian Bayesian	34
2.6.	Lewahan Petua dan Potensi Untuk Dieksplotasi	41
2.7.	Pengujian dan Pengesahan Sistem Pakar	41
2.8.	Kesimpulan	45
<b>Bab III</b>	<b>METODOLOGI KAJIAN</b>	
3.1.	Pengenalan	48
3.2.	Fasa I: Mengenal Pasti Masalah	52
3.3.	Fasa II: Kajian Kesauran	54
3.4.	Fasa III: Reka Bentuk dan Pembangunan	55
3.4.1.	Reka Bentuk dan Pembangunan Pemerolehan Pengetahuan	60
3.4.2.	Reka Bentuk dan Pembangunan Enjin Inferens Sistem Pakar	65
3.4.3.	Reka Bentuk Inferens KSLP dan Komponen Penjelasan	67
3.5.	Fasa IV: Eksperimen dan Analisis Data	67
3.6.	Fasa V: Dokumentasi dan Kesimpulan	70
3.7.	Kesimpulan	70
<b>BAB IV</b>	<b>KAEDAH PENJANAAN PETUA HIBRID UNTUK MULTISUMBER PEMEROLEHAN PENGETAHUAN</b>	
4.1.	Pengenalan	71
4.2.	Penjanaan Petua Berdasarkan Petua Sekutuan	72
4.2.1.	Penjanaan Petua Sektuan FP-Growth	74
4.2.2.	Pengujian Petua Sekutuan FP-Growth Oleh Pakar Mata	82
4.2.3.	Struktur Rangkaian Bayesian FP-Growth	83
4.2.4.	Penjanaan Petua Menggunakan Apriori	85
4.2.5.	Pengujian Petua Sekutuan Apriori Oleh Pakar Mata	94
4.2.6.	Struktur Rangkaian Bayesian Berdasarkan Petua Sekutuan Apriori	95
4.3.	Eksperimen Kaedah Penapis Petua Berdasarkan Posterior Bayesian	

<b>DAN AMBANG AUTOMATIK</b>	<b>97</b>
4.3.1. Menentukan Parameter	98
4.3.2. Menentukan Kebarangkalian Bersyarat	99
4.3.3. Menentukan Taburan Kebarangkalian Bersama	100
4.3.4. Menentukan Kebarangkalian Posterior	100
4.3.5. Menggabungkan Petua Dengan Ambang Automatik	102
4.3.6. Menggabungkan Petua Dengan Kaedah Susunan	110
4.4. Kesimpulan	118
<b>BAB V KAE DAH PENA AKULAN HIBRID MENGGUNAKAN PERANTAIAN KE HADAPAN DAN RANGKAIAN BAYESIAN</b>	
5.1. Pengenalan	119
5.2. Kaedah Perantaiian Ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian (PHRB)	120
5.2.1. Perwakilan Pengetahuan Perantaiian Ke Hadapan	122
5.2.2. Membina Struktur Rangkaian Bayesian	129
5.2.3. Penetapan Parameter	130
5.2.4. Menentukan Kebarangkalian Bersyarat	132
5.2.5. Menentukan Taburan Kebarangkalian Bersama	134
5.2.6. Menentukan Kebarangkalian Posterior	136
5.2.7. Inferens Berkebarangkalian Kaedah PHRB	139
5.3. Pengujian Dan Pengesahan Oleh Pakar	144
5.4. Hasil Eksperimen	145
5.5. Kesimpulan	151
<b>BAB VI KAE DAH INFERENS KITAR SEMULA LEWAHAN PETUA DAN EVALUASI SISTEM PAKAR</b>	
6.1. Pengenalan	152
6.2. Kitar Semula Lewahan Petua	153
6.3. Ujian Penerimaan Pengguna	162
6.3.1. Pengujian Kesahihan Dan Kebolehpercayaan Alat Ukur	165
6.3.2. Pengujian Deskriptif Setiap Aspek	166
6.3.3. Pengujian Perbezaan Jenis Kerjaya Terhadap Kebolehgunaan Sistem	168

6.3.4.	Pengujian Perbezaan Pendidikan Terhadap Kebolehgunaan Sistem	168
6.3.5.	Pengujian Perbezaan Bidang Ilmu Terhadap Kebolehgunaan Sistem	169
6.3.6.	Pengujian Responden Doktor Perubatan di Indonesia dan Malaysia	170
6.4.	Perbincangan	171
6.5.	Kesimpulan	172
<b>BAB VII KESIMPULAN</b>		
7.1.	Pengenalan	174
7.2.	Perbincangan Hasil Penyelidikan	174
7.2.1.	Kaedah Penjanaan Automatik Petua Sekutuan dan PERBATIK	177
7.2.2.	Kaedah Penaakulan Hibrid PHRB	177
7.2.3.	Meningkatkan Inferens Berkebarangkalian Dengan Kaedah KSLP	178
7.3.	Cadangan Penyelidikan Masa Hadapan	181
7.4.	Kesimpulan	182
<b>RUJUKAN</b>		183
<b>SENARAI PENERBITAN</b>		190
<b>LAMPIRAN</b>		
Lampiran A	Contoh Data Rekod Perubatan	191
Lampiran B	Contoh Data Hasil Pra-Pemrosesan	193
Lampiran C	Contoh Transformasi Data	196
Lampiran D	Contoh Data Dalam Format WEKA	199
Lampiran E	Senarai Sekumpulan Petua	200
Lampiran F	Hasil Konsolidasi Petua yang Lewah	204
Lampiran G	Penilaian Penjanaan Petua Automatik	205
Lampiran H	Pengujian Kaedah PHRB Oleh Pakar	207

Lampiran I	Pengesahan Soal Selidik Ujian Penerimaan Pengguna	218
Lampiran J	Contoh Soal Selidik Ujian Penerimaan Pengguna	224
Lampiran K	Surat Penyelidikan	228

## SENARAI JADUAL

<b>No. Jadual</b>		<b>Halaman</b>
Jadual 2.1	Penyelidikan sistem pakar bidang perubatan dari tahun 2007-2018	19
Jadual 2.2	Penyelidikan mengenai sistem pakar untuk diagnosis penyakit mata	21
Jadual 2.3	Penyelidikan mengenai masalah pangkalan pengetahuan dan pemerolehan pengetahuan pada sistem pakar	26
Jadual 2.4	Penyelidikan yang menggunakan algoritma FP-Growth dan Apriori	28
Jadual 2.5	Penyelidikan sistem pakar dan inferens yang digunakan	30
Jadual 2.6	Penyelidikan sistem pakar yang menggunakan Perantaian ke Hadapan	32
Jadual 2.7	Penyelidikan sistem pakar terkini yang menggunakan Rangkaian Bayesian	38
Jadual 3.1	Senarai aktiviti penyelidikan	56
Jadual 3.2	Entiti dan atribut data rekod perubatan	64
Jadual 3.3	Hubungan gejala dan jenis penyakit mata secara konvensional	65
Jadual 3.4	Jenis pengujian sistem pakar diagnosis penyakit mata	67
Jadual 3.5	Demografi tiga pakar penyakit mata	69
Jadual 3.6	Demografi tiga pakar untuk pengesahan alat ukur	69
Jadual 4.1	Contoh 20 data rekod perubatan pesakit mata	75
Jadual 4.2	Kekerapan dan sokongan setiap item	75
Jadual 4.3	Item yang memenuhi sokongan minimum	76
Jadual 4.4	Petua yang telah disusun berdasarkan kekerapan	76
Jadual 4.5	Petua yang memenuhi sokongan minimum	77
Jadual 4.6	Petua yang memenuhi syarat	77
Jadual 4.7	Hasil kekerapan kumpulan petua setelah membina pepohon kekerapan	78
Jadual 4.8	Hasil penetapan sokongan dan keyakinan FP-Growth terhadap petua	80

Jadual 4.9	Petua FP-Growth yang memenuhi syarat	81
Jadual 4.10	Pengujian petua sekutuan FP-Growth oleh pakar mata	82
Jadual 4.11	Bakal itemset-1	86
Jadual 4.12	Nilai sokongan itemset-1	87
Jadual 4.13	Jadual pengurangan sekumpulan item-1	88
Jadual 4.14	Jadual bakal sekumpulan item-2	88
Jadual 4.15	Jadual pengurangan sekumpulan item-2	89
Jadual 4.16	Bakal sekumpulan item-6	89
Jadual 4.17	Contoh petua berdasarkan keyakinan minimum	90
Jadual 4.18	Contoh petua berdasarkan sokongan, keyakinan dan nisbah angkat	91
Jadual 4.19	Penetapan nilai sokongan dan keyakinan algoritma Apriori	92
Jadual 4.20	Petua yang memenuhi syarat menggunakan Apriori	93
Jadual 4.21	Pengujian petua sekutuan Apriori oleh pakar mata	94
Jadual 4.22	Nilai kebarangkalian terdahulu bagi setiap anteseden	98
Jadual 4.23	Nilai kebarangkalian bersyarat penyakit Konjunktivitis	99
Jadual 4.24	Nilai kebarangkalian bersyarat penyakit Presbiopia	99
Jadual 4.25	Taburan kebarangkalian bersama gejala penyakit mata	100
Jadual 4.26	Taburan kebarangkalian bersama gejala mata merah sama rata	101
Jadual 4.27	Nilai kebarangkalian posterior	102
Jadual 4.28	Gabungan petua algoritma FP-Growth dan Apriori	102
Jadual 4.29	Nilai ambang pada a dan b=[0.1, 1] pada c=0.1	106
Jadual 4.30	Nilai ambang pada a dan b=[0.01, 0.1] pada c=0.1	106
Jadual 4.31	Nilai ambang pada a dan b=[0.1, 1] pada c=0.2	107
Jadual 4.32	Nilai ambang pada a dan b=[0.01, 0.1] pada c=0.2	107
Jadual 4.33	Petua terbaik di atas nilai ambang 0.2	108
Jadual 4.34	Susunan petua terbaik menggunakan Posterior RB	110

Jadual 4.35	Contoh pemilihan 10 petua yang berkesan secara automatik menggunakan Posterior Rangkaian Bayesian	111
Jadual 4.36	Pengujian petua secara automatik pada hasil algoritma FP-Growth berdasarkan pendapat pakar	111
Jadual 4.37	Pengujian petua secara automatik pada hasil algoritma Apriori berdasarkan pendapat pakar	113
Jadual 5.1	Senarai petua yang lewah mengikut kesamaan nilai PRB	124
Jadual 5.2	Senarai petua yang lewah terhasil berdasarkan nilai PRB	125
Jadual 5.3	Senarai nilai kebarangkalian terdahulu	131
Jadual 5.4	Senarai nilai kebarangkalian bersyarat	133
Jadual 5.5	Senarai taburan kebarangkalian bersama gejala penyakit mata bagi penaakulan PRB	135
Jadual 5.6	Contoh taburan kebarangkalian bersama bagi gejala mata merah dalam RB	137
Jadual 5.7	Senarai kebarangkalian posterior semua gejala dan penyakit	139
Jadual 5.8	Hasil diagnosis sistem pakar menggunakan empat kaedah inferens yang berbeza dan diagnosis sebenar oleh pakar mata	145
Jadual 5.9	Hasil uji perbandingan kaedah inferens dengan ANOVA	146
Jadual 5.10	Perbandingan keputusan sistem pakar kaedah cadangan PHRB dengan keputusan pakar mata	149
Jadual 6.1	Kumpulan petua sebagai asas penentuan kebarangkalian KSLP	158
Jadual 6.2	Nilai kekerapan setiap gejala pada kumpulan petua penjanaan automatik	159
Jadual 6.3	Kebarangkalian bersyarat gejala daripada petua yang mengalami lewahan	160
Jadual 6.4	Kebarangkalian posterior semua gejala dan penyakit	160
Jadual 6.5	Perbandingan inferens berkebarangkalian	161
Jadual 6.6	Hasil uji perbandingan ANOVA kaedah inferens dengan pakar	161
Jadual 6.7	Pengujian kesahihan soal selidik sistem pakar	165
Jadual 6.8	Pengujian kebolehpercayaan soal selidik sistem pakar	166
Jadual 6.9	Perbezaan jenis kerjaya terhadap aspek penilaian	168

Jadual 6.10	Perbezaan tingkat pendidikan terhadap aspek penilaian	169
Jadual 6.11	Perbezaan bidang ilmu terhadap aspek penilaian	170
Jadual 6.12	Perbezaan doktor Malaysia dan Indonesia terhadap aspek penilaian	170

## SENARAI ILUSTRASI

<b>No. Rajah</b>		<b>Halaman</b>
Rajah 2.1	Struktur sistem pakar secara umum	17
Rajah 2.2	Komponen sistem pakar berdasarkan petua	23
Rajah 2.3	Proses penaakulan oleh Perantaian ke Hadapan	32
Rajah 2.4	Sistem pakar MYCIN berdasarkan petua menggunakan komponen penjelasan (Shortliffe 1975)	43
Rajah 3.1	Metodologi penyelidikan sistem pakar diagnosis penyakit mata	50
Rajah 3.2	Fasa III dan IV Reka bentuk, pembangunan dan Eksperimen sistem pakar diagnosis mata	51
Rajah 3.3	Seni bina cadangan enjin inferens Rangkaian Bayesian dan pemerolehan pengetahuan menggunakan pendekatan hibrid untuk sistem pakar penyakit mata	54
Rajah 3.4	Rajah konteks sistem pakar penyakit mata	58
Rajah 3.5	Aliran data peringkat pertama sistem pakar mata	59
Rajah 3.6	Kitaran proses cadangan pemerolehan pengetahuan	60
Rajah 3.7	(a) Pola taburan data yang mengandungi nilai-nilai yang hilang; (b) Pola taburan data setelah dilakukan pemadaman pada baris nilai-nilai yang hilang	62
Rajah 3.8	Contoh pola taburan data sebelum dilakukan pra-pemrosesan pada penyakit (c) Konjunktivitis dan (d) Presbiopia	62
Rajah 3.9	Contoh pola taburan data daripada hasil teknik pra-pemrosesan peringkat akhir pada penyakit (e) Konjunktivitis dan (f) Presbiopia	63
Rajah 4.1	Carta alir ringkas rangka kerja cadangan penjanaan petua automatik berdasarkan kaedah hibrid	72
Rajah 4.2	Membina pepohon pola kekerapan FP-Growth pada data penyakit mata	78
Rajah 4.3	Lengkung jumlah petua hasil penjanaan algoritma FP-Growth yang memenuhi nilai ambang $\alpha, \beta$ dan $\gamma$	81
Rajah 4.4	Hasil hubungan gejala dan penyakit mata berdasarkan petua sekutuan FP-Growth	84
Rajah 4.5	Struktur rangkaian bayesian dan Perantaian ke Hadapan berdasarkan petua sekutuan FP-Growth	84

Rajah 4.6	Lengkung jumlah petua hasil penjanaan algoritma Apriori yang memenuhi nilai ambang $\alpha, \beta$ dan $\gamma$	93
Rajah 4.7	Hasil hubungan gejala dan penyakit mata berdasarkan petua sekutuan Apriori	96
Rajah 4.8	Struktur Rangkaian Bayesian berdasarkan petua sekutuan Apriori	96
Rajah 4.9	Langkah kerja cadangan kaedah PERBATIK	97
Rajah 4.10	Nilai ambang secara automatik berdasarkan saiz data	104
Rajah 4.11	Lengkung fungsi posterior_min(x)=exp-0.4x-1+0.2.	109
Rajah 4.12	Sekumpulan petua algoritma FP-Growth dan Apriori bersepada	115
Rajah 4.13	Hubungan nisbah angkat dengan darjah kepercayaan pakar	116
Rajah 4.14	Hubungan nilai PERBATIK dengan darjah kepercayaan pakar	116
Rajah 5.1	Carta alir ringkas proses pembangunan kaedah cadangan inferens hibrid	121
Rajah 5.2	Pepohon keputusan penyakit mata mengikut Perantaian ke Hadapan	126
Rajah 5.3	Carta alir kaedah Rangkaian Bayesian	128
Rajah 5.4	Hasil cadangan struktur penyakit mata daripada multi-sumber	130
Rajah 5.5	Contoh inferens berkebarangkalian gejala dan penyakit Konjunktivitis	140
Rajah 5.6	Contoh cadangan penyelesaian konflik petua yang berbeza tetapi kesimpulan sama	142
Rajah 5.7	Contoh kaedah cadangan PHRB mengatasi konflik petua dengan gejala yang sama tetapi kesimpulan berbeza	143
Rajah 5.8	Perbandingan hasil diagnosis kaedah Dempster-shafer dan pakar	147
Rajah 5.9	Perbandingan hasil diagnosis kaedah RB Standard dan pakar	147
Rajah 5.10	Perbandingan hasil diagnosis kaedah cadangan PHRB dan Pakar	148
Rajah 5.11	Perbandingan hasil diagnosis kaedah cadangan PHRB, Pakar I, II dan III	150
Rajah 6.1	Carta alir ringkas kaedah cadangan KSLP	154
Rajah 6.2	Laman sesawang sistem pakar penyakit mata	162
Rajah 6.3	Laman gejala dan kebarangkalian terdahulu	163

Rajah 6.4	Laman gejala, taburan kebarangkalian dan posterior	163
Rajah 6.5	Sistem pakar penyakit mata berasaskan android	164
Rajah 6.6	Skor penilaian aspek komponen penjelasan	166
Rajah 6.7	Skor penilaian aspek keupayaan sistem pakar	167

## SENARAI SINGKATAN DAN ISTILAH

<i>Anteseden (A)</i>	Gejala
<i>Anteseden (A)</i>	Gejala
AP	Apriori
CLIPS	<i>C Language Integrated Production System</i>
<i>D</i>	Data rekod Perubatan
FP	FP Growth
<i>Halo</i>	Bayangan pelangi di sekitar lampu
<i>Hordeolum</i>	Keradangan pada kelenjar tepi kelopak mata
<i>Keratitis</i>	Keradangan pada kornea mata
KHPSP	Kitaran Hidup Pembangunan Sistem Pakar
Konjunktivitis	Penyakit mata
<i>Konjunktivitis</i>	Keradangan pada selaput yang melapisi bahagian depan mata
Konsekuen (B)	Penyakit
<i>Konsekuen (B)</i>	Penyakit
KSLP	Kitar Semula Lewahan Petua
<i>K</i>	Kebarangkalian
<i>K<sub>b</sub></i>	Kebarangkalian bersama
<i>K<sub>t</sub></i>	Kebarangkalian terdahulu
<i>KY</i>	Keyakinan
<i>Meibom</i>	Kelenjar minyak
<i>NA</i>	Nisbah Angkat
<i>Palpebra</i>	Kelopak mata
PERBATIK	Petua Sekutuan, Bayesian, Ambang Automatik
PH	Perantaian ke Hadapan
PHRB	Perantaian ke Hadapan Rangkaian Bayesian
Presbiopia	Rabun dekat
<i>Presbiopia</i>	Rabun dekat
<i>R</i>	Petua
RB	Rangkaian Bayesian
<i>SK</i>	Sokongan
<i>Sekret</i>	Kotoran mata
<i>Skleritis</i>	Keradangan pada bahagian putih mata
<i>Uveitis</i>	Keradangan pada bahagian tengah mata
<i>Y</i>	Kriteria

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 PENGENALAN**

Sistem pakar adalah suatu sistem berkomputer yang cuba meniru dan menggantikan pakar. Jurutera pengetahuan menyimpan pengetahuan manusia ke dalam program agar komputer boleh menyelesaikan masalah kompleks seperti pakar. Terdapat banyak alasan kenapa sistem pakar terus berkembang. Salah satu daripadanya ialah kerana fitrah manusia yang lemah, boleh terlupa dan tidak konsisten keupayaannya. Ilmu pengetahuan dan kepakaran yang terdapat pada seseorang akan hilang apabila matinya seorang pakar atau berpindahnya pakar ke organisasi lain. Sistem pakar juga dapat memberikan keputusan dalam masa yang pantas dan dalam beberapa kes lebih cepat dan tepat daripada pakar. Sistem pakar digunakan dalam pelbagai domain seperti kewangan (Sanjani 2015; Saletic & Zurovac 2009) bidang pertahanan (Yang Shanliang et al. 2013) dan bidang perubatan (Janghel, Shukla & Verma 2016).

Antara sistem pakar yang telah dibangunkan adalah sistem pakar di bidang perubatan khususnya sistem pakar penyakit mata. Sistem pakar yang pertama dicipta untuk diagnosis perubatan ialah sistem pakar MYCIN (Duda & Shortliffe 1983). MYCIN merupakan sistem pakar yang direka menggunakan konsep kecerdasan buatan untuk mengenal pasti bakteria penyebab jangkitan yang teruk, seperti bakteria dan meningitis serta memberikan maklumat rawatan untuk para pesakit. Selain MYCIN, sistem pakar perubatan juga dibangunkan pada kes penyakit mata. Sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit mata yang mula dibangunkan ialah sistem pakar yang berasaskan petua untuk mendiagnosis pelbagai jenis penyakit mata yang terdapat di Malaysia (Ibrahim 2001). Kaedah Rangkaian Neural dan Pepohon Keputusan juga digunakan untuk mendiagnosis penyakit mata (Kabari & Nwachukwu 2012).

Berdasarkan data dari Kementerian Kesihatan Republik Indonesia, disebutkan bahawa setiap minit seorang akan menjadi buta di Indonesia (Kemenkes 2010). Lebih dari 50% kebutaan adalah disebabkan oleh penyakit katarak pada usia 40 tahun ke atas. *Rapid Assessment of Avoidable Blindness* (RAAB) melaporkan bahawa pada tahun 2016 bertambah sebanyak 0.1% dari jumlah penduduk Indonesia atau kira-kira 250,000 orang/tahun. Penyelidikan sistem pakar untuk penyakit mata masih menjadi pusat perhatian para penyelidik. Berdasarkan kajian (Pannu & Student 2015) yang mengkaji pembangunan sistem pakar, penyakit mata adalah satu kajian kes yang mendapat perhatian pakar bidang perubatan. Pannu et al. (2015) membangunkan sistem pakar penyakit mata menggunakan CLIPS (*C Language Integrated Production System*) dan berasaskan petua. Manakala enjin inferens menggunakan Perantaian ke Hadapan.

Kini sistem pakar telah mengalami penambahbaikan pada beberapa komponen penting, seperti pangkalan pengetahuan dan enjin inferens. Pada pangkalan pengetahuan, proses penaakulan boleh menggunakan sama ada set petua ataupun penaakulan berasaskan pada kes. Enjin inferens sistem pakar juga telah mengalami beberapa perkembangan. Terdapat sistem pakar yang berasaskan petua atau statistik di atas talian yang memberi kemudahan kepada pengguna untuk melakukan diagnosis-kendiri penyakit berkaitan dengan mata.

Oleh kerana proses diagnosis penyakit mata tidak boleh dilakukan dengan maklumat tidak lengkap, maka sistem pakar memerlukan kaedah penaakulan yang kukuh untuk mengendalikan ketidakcukupan data dan mampu membuat keputusan dengan ketepatan yang tinggi. Oleh demikian, tesis ini mengkaji kaedah-kaedah baharu yang dapat meningkatkan keberkesanan dan penaakulan sistem pakar yang lebih kukuh.

## 1.2 LATAR BELAKANG MASALAH

Pembangunan sistem pakar berasaskan petua telah banyak dibangunkan seperti yang dikaji oleh Millette (2012), Wang (2011) dan Dong (2008). Sistem pakar berasaskan

petua memiliki banyak kelebihan (Gufar & Qamar 2015). Antaranya ialah pengetahuan yang mudah dihimpunkan dan pengembangan sistem pakar yang dapat dilakukan dengan cara yang mudah. Petua yang diperolehi memberi penjelasan yang lebih mudah. Petua yang dihasilkan adalah cara semula jadi bagaimana manusia menyelesaikan masalah. Petua menjadikannya mudah untuk menerangkan struktur pengetahuan para pakar. Walaupun demikian, ada tiga isu yang menjadi halangan dalam pembangunan sistem pakar berdasarkan petua, antaranya adalah ralat petua, penaakulan yang lemah dan petua yang lewah.

### **1.2.1 Ralat Petua**

Kesalahan semasa fasa pemerolehan pengetahuan akhirnya boleh membawa kepada kesalahan dalam membuat keputusan dan sistem pakar tidak berfungsi dengan baik. Di samping itu, masa dan sumber pengetahuan juga memberi kesan kepada pencapaian sistem pakar (Millette 2012). Pangkalan pengetahuan yang didapati melalui proses pemerolehan pengetahuan merupakan komponen yang perlu diperhatikan. Diagnosis perubatan merupakan kes yang rumit, sehingga perlu penambahbaikan pada pembinaan pangkalan pengetahuan guna menyediakan kaedah yang berdaya maju pada kes yang rumit (Zhang et al. 2017). Oleh itu, masalah utama dalam sistem pakar berdasarkan petua ialah ralat petua atau hingar. Petua-petua yang dihasilkan adalah salah yang berpunca dari kesalahan semasa pemerolehan pengetahuan.

Pemerolehan pengetahuan disebut sebagai "halangan dalam proses pembangunan sistem pakar" (Golabchi 2008). Faktor yang paling penting dalam proses pemerolehan pengetahuan ialah jurutera pengetahuan dan pakar. Dalam membangun sistem pakar berdasarkan petua, kualiti dan keberkesanan sistem pakar ditentukan oleh sejauh mana jurutera pengetahuan boleh mendapatkan maklumat dan pengetahuan daripada pakar pada sesi temu bual pakar (Mertens, Rosu & Erdani 2004). Proses pemerolehan pengetahuan sekarang ini masih bergantung semata-mata pada pemindahan pengetahuan secara manual dari pakar kepada jurutera pengetahuan.

Jadi kejayaan proses itu terletak sepenuhnya kepada keupayaan seorang jurutera pengetahuan untuk mendapatkan maklumat.

Selain itu, masalah peribadi, konflik kepentingan juga menjadi masalah dalam pemerolehan pengetahuan sistem pakar berasas petua. Kurangnya komunikasi antara jurutera pengetahuan dan pakar adalah masalah yang biasa yang dihadapi semasa fasa pemerolehan pengetahuan. Banyak istilah asing daripada domain tertentu mengakibatkan pakar dan jurutera pengetahuan tidak sehaluan dalam proses pemerolehan pengetahuan. Masalah personaliti mungkin timbul antara jurutera dan pakar, perkara ini dapat menjadi halangan yang serius kepada proses pemerolehan pengetahuan (Golabchi 2008). Tidak semua pakar biasa menggunakan teknologi maklumat dan enggan untuk mengambil bahagian dalam usaha-usaha pembangunan sistem pakar. Mereka sering tidak percaya bahawa mana-mana sistem automatik boleh dibuat untuk menyokong penyelesaian masalah yang kompleks. Pakar merasa bahawa sistem pakar berdasarkan pengetahuan boleh melemahkan pengetahuan mereka dan membuat pekerjaan mereka tidak lagi berguna, pemerolehan pengetahuan berdasarkan petua mungkin tidak dapat dilakukan (Millette 2012).

### **1.2.2 Penaakulan Lemah**

Penambahbaikan juga perlu dilakukan pada komponen enjin inferens. Enjin inferens sudah digunakan sejak sistem pakar dibangunkan pertama kali (MYCIN). Enjin inferens sistem pakar sekarang ini, masih menggunakan kaedah Perantaian ke Hadapan (Haval & Mzori 2015; Windriyani et al. 2013). Antara kelebihan Perantaian ke Hadapan ialah boleh menghasilkan maklumat yang banyak dari data yang kecil. Perantaian ke Hadapan juga memudahkan dalam proses perwakilan pengetahuan yang diperoleh dengan temu bual pakar.

Walaupun kaedah inferens tradisional masih digunakan sekarang ini, tetapi dianggap tidak berkesan apabila berdepan dengan masalah yang kompleks seperti diagnosis perubatan. Pengguna akan keliru dengan keputusan yang dihasilkan (Fakhrahmad, Sadreddini & Zolghadri Jahromi 2015). Kadang kala untuk diagnosis

perubatan, kaedah inferens tradisional seperti Perantaian ke Hadapan akan mendiagnosis penyakit yang sama walaupun gejala berbeza. Enjin inferens tradisional sistem pakar juga tidak boleh memberikan kebarangkalian seseorang terjangkit suatu penyakit, yang mana kebarangkalian ini sangat diperlukan sebagai pertimbangan, diagnosis dini dan pengubatan seawal mungkin.

### **1.2.3 Lewahan Petua**

Sumber pengetahuan yang pelbagai akan menghasilkan banyak petua yang lewah. Petua yang lewah dapat menurunkan prestasi sistem pakar, kerana mengurangkan kelajuan carian keputusan dengan menjana semua petua. Walaupun lewahan petua dapat mengurangkan kelajuan carian keputusan, tetapi ianya berpotensi digunakan untuk meningkatkan inferens kebarangkalian pada enjin inferens yang berasaskan kaedah statistik seperti Rangkaian Bayesian. Kaedah inferens berkesan apabila nilai kebarangkalian yang dihasilkan sehaluan dengan darjah kepercayaan pakar. Pengeksploitasi petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

Oleh itu, untuk melihat keberkesanan penambahbaikan pangkalan pengetahuan dan enjin inferens, maka ia perlu diimplementasikan pada domain sistem pakar yang rumit seperti bidang perubatan. Pelbagai sistem pakar dalam bidang perubatan, khususnya untuk mendiagnosis penyakit mata telah dibangunkan. Berdasarkan ulasan tentang sistem pakar dari semasa ke semasa oleh Pannu dan Tech (2015), didapati bahawa penyakit mata adalah satu kajian yang mendapat perhatian dalam sistem pakar bidang perubatan. Naser dan Ola (2008) telah membangunkan sistem pakar menggunakan CLIPS dan Perantaian ke Hadapan untuk membantu mendiagnosis penyakit mata. Manakala Ibrahim et al. (2001) telah membangunkan sistem pakar penyakit mata berasaskan petua. Kabari dan Nwachukwu (2012) telah membangunkan kaedah inferens moden untuk mendiagnosis penyakit mata iaitu kaedah Rangkaian Neural. Sistem pakar mata tersebut telah diimplementasikan kepada 13 jenis penyakit

mata dan 22 gejala. Rangkaian Saraf Tiruan dan Pepohon Keputusan dapat mendiagnosis penyakit mata dengan ketepatan 92%.

Kajian kesusasteraan memaparkan bahawa sistem pakar penyakit mata masih dibangunkan dengan pemerolehan pengetahuan dan inferens secara tradisional. Penyelidikan terdahulu juga tidak mengkaji hubungan yang jelas antara beberapa gejala seperti faktor *umur* dan *jantina*, padahal ianya perlu dikaji bagi memberikan maklumat pengesahan yang lebih lengkap dan tepat, menimbang bahawa atribut *jantina* dan *umur* adalah atribut yang wajib wujud dalam maklumat pengesahan penyakit mata. Selain itu, pengguna tidak mengetahui peratusan kemungkinan mengidap jenis penyakit mata. Meskipun pengguna mengidap penyakit yang sama, tetapi apabila mempunyai gejala yang berbeza, ini akan mempengaruhi keputusan kebarangkalian. Oleh yang demikian, sistem pakar penyakit mata memerlukan kaedah penjanaan pengetahuan yang berkesan dan penaakulan yang kukuh serta menyediakan nilai kebarangkalian sebagai pertimbangan bagi pengguna. Kaedah daripada ilmu statistik seperti Rangkaian Bayesian berpotensi digunakan sebagai enjin inferens yang kukuh (Aguilera et al. 2011; Landuyt et al. 2013; Niculescu 2006; Nyberg et al. 2006; Uusitalo 2006).

Meigarani (2010) menggunakan Rangkaian Bayesian untuk sistem pakar bidang perubatan. Dalam kajian tersebut, kaedah Rangkaian Bayesian memberikan ketepatan yang baik apabila digunakan untuk mendiagnosis penyakit leukemia dengan mengelaskan keputusan kepada positif dan negatif. Rangkaian Bayesian memberikan kejituuan 100% untuk sistem pakar penyakit paru-paru (Kurnia et al. 2016).

Rangkaian Bayesian jitu digunakan pada masalah yang tidak pasti dan mudah dikemas kini, apabila ada pengetahuan baharu (Aguilera et al. 2011; Landuyt et al. 2013). Walaupun Rangkaian Bayesian memiliki banyak kelebihan dan sering digunakan untuk kes yang tidak pasti, Rangkaian Bayesian juga memiliki kelemahan dan batasan dalam memindahkan pengetahuan pakar kepada komputer seperti hubungan antara gejala dan penyakit. Kekangan yang paling dominan pada inferens Rangkaian Bayesian adalah cabaran untuk pembinaan model di bidang perubatan,

khususnya untuk mengenal pasti hubungan sebab-akibat antara pembolehubah dalam model dengan teori graf dan kebarangkalian (Meigarani 2010). Cara pembinaan struktur Rangkaian Bayesian dan menentukan nilai kebarangkalian menimbulkan cabaran kepada jurutera pengetahuan (Jongsawat & Premchaiswadi 2010). Kaedah inferens tradisional dan Rangkaian Bayesian berpotensi menjadi kaedah penaakulan sistem pakar yang kukuh apabila kedua dua kaedah ini dihibridikan.

Oleh yang demikian, tesis ini mencadangkan untuk membangunkan sistem pakar diagnosis mata dengan penambahbaikan dari segi penjanaan petua automatik, enjin inferens yang kukuh dan berkesan serta mempertingkatkan nilai kebarangkalian berdasarkan lewahan petua.

### **1.3 PERNYATAAN MASALAH**

Pelbagai sistem pakar penyakit mata telah dibangunkan seperti yang dijelaskan pada seksyen 1.2. Kesalahan dalam memperoleh pengetahuan dapat memberi kesan kepada prestasi sistem pakar (Millette 2012). Masalah utama dalam sistem pakar berdasarkan petua ialah petua-petua yang dihasilkan salah, berpunca dari kesilapan semasa pemerolehan pengetahuan.

Pemerolehan pengetahuan tradisional dengan temu bual pakar menjadikan sistem pakar dianggap tidak cerdas kerana sangat bergantung pada jumlah pakar, mutu pakar dan cara pengemaskinian pengetahuan (Zhang et al. 2017). Justeru, jurutera sistem pakar memerlukan mekanisme pemerolehan pengetahuan alternatif. Beberapa penyelidik terdahulu mencadangkan penggunaan petua sekutuan dan gudang data (Millette 2012). Petua sekutuan menjadi popular digunakan bagi mengatasi kelemahan sistem pakar berdasarkan petua (Ma et al. 2008; Rui & Duo 2011). Kajian Karabatak (2009) menggunakan petua sekutuan algoritma Apriori dan Rangkaian Neural bagi membantu memperoleh petua secara automatik untuk mendiagnosis kanser payudara. Penambahbaikan pada masalah pemerolehan pengetahuan turut dibina oleh Fakhrahmad et al. (2015) menggunakan teknik petua sekutuan, manakala Karabatak (2009) menggabungkan petua sekutuan dengan Rangkaian Neural. Hasil penggunaan

kaedah perlombongan data untuk penjanaan petua telah menunjukkan potensi yang baik. Zhang (2017) telah menggunakan algoritma Apriori. Dilaporkan juga bahawa kaedah ini menjadikan sistem pakar lebih pintar, berbanding dengan sistem pakar tradisional. Namun begitu, isu kelemahan algoritma petua sekutuan yang menghasilkan banyak petua yang tidak penting dan tidak berkesan serta masih memerlukan penyelesaian yang berkesan (Datta et al. 2017; Nosratabadi et al. 2011; Toloo et al. 2009). Oleh itu, teknik yang boleh menjana petua yang berkesan dalam fasa pemerolehan pengetahuan sistem pakar diagnosis penyakit mata perlu direka bentuk.

Isu berkaitan penaakulan yang lemah merupakan fokus kajian sistem pakar. Berdasarkan Seksyen 1.2, terdapat beberapa kaedah penaakulan yang popular digunakan dan memberikan keputusan yang tepat untuk masalah yang tidak pasti, seperti kaedah Perantaian ke Hadapan dan kaedah Rangkaian Bayesian (Mzori 2015; Ticehurst et al. 2008). Berdasarkan kajian Fakhrahmad et al. (2015), kaedah Perantaian ke Hadapan dapat membantu dalam pembangunan mesin penterjemah dan masih berpotensi digunakan secara meluas. Walaupun demikian, kaedah Perantaian ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian masih mempunyai kekurangan. Kaedah penaakulan masih berpotensi untuk ditambah baik terutamanya pada kaedah Perantaian ke Hadapan masih menerima pakai kaedah inferens tradisional yang memberikan keputusan salah apabila berdepan dengan kekurangan data petua yang tidak lengkap. Manakala Rangkaian Bayesian memiliki kelemahan dalam memindahkan pengetahuan pakar kepada komputer (Aguilera et al. 2011; Landuyt et al. 2013; Uusitalo 2007), seperti hubungan antara gejala dan penyakit pada domain perubatan.

Sumber pengetahuan yang pelbagai turut menghasilkan banyak petua yang lewah. Selain perlukan kaedah baru untuk mengatasi lewahan petua, kajian ini juga melihat lewahan petua perlu dieksplorasi untuk mempertingkatkan kebarangkalian inferens yang berasaskan statistik. Petua yang lewah bermakna petua tersebut adalah kuat dan seharusnya menghasilkan kebarangkalian yang sesuai. Nilai kebarangkalian yang dihasilkan oleh kaedah inferens semestinya sehaluan dengan darjah kepercayaan

pakar. Pengeksploitasi petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu semata-mata hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

Oleh demikian, berdasarkan pernyataan masalah di atas, berikut adalah persoalan kajian tesis ini:

1. Apakah kaedah penjanaan petua yang berkesan bagi mengelakkan ralat petua?
2. Apakah kaedah penapis petua yang sesuai untuk mengelakkan petua yang tidak penting?
3. Apakah reka bentuk enjin inferens yang kukuh dan berkesan pada sistem pakar diagnosis penyakit mata?
4. Bagaimana mengatasi masalah petua yang lewah?
5. Bagaimana meningkatkan keberkesanan inferens Rangkaian Bayesian?

#### **1.4 MATLAMAT DAN OBJEKTIF KAJIAN**

Matlamat penyelidikan ini ialah untuk membangunkan sistem pakar diagnosis mata yang berkesan dengan penambahbaikan pada pemerolehan pengetahuan dan enjin inferens. Untuk mencapai matlamat tersebut, maka objektif penyelidikan ini adalah:

1. Untuk membangunkan kaedah hibrid penjanaan petua daripada multi-sumber pengetahuan yang berkesan berdasarkan ambang automatik.
2. Untuk membangunkan kaedah penaakulan hibrid yang kukuh dan berkesan berdasarkan Rangkaian Bayesian dan Perantaian ke Hadapan.
3. Untuk membangunkan kaedah inferens baharu bagi mengeksploitasi lewahan petua berdasarkan Rangkaian Bayesian.

#### **1.5 SKOP KAJIAN**

Skop penyelidikan ini adalah seperti berikut ini:

1. Eksperimen dijalankan pada pangkalan pengetahuan penyakit mata yang terdiri daripada beberapa atribut seperti: aduan pesakit, gejala penyakit mata secara fizikal, gejala yang tidak memerlukan pengujian makmal dan data imej.
2. Parameter penilaian ialah pengujian ketepatan diagnosis sistem pakar yang dibandingkan dengan keputusan sebenar oleh seorang pakar dan ujian penerimaan pengguna.
3. Data dan pengujian sistem pakar hanya dilakukan pada tiga hospital, iaitu Hospital Sumatera Eye Center, Hospital Bangkinang dan Hospital Universiti Kebangsaan Malaysia.

## **1.6 SUMBANGAN KAJIAN**

Penyelidikan ini menyumbang kepada kajian dalam bidang sains komputer, kecerdasan buatan dan juga bidang perubatan. Penyelidikan ini dijangka dapat memberi faedah seperti berikut:

1. Kaedah baru dalam pemerolehan multi-sumber pengetahuan berasaskan kaedah hibrid yang menjana petua secara automatik.
2. Memudahkan kerja jurutera pengetahuan dan pakar dalam fasa pemerolehan pengetahuan sekiranya tidak melibatkan pakar.
3. Kaedah baru untuk menapis petua yang tidak berguna yang dijana oleh kaedah petua sekutuan.
4. Rangka kerja baru untuk membangun kaedah penaakulan yang kukuh dan berkesan berasaskan Perantaian ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian.
5. Kaedah baru untuk mengatasi masalah lewahan petua pada multi-sumber pengetahuan.
6. Pengeksplorasi lewahan petua dalam meningkatkan keberkesanan penyakit mata.
7. Panduan penyelidik untuk membangun sistem pakar yang telus, fleksibel dan dipercayai pengguna.

## 1.7 DEFINISI ISTILAH

Terdapat beberapa istilah dalam tesis ini yang merupakan bahagian istilah bidang kecerdasan buatan, seperti:

### 1. Ralat petua

Masalah utama dalam pemerolehan pengetahuan yang mengakibatkan petua yang diperoleh adalah salah atau tidak tepat.

### 2. Petua sekutuan

Antara teknik yang digunakan untuk mencari pola hubungan antara pembolehubah berdasarkan kekerapan kemunculannya.

### 3. Penaakulan

Keupayaan suatu algoritma atau kaedah dalam sistem pakar yang dapat berfikir secara logik, dapat menukuhkan fakta, mengesahkan fakta, menyimpan fakta dan mengubah suai fakta berdasarkan maklumat baru atau yang sedia ada.

### 4. Enjin inferens

Antara bahagian penaakulan yang digunakan sistem pakar sehingga sistem pakar boleh mendapatkan kesimpulan dan keputusan.

### 5. Lewahan petua

Lewahan petua ialah dua atau lebih petua yang sama seperti: petua (b) menduplicasikan petua (a). Walaupun berbeza penamaan tetapi apabila ia memiliki makna yang sama antara kedua dua petua, maka petua tersebut juga mengalami lewahan.

### 6. Inferens berkebarangkalian

Keupayaan enjin inferens dalam mendapatkan keputusan berdasarkan nilai parameter atau kebarangkalian antara pembolehubah.

## 1.8 ORGANISASI KAJIAN

Terdapat tujuh bab dalam kajian ini. Bab pertama adalah pendahuluan, kedua adalah kajian kesusasteraan, ketiga adalah kaedah penyelidikan, keempat adalah kaedah

penjanaan petua, kelima adalah kaedah enjin inferens, keenam adalah meningkatkan keberkesanan inferens dengan kitar semula lewahan petua dan pengujian penerimaan pengguna, serta ketujuh adalah kesimpulan.

1. Bab I menerangkan pengenalan mengenai sistem pakar. Menerangkan mengenai bagaimana pernyataan masalah diperoleh. Setelah pernyataan masalah dikenal pasti, kajian diteruskan dengan membentuk objektif dan skop kajian. Faedah yang dijangkakan juga diterangkan dalam bab ini.
2. Bab II merupakan kajian kesusasteraan yang merangkumi penerangan mengenai kecerdasan buatan, sistem pakar, teknik perlombongan data, petua sekutuan, kaedah Rangkaian Bayesian, kaedah Perantaian ke Hadapan dan potensi penyelidikan berdasarkan kajian terdahulu.
3. Bab III menerangkan mengenai kaedah penyelidikan yang mengandungi langkah-langkah yang diambil dalam proses penyelidikan, mengenai pemerolehan pengetahuan daripada pelbagai sumber, menjana asas petua dengan teknik perlombongan data petua sekutuan, carta alir, menerangkan tentang pelaksanaan penyelidikan secara teknikal seperti menerangkan tentang huraihan dalam eksperimen, proses reka bentuk antara muka, pengaturcaraan, pangkalan data, pengujian yang akan dijalankan dan seluruh proses dalam membangunkan sistem pakar diagnosis penyakit mata.
4. Bab IV adalah eksperimen mengenai penambahbaikan sistem pakar berdasarkan petua dalam proses pemerolehan pengetahuan.
5. Bab V adalah pembinaan sistem pakar dari segi penambahbaikan enjin inferens, iaitu kaedah Perantaian ke Hadapan dan kaedah Rangkaian Bayesian.
6. Bab VI adalah eksperimen dalam meningkatkan keberkesanan enjin inferens dengan mengeksplorasi lewahan petua.

7. Bab VII adalah perbincangan mengenai kesimpulan yang merumuskan keseluruhan dapatan dan kekangan kajian. Tujuan cadangan kajian lanjutan adalah supaya dapat meningkatkan mutu kajian di masa hadapan.

## **BAB II**

### **KAJIAN KESUSASTERAAN**

#### **2.1 PENGENALAN**

Bab yang ke dua ini merupakan penjelasan mengenai kajian kesusasteraan. Tujuan utama dalam kajian kesusasteraan ialah untuk mengkaji penyelidikan terdahulu tentang sistem pakar yang telah dibangunkan dan penambahbaikan yang telah dilakukan. Kajian terdahulu sudah berusaha mengatasi masalah ralat petua, penaakulan yang lemah dan lewahan petua. Walaupun demikian, kajian kesusasteraan ini akan membincangkan isu-isu berkaitan dengan masalah tersebut dengan menunjukkan bahawa terdapat jurang penyelidikan yang relevan dan perlu diisi untuk manfaat komuniti bidang ini. Multi sumber pengetahuan diperlukan untuk kelengkapan data pangkalan pengetahuan tetapi, ia juga menimbulkan cabaran dalam pembangunan sistem berasaskan pengetahuan. Oleh itu, ada tiga cadangan utama yang akan dikaji dalam tesis ini.

Pertama, mencadangkan kaedah baru dalam proses pemerolehan pengetahuan bagi mengelakkan ralat petua dan menghasilkan petua yang lebih lengkap, berkesan dan sepenuhnya automatik dalam proses pemerolehan pengetahuan. Kedua, pencapaian terkini kaedah inferens masih menimbulkan masalah konflik petua dan petua yang lewah, menunjukkan bahawa masih ada jurang penyelidikan yang perlu diisi. Oleh itu, dalam tesis ini juga dicadangkan pembangunan kaedah penaakulan yang kukuh. Ketiga, pengeksploritasian petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

Bab II ini merangkumi penerangan mengenai sistem pakar, komponen sistem pakar, penambahbaikan yang telah dilakukan dan potensi penambahbaikan sehingga diperoleh kelompongan kajian sistem pakar diagnosis penyakit mata.

## 2.2 SISTEM PAKAR

Sistem pakar adalah program komputer yang menggunakan pengetahuan pakar untuk menyelesaikan masalah pada kawasan yang sukar dicapai (Waterman 1986). Sistem pakar sebagai alat yang direka menggunakan komputer untuk meningkatkan kualiti dan ketersediaan pengetahuan bagi memudahkan pembuat keputusan dalam pelbagai bidang (Boss 1991). Sistem Pakar juga diertikan sebagai sebuah sistem yang menerima pakai pengetahuan manusia ke dalam komputer. Oleh yang demikian, sistem pakar boleh menyelesaikan masalah seperti yang biasa dilakukan oleh seorang pakar (Kusumadewi 2003).

Pengetahuan sistem pakar diperoleh daripada seorang pakar di bidang tertentu. Pakar adalah orang yang mempunyai pengetahuan, penghakiman, pengalaman, kaedah khas dan juga keupayaan untuk memberi nasihat dalam menyelesaikan masalah. Selain itu, pakar merupakan seseorang yang mempunyai kepakaran dalam sesuatu perkara, pengetahuan atau kemahiran istimewa yang tiada dalam kebanyakan orang. Tugas pakar ialah memberi pengetahuan tentang bagaimana menjalankan tugas yang akan dilaksanakan oleh sistem komputer berdasarkan pengetahuan. Antara sebab utama sistem pakar dibangunkan adalah seperti berikut:

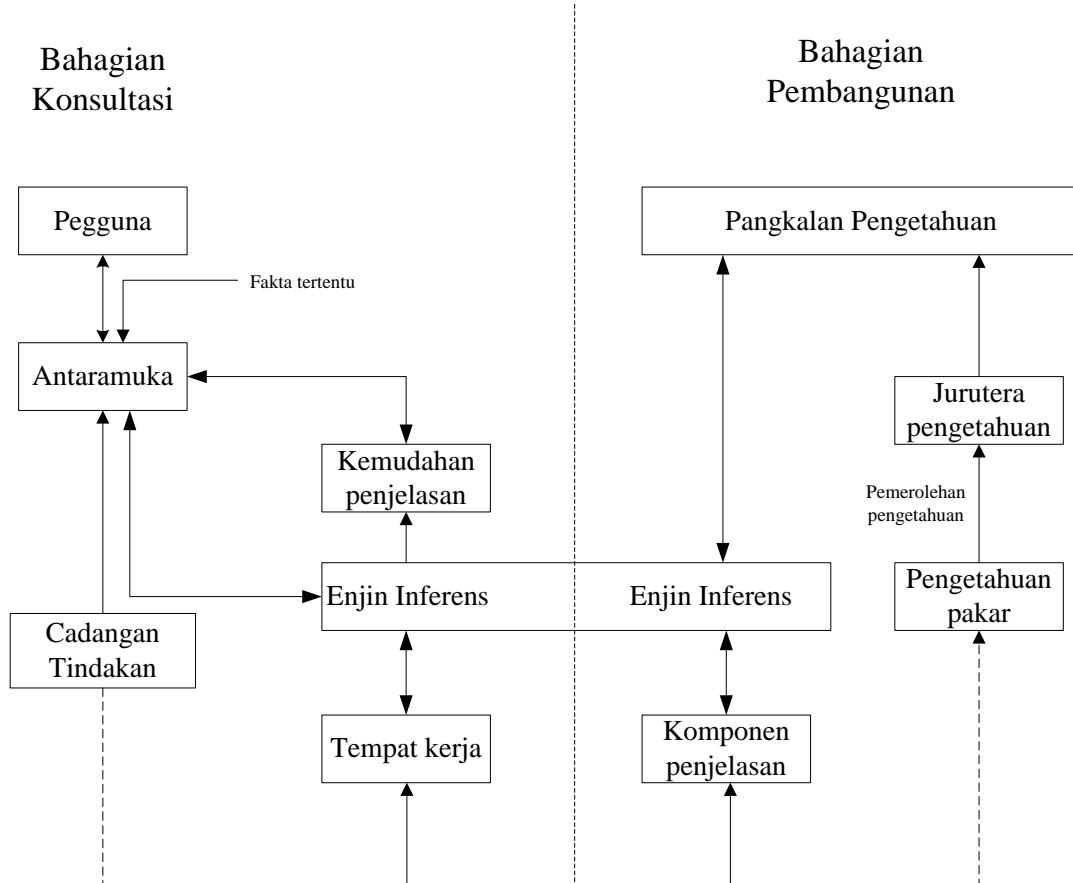
1. Boleh menyediakan kepakaran pada setiap masa dan lokasi yang berbeza.
2. Melakukan tugas-tugas rutin yang memerlukan seorang pakar secara automatik.
3. Seorang pakar akan bersara atau meninggal.
4. Menggunakan perkhidmatan seorang pakar sangat mahal.
5. Kepakaran diperlukan juga dalam persekitaran yang tidak aman dan sukar dijangkau.

Terdapat pelbagai ciri-ciri yang membezakan sistem pakar dengan sistem lain. Ciri-ciri ini menjadi rujukan utama dalam pembangunan sistem pakar. Ciri-ciri adalah seperti berikut (Meigarani 2010):

1. Pengetahuan sistem pakar adalah suatu konsep, bukan bentuk yang berangka. Hal ini kerana komputer melakukan pemprosesan data berangka, manakala kepakaran seorang pakar adalah fakta dan kaedah-kaedah.
2. Maklumat dalam sistem pakar tidak sentiasa lengkap, subjektif, tidak konsisten, dan subjek yang sentiasa berubah bergantung kepada keadaan alam sekitar serta keputusan tidak pasti dan tidak mutlak ‘ya’ atau ‘tidak’ tetapi menurut kebenaran tertentu. Oleh itu, sistem pakar memerlukan keupayaan untuk belajar secara bebas dalam menyelesaikan masalah dengan pertimbangan yang khas.
3. Penyelesaian yang mungkin dilakukan oleh sistem pakar adalah pelbagai dan dapat menjana banyak keputusan untuk dijadikan rujukan. Kepelbagaiannya masalah yang disebabkan oleh pelbagai jenis faktor dapat diselesaikan oleh sistem dengan meluas. Oleh itu, sistem yang fleksibiliti diperlukan bagi menangani penyelesaian kepada pelbagai masalah.
4. Perubahan atau pembangunan pengetahuan dalam sistem pakar boleh berubah mengikut keperluan semasa bagi menerima jumlah pengetahuan yang lebih besar dan lebih berbagai.
5. Pandangan dan pendapat setiap pakar tidak semestinya sama, oleh itu tidak ada jaminan bahawa penyelesaian sistem pakar adalah jawapan yang betul atau yang pasti. Setiap pakar akan memberi pertimbangan berdasarkan faktor-faktor yang subjektif.

Sistem pakar terdiri daripada dua bahagian utama seperti yang ditampilkan pada Rajah 2.1. struktur sistem pakar, iaitu: bahagian pembangunan dan bahagian

konsultasi. Bahagian pembangunan digunakan sebagai pembangunan sistem pakar sama ada daripada segi pembangunan komponen ataupun pangkalan pengetahuan. Bahagian konsultasi digunakan oleh pengguna yang bukan pakar untuk berkonsultasi.



Rajah 2.1 Struktur sistem pakar secara umum

Dengan kata lain, sistem pakar adalah suatu program yang mengandungi pengetahuan pakar dan boleh menyelesaikan masalah tertentu seperti yang biasa dilakukan oleh pakar. Dalam membangunkan sistem pakar berdasarkan petua, salah satu komponen yang terpenting ialah pemerolehan pengetahuan yang diperoleh daripada pakar. Rajah 2.1 menunjukkan bahawa pengetahuan pakar dimasukkan ke dalam komputer melalui proses pemerolehan pengetahuan. Proses pemerolehan pengetahuan menghasilkan pangkalan pengetahuan yang diperlukan oleh komponen lain seperti enjin inferens.

Sistem pakar digunakan dalam pelbagai domain seperti kewangan (Saletic & Zurovac 2009; Sanjani 2015), bidang pertahanan (Yang Shanliang et al. 2013) dan bidang perubatan (Janghel et al. 2016). Antara sistem pakar yang telah dibangunkan adalah sistem pakar di bidang perubatan khususnya sistem pakar penyakit mata.

### **2.2.1 Sistem Pakar Diagnosis Perubatan**

Salah satu masalah dalam perubatan ialah ketidakseimbangan antara pesakit dan pakar di bidang perubatan. Selain itu, kurangnya pengetahuan di bidang perubatan mengakibatkan pesakit tidak dapat memahami bagaimana untuk mengatasinya. Gejala awal akan mengakibatkan keadaan yang lebih serius apabila tidak ditangani dengan baik. Pengetahuan mengenai kesihatan sebenarnya boleh diperoleh daripada buku-buku atau laman-laman Internet. Walau bagaimanapun, pemahaman mengenai sesuatu penyakit yang dialami tidak boleh difahami dengan mudah bagi orang yang tiada pengetahuan dalam bidang perubatan. Sumber-sumber ini juga tidak semestinya dapat mendiagnosis pelbagai jenis penyakit seperti yang dilakukan oleh para pakar di bidang perubatan. Oleh yang demikian, dalam dunia perubatan banyak aplikasi baru yang muncul. Satu contoh ialah aplikasi sistem pakar untuk bidang perubatan.

Sistem pakar yang pertama dicipta untuk diagnosis perubatan ialah sistem pakar MYCIN (Duda & Shortliffe 1983). MYCIN ialah sistem pakar yang direka menggunakan konsep kecerdasan buatan untuk mengenal pasti bakteria penyebab jangkitan yang teruk, seperti bakteria dan meningitis serta memberikan maklumat rawatan untuk para pesakit. MYCIN telah dibangunkan lebih dari enam tahun pada awal tahun 1970 di Universiti Stanford. Ia telah ditulis dalam bahasa pengaturcaraan LISP. Sistem pakar MYCIN dicipta setelah sistem pakar DENDRAL dibangunkan. MYCIN jarang digunakan dalam mendiagnosis penyakit tetapi boleh dijadikan rujukan untuk pesakit dan pakar yang belum berpengalaman pada masa itu. MYCIN juga dapat menyediakan penyelesaian untuk permasalahan pada peringkat yang rumit, mudah untuk digunakan, dan sistem yang fleksibel untuk menampung pengetahuan baru dengan mudah (Buchanan & Shortliffe 1984).

Sistem pakar dapat mendiagnosis pelbagai jenis penyakit, seperti penyakit mata, telinga, hidung, tekak, mulut, jantung, hati, buah pinggang, dan sebagainya. Melalui sistem pakar, pesakit dapat mengesan suatu penyakit berdasarkan gejala yang dialami dengan menjawab soalan-soalan yang disediakan oleh sistem. Soalan yang disediakan adalah soalan yang lazim ditanya semasa berkonsultasi bersama pakar. Oleh itu, pesakit boleh mengesan penyakit yang dialami serta mendapatkan petua untuk rawatan dan tindakan yang boleh dilakukan. Pembangunan sistem pakar diharapkan dapat menyelesaikan masalah kekurangan pakar di sesebuah kawasan sama ada akibat perang atau kawasan pendalam. Dengan penggunaan sistem pakar ini, seorang pakar tidak perlu ke kawasan berkenaan dan hanya sistem ini diperlukan bagi seorang pesakit mengenal pasti penyakit yang dialaminya.

Sistem pakar sangat penting untuk menyelesaikan suatu masalah. Sistem pakar boleh menghasilkan keputusan bagi menyelesaikan suatu masalah. Oleh itu, banyak penyelidik yang membuat kajian mengenai sistem pakar sejak tahun 1982 seperti sistem pakar MYCIN. Jadual 2.1 berikut adalah beberapa senarai penyelidikan terdahulu mengenai sistem pakar untuk diagnosis perubatan dari tahun 2007-2018.

Jadual 2.1 Penyelidikan sistem pakar bidang perubatan dari tahun 2007-2018

<b>Penyelidik</b>	<b>Tahun</b>	<b>Tajuk</b>
Markos G. Tsipouras, Costas Voglis, & Dimitrios I. Fotiadis	2007	<i>A Framework for Fuzzy Expert System Creation—Application to Cardiovascular Diseases</i>
M.Neshat, M. Yaghobi, M.B. Naghibi & A. Esmaelzadeh	2008	<i>Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of liver disorders</i>
Peter W. Tse, Eugene Y. Li, Jeffery C. Chan & Jacko T. Leung	2010	<i>Automatic Generator Health Assessment System that Embedded with Advanced Fault Diagnosis and Expert System</i>
Azian Azamimi Abdullah, Zulkarnay Zakaria & Nur Farahiyah Mohammad	2011	<i>Design and Development of Fuzzy Expert System for Diagnosis of Hypertension</i>
Zhang Penghai, Zhang Pengtian & Chen Ting	2011	<i>Expert System for De-Adaptation Diagnosis and Treatment</i>
Novruz Allahverdi & Tevfik Akcan	2011	<i>A Fuzzy Expert System Design for Diagnosis of Periodontal Dental Disease</i>

bersambung...

...sambungan

Demeester et al.	2011	<i>Prospective Multicenter Evaluation of the Expert System ‘KABISA TRAVEL’ in Diagnosing Febrile Illnesses Occurring After a Stay in the Tropics</i>
Dr. Vladimir Kirillov	2012	<i>Technology of Building an Expert System Based on a Set of Quantitative Features of Tumor Cell Nuclei for Diagnosing Breast Cancer</i>
Pashalina Lialiou, Dimitrios Zikos& John Mantas	2012	<i>Development and Evaluation of an Expert System for the Diagnosis of Child Autism.</i>
Sujit Das, Pijush Kanti Ghosh & Samarjit Kar	2013	<i>Hypertension Diagnosis: A Comparative Study using Fuzzy Expert System and Neuro Fuzzy System</i>
Fatih Bas,c,iftc,& Ays,e Eldem	2013	<i>Using reduced rule base with Expert System for the diagnosis of disease in hypertension</i>
Hernandez et al.	2013	<i>Development of an Expert System as a Diagnostic Support of Cervical Cancer in Atypical Glandular Cells, Based on Fuzzy Logics and Image Interpretation</i>
MacRae et al.	2015	<i>Identifying influenza-like illness presentation from unstructured general practice clinical narrative using a text classifier rule-based expert system versus a clinical expert</i>
Zarinbal et al.	2015	<i>A Type-2 Fuzzy Image Processing Expert System for Diagnosing Brain Tumors</i>
Lejla Begic Fazlic, Korana Avdagic & Samir Omanovic	2015	<i>GA-ANFIS Expert System Prototype for Prediction of Dermatological Diseases</i>
Lejla Begic Fazlic, Aja Avdagic & Ingmar Besic	2015	<i>Prediction of Heart Attack Risk Using GA ANFIS Expert System Prototype</i>
Dr. R.R.Janghel, Dr. Anupam Shukla & Kshitij Verma	2016	<i>Soft Computing Based Expert System for Hepatitis and Liver Disorders</i>
Kalyani Ohri, Harsukhpreet Singh & Anurag Sharma	2016	<i>Fuzzy Expert System for diagnosis of Breast Cancer</i>
Hugeng & Resky Kurniawan	2016	<i>Development Of The ‘Healthcor’ System As A Cardiac Disorders Symptoms Detector Using An Expert System Based On Arduino Uno</i>
Sajadi et al.	2018	<i>Diagnosis of hypothyroidism using a fuzzy rule-based expert system</i>
Shabut et al.	2018	<i>An intelligent mobile-enabled expert system for tuberculosis disease diagnosis in real time</i>

Berdasarkan Jadual 2.1 mengenai sistem pakar diagnosis perubatan, didapati banyak sistem pakar diagnosis perubatan yang telah dibangunkan. Jadual tersebut membuktikan bahawa sistem pakar diagnosis perubatan masih menjadi tumpuan penyelidikan di bidang kecerdasan buatan sehingga sekarang.

Sistem pakar perubatan terdiri daripada tiga komponen penting seperti pangkalan pengetahuan, enjin inferens dan antara muka. Dalam kajian ini terdapat dua komponen penting sistem pakar seperti pemerolehan pengetahuan dan enjin inferens yang mendapat perhatian penuh. Oleh itu, dalam kajian ini dibangunkan sistem pakar yang lebih memberi perhatian kepada komponen penting sistem pakar seperti proses pemerolehan pengetahuan, penaakulan yang kukuh dan komponen penjelasan yang baik sehingga sistem pakar perubatan lebih berguna dan berkesan bagi pengguna.

### **2.2.2 Sistem Pakar Untuk Diagnosis Penyakit Mata**

Sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit mata yang pertama dibangunkan ialah sistem pakar yang berasaskan petua untuk mendiagnosis pelbagai jenis penyakit mata yang terdapat di Malaysia (Ibrahim 2001). Kaedah Rangkaian Neural dan Pepohon Keputusan juga digunakan untuk mendiagnosis penyakit mata (Kabari & Nwachukwu 2012). Penyelidikan ini hanya tertumpu kepada membina kerangka kerja sahaja. Penyelidikan tersebut menggunakan pangkalan pengetahuan yang terdiri daripada 13 jenis penyakit mata dan 22 gejala. Rangkaian Neural dan Pokok Keputusan dapat mendiagnosis penyakit mata dengan ketepatan 92%. Jadual 2.2 secara lengkap menampilkan kajian sistem pakar penyakit mata. Berbagai kaedah digunakan untuk mengesan penyakit mata seperti Kaedah Rangkaian Saraf Tiruan digunakan untuk membantu mengesan penyakit mata (Syiam 1994). Sistem yang dibangunkan berdasarkan kepada gejala yang dialami menggunakan Rangkaian Kehadapan Berbilang Lapis dengan lapisan tunggal tersembunyi.

Jadual 2.2 Penyelidikan mengenai sistem pakar untuk diagnosis penyakit mata

<b>Penyelidik</b>	<b>Tahun</b>	<b>Tajuk</b>	<b>Inferens</b>
Mostafa Mahmoud Syiam	1994	<i>A Neural Network Expert System for Diagnosing Eye Diseases</i>	Rangkaian saraf tiruan
Fatimah Ibrahim	2001	<i>Expert System for Early Diagnosis of Eye Diseases Infecting the Malaysian Population</i>	-

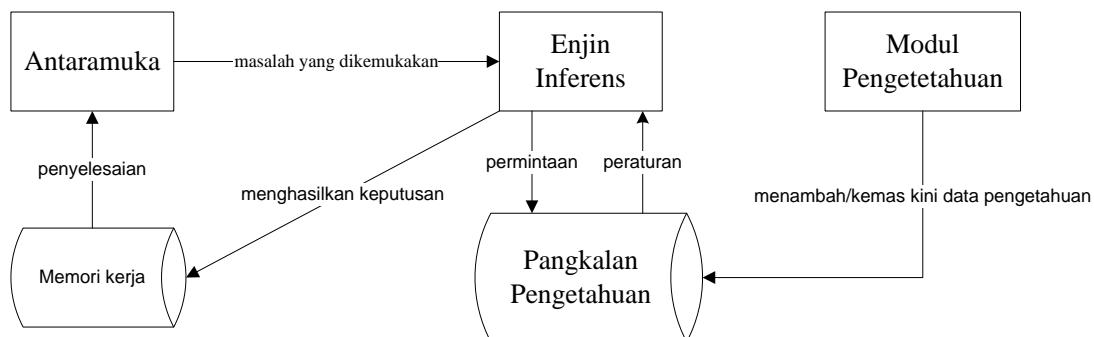
bersambung...

...sambungan				
L. G. Kabari and E. O. Nwachukwu	2012	<i>Neural Networks and Decision Trees For Eye Diseases Diagnosis</i>	Rangkaian saraf tiruan dan Pepohon keputusan	
Hilol Das et al.	2012	<i>An expert system to distinguish a defective eye from a normal eye</i>	-	
Ejiofor dan Okengwu	2015	<i>Simplified Fuzzy Approach for Cataract Identification</i>	Lojik kabur	
Santosa et al.	2017	<i>Expert System Diagnosis of Cataract Eyes Using Fuzzy Mamdani Method</i>	Lojik kabur	
Jabiyeva	2017	<i>The Expert System Virtual Ophthalmologist</i>	Lojik kabur	

Sistem pakar penyakit mata yang terbaru dibangunkan adalah sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit Glaukoma (Jabiyeva 2017). Berdasarkan Jadual 2.2, bidang kes penyakit mata masih menjadi pusat perhatian para penyelidik sistem pakar. Kajian Pannu (2015) yang mengulas pembangunan sistem pakar dari tahun ke tahun, didapati bahawa penyakit mata adalah satu kajian yang popular dalam sistem pakar bidang perubatan. Berdasarkan kajian Pannu (2015), pembangunan sistem pakar penyakit mata dibangunkan menggunakan CLIPS dan berdasarkan petua. Manakala enjin inferens yang digunakan adalah Perantaian ke Hadapan. Walaupun sistem pakar penyakit mata telah dibangunkan, tetapi pengguna tidak mengetahui peratusan kemungkinan mengidap jenis penyakit mata. Pengguna yang mengidap penyakit yang sama tetapi mempunyai gejala yang berbeza, akan mempengaruhi keputusan peratusan kebarangkalian. Sistem pakar penyakit mata sedia ada seperti (Ejiofor & Okengwu 2015; Jabiyeva 2017; Santosa et al. 2017) untuk mendiagnosis satu penyakit saja dengan kategori berat, sedang dan ringan menggunakan logik kabur. Tetapi ilmu pengetahuan penyakit mengenai mata sekarang ini telah berkembang dengan kepelbagaian yang luas, maka seharusnya sistem pakar penyakit mata digunakan pada multi-kelas. Oleh yang demikian, sistem pakar penyakit mata moden memerlukan kaedah penaakulan yang kukuh terhadap cabaran multi-kelas dan ketidakcukupan data.

## 2.3 MASALAH RALAT PETUA

Merujuk Rajah 2.2 dan 2.3, fasa pemerolehan pengetahuan ialah bahagian terpenting dalam sistem pakar berdasarkan petua. Kesalahan semasa fasa pemerolehan pengetahuan akhirnya boleh membawa kepada kesalahan dalam membuat keputusan dan sistem pakar tidak berfungsi dengan baik. Di samping itu, masa dan sumber pengetahuan juga memberi kesan kepada pencapaian sistem pakar (Millette 2012). Masalah utama dalam sistem pakar berdasarkan petua atau peraturan ialah petua-petua yang dihasilkan adalah mengandungi ralat atau salah yang berpunca daripada kesilapan semasa fasa pemerolehan pengetahuan dan konflik kepentingan.



Rajah 2.2 Komponen sistem pakar berdasarkan petua

Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan adanya ralat petua:

1. Masalah peribadi atau konflik kepentingan
2. Kurangnya komunikasi antara jurutera pengetahuan dan pakar
3. Pakar tidak sehaluan dengan jurutera pengetahuan kerana banyak istilah bidang ilmu tertentu.
4. Tidak semua pakar yang biasa dengan teknologi maklumat sehingga enggan untuk mengambil bahagian dalam pemerolehan pengetahuan.
5. Pakar beranggapan bahawa sistem berdasarkan pengetahuan dapat melemahkan kepakaran mereka.

6. Masa yang lama dalam fasa pemerolehan pengetahuan mempengaruhi emosi sehingga kehilangan fokus untuk melakukan fasa pemerolehan pengetahuan.

Pemerolehan pengetahuan disebut sebagai "hambatan dalam proses pembangunan sistem pakar" (Golabchi 2008). Faktor yang paling penting dalam proses pemerolehan pengetahuan ialah jurutera pengetahuan dan para pakar domain tertentu. Dalam membangun sistem pakar berdasarkan petua, kualiti dan keberkesanannya sistem pakar ditentukan oleh sejauh mana jurutera pengetahuan dapat mendapatkan maklumat dan pengetahuan daripada pakar dalam sesi temu bual pakar (Merten 2004). Penyelidikan terdahulu telah mewujudkan rangka kerja standard dalam proses pemerolehan pengetahuan. Walau bagaimanapun, proses ini masih bergantung semata-mata pada pemindahan pengetahuan secara manual dari pengetahuan pakar kepada jurutera pengetahuan. Oleh yang demikian, kejayaan proses pemerolehan pengetahuan terletak sepenuhnya kepada keupayaan seorang jurutera pengetahuan untuk mendapatkan maklumat.

Masalah peribadi, konflik kepentingan juga boleh menjadi masalah dalam sistem pakar berdasarkan petua. Kurangnya komunikasi antara jurutera pengetahuan dan pakar adalah masalah yang biasa yang dihadapi semasa fasa pemerolehan pengetahuan. Banyak istilah asing daripada domain tertentu mengakibatkan pakar dan pengatur cara tidak sehaluan dalam proses pemerolehan pengetahuan (Hardaway 1990). Masalah personaliti mungkin timbul antara pengatur cara dan pakar, perkara ini dapat menjadi halangan yang serius kepada proses pemerolehan pengetahuan (Golabchi 2008). Tidak semua pakar biasa dengan teknologi maklumat dan enggan untuk mengambil bahagian dalam usaha-usaha pembangunan sistem pakar. Mereka sering tidak percaya bahawa mana-mana sistem automatik boleh dibuat untuk menyokong penyelesaian masalah yang kompleks. Di samping itu, pakar merasa bahawa sistem pakar berdasarkan pengetahuan boleh melemahkan pengetahuan mereka dan membuat pekerjaan mereka tidak lagi berguna, pemerolehan pengetahuan berdasarkan petua mungkin tidak dapat dilakukan (Millette 2012).

Masa yang diperlukan untuk membina sistem pakar berasaskan petua boleh menimbulkan masalah besar bagi sesbuah organisasi. Pakar boleh menjadi sangat sibuk, boleh bersara atau meninggalkan syarikat itu untuk beberapa sebab-sebab yang berbeza. Sistem pakar berasaskan petua mungkin berkaitan dengan isu-isu dan domain tidak pasti serta masalah yang kompleks seperti zaman sekarang ini. Sudah sepatutnya sistem pakar menggunakan data dan fakta sebagai pengetahuan (Grosan & Abraham 2011).

Pangkalan pengetahuan yang diperoleh melalui proses pemerolehan pengetahuan merupakan komponen yang perlu diperhatikan. Oleh itu perlu penambahbaikan pada pembinaan pangkalan pengetahuan untuk menghasilkan kaedah yang berdaya dan dapat untuk diimplementasikan pada sistem pakar yang rumit (Zhang et al. 2017). Pemerolehan pengetahuan tradisional dengan temu bual pakar menjadikan pengetahuan sangat bergantung pada jumlah dan mutu pakar, pengemaskinian pengetahuan juga akan menjadi masalah besar. Selain itu, ketepatan petua yang dihasilkan tidak terjamin. Apabila sistem pakar dibangunkan untuk bidang tertentu, pengetahuan pakar dari pelbagai bidang dikumpulkan dalam pangkalan data yang terpisah, sukar untuk mengintegrasikan dan menggunakan, bahkan para ahli tidak dapat menentukan apakah pengetahuan yang mereka berikan dapat membantu dalam pembangunan sistem pakar.

## 2.4 PETUA SEKUTUAN

Teknik petua sekutuan telah digunakan untuk mengatasi masalah ralat petua di fasa pemerolehan pengetahuan. Petua sekutuan adalah teknik perlombongan data untuk mencari hubungan antara pembolehubah. Petua sekutuan dalam perlombongan data digunakan untuk mencari atribut yang muncul bersama-sama dalam masa yang sama. Dalam bidang perubatan, petua sekutuan juga boleh digunakan untuk mencari hubungan antara gejala dan penyakit dengan menjana data rekod perubatan. Kajian Rui dan Duo (2011) telah membina pangkalan pengetahuan dengan dua cara, iaitu berdasarkan pengetahuan pakar dan berdasarkan data yang diproses menggunakan teknik petua sekutuan algoritma Apriori.

Kajian Millette (2012) telah menggunakan teknik perlombongan data petua sekutuan dan gudang data bagi mengatasi masalah ralat petua di fasa pemerolehan pengetahuan pada sistem pakar. Kumpulan petua diperolehi dengan menjana sekumpulan data menggunakan teknik petua sekutuan. Teknik petua sekutuan menjadi popular digunakan untuk mengatasi kelemahan sistem pakar berdasarkan petua (Ma et al. 2008; Rui & Duo 2011). Kajian (Karabatak & Ince 2009) telah menggunakan petua sekutuan algoritma Apriori dan Rangkaian Neural bagi membantu pengesanan sistem pakar diagnosis kanser payudara. Hasil yang diperolehi ialah petua sekutuan dapat mengurangkan dimensi sama ada pada pangkalan data pengetahuan kanser payudara. Penghibridan kaedah ini juga dapat menghasilkan sistem pakar diagnosis kanser payudara yang lebih berkesan daripada hanya menggunakan Rangkaian Neural.

Kajian Sung-Shun, Shang-Chia dan Tsung-Hsien (2011) menggunakan teknik perlombongan data untuk memberikan cadangan produk terbaik. Manakala, kajian Ikram, dan Qamar (2014) telah menggunakan teknik perlombongan data pada sistem pakar yang digunakan untuk menjangkakan masa terjadinya gempa bumi dengan ketepatan 100%. Zhang et al. (2017) menggunakan petua untuk relik sutera. Sistem pakar relik sutera menggunakan petua sekutuan algoritma Apriori, guna mencari pola dan kerangka yang kerap muncul bersama-sama. Dilaporkan bahawa kaedah ini menjadikan sistem pakar lebih cerdas, berbanding dengan sistem pakar tradisional.

Jadual 2.3 berikut ini ialah menyenaraikan penyelidikan mengenai masalah dalam fasa pemerolehan pengetahuan pada sistem pakar berserta kaedah penambahbaikan.

Jadual 2.3 Penyelidikan mengenai masalah pangkalan pengetahuan dan pemerolehan pengetahuan pada sistem pakar

<b>Penyelidik</b>	<b>Tahun</b>	<b>Tajuk</b>	<b>Kaedah</b>
Golabchi, M	2008	<i>A knowledge-based expert system for selection of appropriate structural systems for large spans</i>	-

bersambung...

...sambungan			
Murat Karabatak dan M. Cevdet Ince	2009	<i>An expert system for detection of breast cancer based on association rules and neural network</i>	Apriori dan Rangkaian saraf tiruan
Grosan	2011	<i>Intelligent Systems: A Modern Approach</i>	-
Wang Rui dan Long Duo	2011	<i>The study on construction of knowledge base of grinding expert system based on data mining</i>	Perlombongan data
Millette	2012	<i>Improving the Knowledge-Based Expert System Lifecycle</i>	Gudang data dan perlombongan data
Aqdas Iqrar dan Usman Omar	2014	<i>A rule-based expert system for earthquake prediction</i>	Perlombongan data
Luke Vella et al.		<i>A rule based system for diagnosing and treating chronic heart failure</i>	Asas petua
S.M. Fakhrahmad et al.	2015	<i>A proposed expert system for word sense disambiguation: deductive ambiguity resolution based on data mining and forward chaining</i>	Perlombongan data dan Perantaian ke Hadapan
Zhang et al.	2017	<i>Silk design expert system using association rules extracted from silk relics</i>	Apriori

Berdasarkan Jadual 2.3 sebahagian kajian mengatasi masalah pemerolehan pengetahuan dengan menerima pakai teknik perlombongan data iaitu teknik petua sekutuan Apriori.

Analisis petua sekutuan juga dikenali sebagai salah satu teknik perlombongan data yang menjadi asas kepada banyak teknik perlombongan data yang lain. Khususnya, salah satu daripada tahap analisis petua sekutuan yang menarik bagi ramai penyelidik untuk menjana petua yang berkesan adalah berdasarkan pola kekerapan. Petua sekutuan boleh ditentukan oleh dua parameter, iaitu *sokongan* dan *keyakinan*. *Sokongan* menjelaskan gabungan semua item dalam pangkalan data, manakala *keyakinan* adalah nilai kebarangkalian suatu item bersama-sama dengan item lainnya. Antara algoritma petua sekutuan yang sering digunakan ialah FP-Growth dan Apriori.

Algoritma FP-Growth (*Frequent Pattern Growth*) adalah salah satu algoritma petua sekutuan dengan penambahbaikan daripada algoritma Apriori. Jadi, kekurangan

algoritma Apriori dibaiki menggunakan algoritma FP-Growth. Walaupun demikian, proses pencarian pola kekerapan antara kedua-dua kaedah ini adalah berbeza (Noma & Abd Ghani 2012; Pinheiro et al. 2013). Sekarang ini algoritma FP-Growth merupakan salah satu algoritma paling pantas di antara kaedah-kaedah petua sekutuan (Hoque et al. 2011). FP-Growth adalah algoritma alternatif yang dilihat sangat berpotensi dalam menentukan sekumpulan item yang paling kerap muncul dalam satu kumpulan data.

Algoritma Apriori dijalankan untuk menjana beberapa data sebagai calon bagi mendapatkan kekerapan. Manakala algoritma FP-Growth tidak menghasilkan calon kerana FP-Growth menggunakan konsep pembangunan pokok keputusan dalam mencari pola kekerapan. Oleh kerana itulah yang menyebabkan algoritma FP-Growth kadangkala lebih pantas daripada algoritma Apriori. Ciri-ciri utama daripada algoritma FP-Growth adalah struktur data yang digunakan adalah Pepohon Keputusan. Jadual 2.4 berikut ini menunjukkan masih banyak penyelidik menggunakan teknik perlombongan data algoritma Apriori dan FP-Growth:

Jadual 2.4 Penyelidikan yang menggunakan algoritma FP-Growth dan Apriori

Penyelidik	Tahun	Tajuk	Kaedah
Yunlong Song & Ran Wei	2011	<i>Research on Application of Data Mining Based on FP-Growth Algorithm for Digital Library</i>	FP-Growth
Sajedul Hoque et al.	2011	<i>Implication of Association Rules Employing FP-Growth Algorithm for Knowledge Discovery</i>	FP-Growth
Nasir G. Noma & Mohd Khanapi Abd Ghani	2012	<i>Discovering Pattern in Medical Audiology Data with FP-Growth Algorithm</i>	FP-Growth
Pinheiro et al.	2013	<i>Extracting association rules from liver cancer data using the FP-growth algorithm</i>	FP-Growth
Lakshmi K.S & G. Santhosh Kumar	2014	<i>Association Rule Extraction from Medical Transcripts of Diabetic Patients</i>	FP-Growth
Sankaranarayanan.S & Dr Pramananda Perumal.T	2014	<i>Diabetic prognosis through Data Mining Methods and Techniques</i>	FP-Growth

bersambung...

...sambungan			
Nuke Arincy & Imas Sukaesih Sitanggang	2015	<i>Association Rules Mining on Forest Fires Data using FP-Growth and ECLAT Algorithm</i>	FP-Growth dan ECLAT
Majid Khalilian & Seyedeh Talayeh Tabibi	2015	<i>Breast Mass Association Rules Extraction to Detect Cancerous Masses</i>	FP-Growth
Sowmiya & Somitra	2017	<i>Analytical study of heart disease diagnosis using classification techniques</i>	Apriori
Anggrainingsih et al.	2017	<i>Discovering drugs combination pattern using FP-growth algorithm</i>	FP-Growth
Emmanuel et al.	2017	<i>Analyse Lifestyle Related Prostate Cancer Risk Factors Retrieved from Literacy</i>	Apriori

Beberapa penyelidik terdahulu telah mencuba mengatasi masalah pemerolehan pengetahuan seperti kajian Millette (2012) dengan teknik perlombongan data dan teknik gudang data. Teknik petua sekutuan menjadi popular untuk digunakan bagi mengatasi kelemahan sistem pakar berdasarkan petua (Ma et al. 2008; Rui & Duo 2011). Kajian Karabatak (2009) menggunakan petua sekutuan algoritma Apriori dan Rangkaian Neural bagi membantu memperoleh petua secara automatik untuk sistem pakar diagnosis kanser payudara. Penambahbaikan pada masalah pemerolehan pengetahuan turut dilaksanakan oleh Fakhrahmad et al. (2015) dengan menggunakan teknik petua sekutuan. Zhang (2017) menggunakan petua sekutuan algoritma Apriori, di mana ianya digunakan untuk mencari pola dan kerangka yang kerap muncul bersama-sama pada reka bentuk sutera. Dilaporkan bahawa kaedah penjanaan automatik ini menjadikan sistem pakar lebih pintar, berbanding dengan sistem pakar tradisional.

Walaupun telah ada penyelidikan terdahulu tentang menjana petua secara automatik, namun sehingga kini, masalah pemerolehan yang sepenuhnya automatik masih perlu diterokai, disebabkan oleh kelemahan algoritma petua sekutuan yang menghasilkan banyak petua yang tidak penting dan tidak berkesan (Datta et al. 2017; Nosratabadi et al. 2011; Toloo et al. 2009).

Oleh yang demikian, dalam tesis ini dicadangkan kaedah baru dalam proses pemerolehan pengetahuan bagi mengelakkan ralat petua dan menghasilkan petua yang lebih lengkap dan berkesan untuk proses pemerolehan pengetahuan.

## 2.5 MASALAH PENAAKULAN LEMAH

Penaakulan pada sistem pakar dilakukan oleh bahagian yang disebut enjin inferens. Enjin inferens adalah otak sistem pakar dan bahagian ini mengandungi mekanisme fungsi pemikiran dan penaakulan yang digunakan oleh seorang pakar. Mekanisme ini akan menganalisis sesuatu masalah tertentu dan kemudian menghasilkan keputusan yang tepat. Berdasarkan fakta yang diperolehi semasa proses soal jawab dengan pengguna, set petua yang disimpan dalam pangkalan pengetahuan, enjin inferens boleh menarik kesimpulan dan memberikan keputusan yang diperlukan pengguna. Terdapat beberapa enjin inferens, seperti Perantaian ke Hadapan, GA-ANFIs, Dempster-shafer, Logik Kabur, Naive Bayes dan Rangkaian Bayesian seperti yang disenaraikan oleh Jadual 2.5 berikut.

Jadual 2.5 Penyelidikan sistem pakar dan inferens yang digunakan

Penyelidik	Tahun	Tajuk	Kaedah
Meigarani	2010	Penggunaan Metode Rangkaian Bayesian Dalam Sistem Pakar Untuk Diagnosa Penyakit Leukimia	Rangkaian Bayesian
Maselino & Hasan	2012	<i>Skin infection detection using Dempster-Shafer theory</i>	Dempster-shafer
Lejla Begic Fazlic, Aja Avdagic & Ingmar Besic	2015	<i>Prediction of Heart Attack Risk Using GA ANFIS Expert System Prototype</i>	GA-ANFIs
Janghel, Shukla & Kshitij Verma	2016	<i>Soft Computing Based Expert System for Hepatitis and Liver Disorders</i>	Rangkian neural
Ohri, Singh & Sharma	2016	<i>Fuzzy Expert System for diagnosis of Breast Cancer</i>	Logik kabur
Mulyani et al.	2016	<i>A new approach on prediction of fever disease by using a combination of Dempster Shafer and Naïve bayes</i>	Dempster-shafer dan Naive bayes

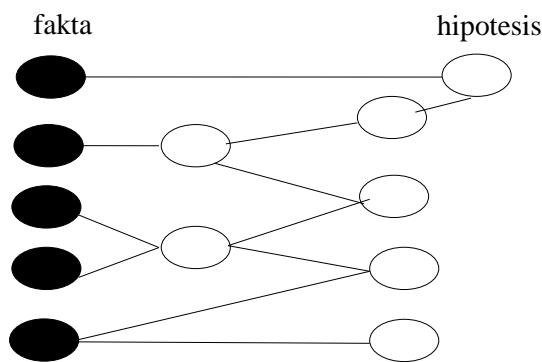
bersambung...

...sambungan Shoffi et al.	2016	<i>Android application for diagnosing general symptoms of disease using forward chaining method</i>	Perantaian ke Hadapan
Rukun et al.	2017	<i>Diagnosis of toddler digestion disorder using forward chaining method</i>	Perantaian ke Hadapan
Astuti et al.	2017	<i>The expert system of children's digestive tract diseases diagnostic using combination of forward chaining and certainty factor methods</i>	Perantaian ke Hadapan
Rathman et al.	2018	<i>Dempster-Shafer theory for combining in silico evidence and estimating uncertainty in chemical risk assessment</i>	Dempster-shafer

Berdasarkan Jadual 2.5 kajian terdahulu, kaedah Perantaian ke Hadapan masih lagi digunakan untuk enjin inferens kerana memberikan keputusan yang baik. Walaupun kaedah inferens sistem pakar tradisional masih digunakan sekarang ini, tetapi dianggap tidak berkesan apabila berdepan dengan masalah yang kompleks seperti diagnosis perubatan. Pengguna akan keliru dengan keputusan yang dihasilkan kerana kadang kala untuk kes perubatan, kaedah inferens tradisional seperti Perantaian ke Hadapan akan mendiagnosis penyakit yang sama walaupun gejala berbeza (Fakhrahmad, Sadreddini & Zolghadri Jahromi 2015).

### 2.5.1 Kaedah Perantaian ke Hadapan

Perantaian ke Hadapan merupakan salah satu enjin inferens berasaskan susunan petua yang masih digunakan dalam sistem pakar. Dalam pendekatan ini, pengesanan bermula dari fakta yang umum kemudian digunakan untuk mendapatkan kesimpulan. Penaakulan bermula dari fakta-fakta umum kepada yang khas dengan carian sempit bagi menguji kebenaran hipotesis seperti pada Rajah 2.3.



Rajah 2.3 Proses penaakulan oleh Perantaiian ke Hadapan

Penyelidikan sistem pakar sekarang ini masih menggunakan Perantaian ke Hadapan (Windriyani et al. 2013) dan (Mzori 2015) sebagai enjin inferens. Antara kelebihan Perantaian ke Hadapan ialah boleh menghasilkan maklumat yang banyak dari data yang sedikit. Jadual 2.6 di bawah ini ialah senarai penyelidikan yang menggunakan enjin inferens Perantaian ke Hadapan:

Jadual 2.6 Penyelidikan sistem pakar yang menggunakan Perantaian ke Hadapan

Penyelidik	Tahun	Tajuk	Kaedah
Bailin Liu, Mingye Duan & Gang Zhao	2011	<i>An Object Frame Knowledge Representation Approach for Fault Diagnosis Expert System</i>	Perantaian ke Hadapan
Edgar J. Amaya & Alberto J. Alvares	2012	<i>Expert System for Power Generation Fault Diagnosis using Hierarchical Meta-Rules</i>	Perantaian ke Hadapan
Windriyani	2013	<i>Expert system for detecting mental disorder with forward chaining method</i>	Perantaian ke Hadapan
Munirah, Rozlini M &Siti Mariam y	2013	<i>An Expert System Development: Its Application on Diagnosing Oyster Mushroom Diseases</i>	Perantaian ke Hadapan
Manisha S. Deshmukh & Shubhangi S. Sapkale	2014	<i>Online Expert System Based on Raga Chikitsa for Health Care</i>	Perantaian ke Hadapan
Li Binbin & Sun Liankun	2014	<i>Automatic Monitor for the Step Utilization of Deep Geothermal Well Based on Expert Systems</i>	Perantaian ke Hadapan
Novaliendry et al.	2015	<i>The Expert System Application For Diagnosing Human Vitamin Deficiency Through Forward Chaining Method</i>	Perantaian ke Hadapan
Sumardi et al.	2015	<i>Expert System for Campus Environment Indexing in Wireless Sensor Network</i>	Perantaian ke Hadapan

...sambungan			
Maharani et al.	2015	<i>Expert System Applications for Early Diagnosis Teeth and Oral Disease in Children</i>	Perantaian ke Hadapan
S.M. Fakhrahmad et al.	2015	<i>A proposed expert system for word sense disambiguation: deductive ambiguity resolution based on data mining and forward chaining</i>	Perantaian ke Hadapan
Shofi et al.	2016	<i>Android application for diagnosing general symptoms of disease using forward chaining method</i>	Perantaian ke Hadapan
Rukun et al.	2017	<i>Diagnosis of toddler digestion disorder using forward chaining method</i>	Perantaian ke Hadapan
Astuti et al.	2017	<i>The expert system of children's digestive tract diseases diagnostic using combination of forward chaining and certainty factor methods</i>	Perantaian ke Hadapan

Kajian Fakhrahmad (2015) telah menggunakan perlombongan data petua sekutuan untuk membina asas petua kemudian sistem pakar digunakan untuk membantu memilih makna perkataan yang tepat pada aplikasi penterjemah bahasa. Dalam kajian tersebut, kaedah Perantaian ke Hadapan juga digunakan sebagai enjin inferens. Berdasarkan kajian tersebut, kaedah Perantaian ke Hadapan memiliki kelemahan iaitu sukar menghasilkan keputusan apabila data pengetahuan sedikit. Data pengetahuan hanya berdasarkan pangkalan data perkataan berserta terjemahannya (Bahasa Inggeris dan Bahasa Persia).

Penyelidik terdahulu melakukan penambahbaikan pada enjin inferens Perantaian ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian. Matsak (2015) mempertingkatkan kaedah Perantaian ke Hadapan menggunakan aksiom ketidakpastian. Dalam pendekatan tersebut, aksiom mungkin mempunyai lebih banyak "keputusan yang tidak pasti", menggunakan rumus yang lebih rumit. Walaupun demikian, pemberian nilai ketidakpastian 0 atau 1 masih lagi kurang berkesan apabila berdepan dengan diagnosis perubatan yang memiliki hubungan antara gejala dan penyakit yang rumit. Oleh itu, kaedah statistik sangat diperlukan sebagai enjin inferens serta memberikan ketepatan yang lebih baik. Selain itu, kajian terdahulu hanya menggunakan Perantaian ke Hadapan ke atas satu sumber sahaja iaitu temu bual secara tradisional dengan paka (Astuti et al. 2017; Rukun et al. 2017; Shofi et al. 2016). Penggunaan Perantaian ke Hadapan ke atas multi-sumber pengetahuan juga perlu diterokai.

### 2.5.2 Kaedah Rangkaian Bayesian

Kaedah Rangkaian Bayesian juga dikenali dengan Rangkaian Kepercayaan, Rangkaian Kepercayaan Bayesian, Rangkaian Bayes dan disebut juga sebagai Rangkaian Berkebarangkalian (Uusitalo 2007). Rangkaian Bayesian adalah kaedah yang dibina berdasarkan kepada teorem Bayes yang dicipta oleh Thomas Bayes pada tahun 1763 (Fenton & Neil 2012). Kaedah Rangkaian Bayesian menjadi sangat popular sejak sedekad yang lalu kerana ia digunakan untuk pelbagai aplikasi cerdas seperti mesin pembelajaran, pemrosesan teks, pemrosesan bio-informatik, diagnosis perubatan, ramalan cuaca, rangkaian selular, dan lain-lain aplikasi sistem cerdas.

Rangkaian Bayesian adalah salah satu *Probabilistic Graphical Model* (PGM) yang mudah dan dibina dari teori kebarangkalian dan graf. Teori kebarangkalian berkaitan secara langsung kepada data manakala teori graf berkaitan secara langsung kepada bentuk gambaran yang akan diperoleh. (Heckerman 2008).

Hubungan pembolehubah dijelaskan menggunakan struktur graf parameter berangka. Rangkaian Bayesian terdiri beberapa bahagian utama, iaitu:

1. Struktur Rangkaian Bayesian mempunyai graf yang disebut graf berkitar terarah (Meigarani 2010). Graf Berkitar Terarah terdiri daripada nod dan tepi. Nod mewakili pembolehubah rawak dan tepi mewakili hubungan pergantungan secara langsung dan juga boleh ditafsirkan sebagai hubungan antara pembolehubah yang berkaitan.
2. Struktur grafik Rangkaian Bayesian digunakan untuk mewakili pengetahuan mengenai domain yang tidak menentu. Khususnya, setiap nod dalam graf adalah pembolehubah rawak, manakala hujung antara nod mewakili kebarangkalian. Proses ini dalam graf sering ditentukan dengan menggunakan kaedah statistik yang dikenali sebagai pengiraan. Oleh itu, Rangkaian Bayesian menggabungkan prinsip-prinsip teori graf, teori kebarangkalian, sains komputer, dan statistik.

Kumpulan parameter yang sedia ada menentukan taburan kebarangkalian bersyarat bagi setiap pembolehubah. Dalam Rangkaian Bayesian, nod berhubungan dengan pembolehubah rawak. Setiap nod dikaitkan dengan satu set kebarangkalian bersyarat,  $P(x_i / A_i)$  sehingga  $x_i$  yang merupakan pembolehubah yang berkaitan dengan nod dan  $A_i$  ialah satu kumpulan induk graf.

Seterusnya, Rangkaian Bayesian berjaya digunakan untuk memecahkan pelbagai masalah dalam pelbagai domain dengan hasil yang luar biasa (Aguilera et al. 2011). Struktur Rangkaian Bayesian juga dapat memudahkan proses dalam membina data pengetahuan (Aguilera et al. 2011). Kaedah ini juga semakin banyak digunakan dalam lingkungan perniagaan pemodelan dan pengurusan (Uusitalo & Kuikka 2005).

Sebagai contoh, Rangkaian Bayesian boleh mewakili hubungan antara kebarangkalian penyakit dan gejala. Rangkaian Bayesian boleh digunakan untuk mengira kebarangkalian kewujudan pelbagai gejala penyakit. Kaedah Rangkaian Bayesian adalah kaedah yang sangat baik dalam mesin pembelajaran berdasarkan data latihan, dengan menggunakan kebarangkalian bersyarat sebagai asasnya (Meigarani 2010).

Teknik-teknik pemodelan Rangkaian Bayesian mempunyai beberapa ciri-ciri yang menjadikan kaedah ini berguna dalam banyak persoalan analisis data dan pengurusan. Kaedah ini menyediakan satu cara semula jadi untuk kes data yang hilang, ia membenarkan gabungan data dengan pengetahuan serta memudahkan pembelajaran tentang hubungan sebab akibat antara pembolehubah (Hackerman 1995). Rangkaian Bayesian juga boleh menunjukkan ketepatan ramalan yang baik walaupun dengan saiz sampel data yang sedikit. Kaedah Rangkaian Bayesian mudah digabungkan dengan alat analisis keputusan untuk membantu pengurusan (Marcot, Holthausen & Raphael 2001; Nyberg, Marcot & Sulyma 2006). Sebaliknya, keupayaan kaedah ini terhad untuk menangani data yang berterusan (Jensen 2001), dan data tersebut perlu *discretized*, yang mungkin sukar untuk dilakukan. Kaedah Rangkaian Bayesian juga berguna untuk menggabungkan pelbagai pengetahuan dengan baik.

Sementara itu, Rangkaian Bayesian telah digunakan untuk analisis data dan pengetahuan pakar terutama pada masalah ketidakpastian, kerana kaedah ini digunakan sebagai penyelesaian untuk masalah yang tidak pasti (Landuyt et al. 2013). Kaedah ini juga boleh digunakan untuk membuat model sistem pakar yang memindahkan pengetahuan pakar tentang domain yang sukar seperti kes perubatan (Meigarani 2010; Kurniawan 2015), yang merupakan sebahagian daripada penyelesaian masalah yang tidak pasti. Model Rangkaian Bayesian boleh menggabungkan pengetahuan daripada sumber-sumber yang berbeza dengan mudah. Pengetahuan pakar boleh digabungkan dengan data hasil pengukuran yang memiliki ketepatan yang berbeza (Marcot et al. 2001).

Rangkaian Bayesian dapat menghasilkan kesimpulan dengan kebarangkalian. Kesimpulan kebarangkalian adalah untuk meramal nilai pembolehubah yang tidak boleh diketahui secara langsung dengan menggunakan nilai-nilai pembolehubah lain yang telah diketahui. Contoh kesimpulan kebarangkalian adalah untuk menentukan kebarangkalian bersyarat pesakit yang mengidap penyakit mata jika pesakit diketahui mengalami mata merah dan tidak boleh tahan terhadap cahaya. Kesimpulan kebarangkalian boleh dilakukan jika diperoleh taburan kebarangkalian bersama daripada semua pembolehubah yang dimodelkan. Taburan kebarangkalian bersama merupakan kebarangkalian dari semua peristiwa yang berlaku pada masa yang sama.

Kesimpulan kebarangkalian boleh dilakukan jika Rangkaian Bayesian telah dibina. Oleh itu, langkah pertama adalah untuk membina struktur Rangkaian Bayesian. Dalam kes diagnosis penyakit mata, hubungan antara pembolehubah dan nilai kebarangkalian pembolehubah belum diketahui, oleh itu Rangkaian Bayesian dibina berdasarkan data pembolehubah atau disebut pembinaan Rangkaian Bayesian daripada data. Pembinaan Rangkaian Bayesian daripada data ialah:

1. Struktur pembinaan dilakukan untuk mencari hubungan antara pembolehubah yang dimodelkan.
2. Penganggaran parameter juga disebut fasa kuantitatif, yang mengira nilai kebarangkalian.

Walaupun mempunyai banyak kelebihan tetapi Rangkaian Bayesian dianggap sukar dalam mencapai kesepakatan bagi membangunkan struktur Rangkaian Bayesian yang menjadi asas kepada kaedah ini (Uusitalo 2007). Diperlukan data yang besar untuk membina struktur Rangkaian Bayesian (Aguilera et al. 2011). Struktur yang dimiliki kaedah ini menjadikan kaedah ini tidak dapat melakukan pengesanan yang berlainan arah kerana harus mengikuti struktur Rangkaian Bayesian yang telah dibangunkan. Untuk mengatasi masalah pembangunan struktur Rangkaian Bayesian, maka diperlukan kaedah petua sekutuan.

Berdasarkan kajian kesusasteraan, Algoritma K2 berdasarkan carian dan skor dan petua sekutuan digunakan sebagai kaedah semi-automatik untuk membina struktur Rangkaian Bayesian (Chen, Anantha & Lin 2008; Maharani 2015). Penggunaan algoritma K2, algoritma pesanan dan petua sekutuan digunakan untuk membina struktur yang bersumber daripada satu sumber sahaja, sama ada pendapat pakar secara kualitatif mahupun menggunakan pangkalan data. Manakala dalam kajian ini terdapat multi-sumber pengetahuan yang digunakan sebagai struktur.

Selain itu, pakar dicabar untuk menyatakan pengetahuan mereka dalam bentuk kebarangkalian dan lebih terintegrasi (Landuyt et al. 2013; Uusitalo 2007). Kajian terdahulu menunjukkan bahawa nilai kebarangkalian Rangkaian Bayesian ditentukan berdasarkan jangkaan pendapat pakar (Meigarani 2010). Kajian tersebut melaporkan bahawa penentuan kebarangkalian pada kes perubatan hanya untuk dua kelas sama ada positif dan negatif sahaja. Dalam kajian lain, Rangkaian Bayesian secara amnya digunakan untuk membuktikan keberadaan dua kelas seperti kes peramalan terjadinya hujan, ‘ya’ atau ‘tidak’ (Witten 2016). Oleh itu, diperlukan kaedah yang berkesan untuk membangunkan struktur Rangkaian Bayesian daripada multi-sumber pengetahuan.

Indyana Meigarani melakukan penyelidikan tentang Rangkaian Bayesian pada sistem pakar diagnosis penyakit (Meigarani 2010). Dalam kajian kaedah Rangkaian Bayesian digunakan untuk mendiagnosis leukemia dengan keputusan yang positif dan negatif sahaja. Penyelidikan ini belum memberikan keputusan dalam mengesankan

pelbagai jenis penyakit. Menggabungkan pengetahuan pakar untuk membangunkan struktur Rangkaian Bayesian banyak memberikan cabaran. Oleh itu, penyelidikan yang telah dilakukan oleh Thirumuruganathan dan Huber (2011) menggunakan inferens yang berdasarkan petua untuk membantu dalam membina Rangkaian Bayesian. Berikut adalah Jadual 2.7 senarai penyelidikan mengenai sistem pakar menggunakan kaedah Rangkaian Bayesian.

Jadual 2.7 Penyelidikan sistem pakar terkini yang menggunakan Rangkaian Bayesian

Penyelidik	Tahun	Tajuk	Kaedah
E. A. El-Sebakhy	2007	<i>Bayesian Belief Networks In Developing A Schemato-Schema Expert Decision Support System</i>	Rangkaian Bayesian
Indyana Meigarani	2010	Penggunaan Metode Rangkaian Bayesian Dalam Sistem Pakar Untuk Diagnosa Penyakit Leukimia	Rangkaian Bayesian
Nipat Jongsawat & Wichian Premchaiswadi	2010	<i>Bayesian Network Inference with Qualitative Expert Knowledge for Decision Support Systems</i>	Rangkaian Bayesian
SaravananThirumuruganatha n & Manfred Huber	2011	<i>Building Rangkaian Bayesian based Expert Systems from Rules</i>	Rangkaian Bayesian
Edwien Syahrial M & Andre Giovan	2012	Perancangan Sistem Pakar Untuk Penentuan Jurusan Dengan menggunakan Pendekatan Rangkaian Bayesian	Rangkaian Bayesian
Yang Shunkun	2012	<i>Bayesian Network based Software Diagnosis Expert System</i>	Rangkaian Bayesian
Wenqiang Guo et al.	2013	<i>Bayesian Network Learning Based on Relationship Prediction PSO and Its Application in Agricultural Expert System</i>	Rangkaian Bayesian
Kurnia et al.	2016	Deteksi Dini Penyakit Paru Dengan Metoda Bayesian Berbasis Android	Rangkaian Bayesian

Rangkaian Bayesian memiliki banyak kelebihan, iaitu: mudah dibangunkan sebagai sokongan keputusan bagi membantu pengurusan sumber semula jadi (Marcot et al. 2001), dapat sedia dikemaskini, apabila ada pengetahuan baharu (Ticehurst et al. 2008) dan menghasilkan ketepatan ramalan yang baik (Uusitalo 2007). Walaupun demikian, Rangkaian Bayesian memiliki beberapa kelemahan seperti:

- i. Sukar untuk mencapai kesepakatan pakar dengan struktur Rangkaian Bayesian. (Uusitalo 2007)
- ii. Pakar mungkin dicabar untuk menyatakan pengetahuan mereka dalam bentuk taburan kebarangkalian. (Uusitalo 2007)
- iii. Memerlukan proses yang berulang-ulang untuk memastikan pakar bersetuju dengan nod yang ada pada struktur Rangkaian Bayesian. (Pollino 2008)
- iv. Sebahagian kes yang melibatkan Rangkaian Bayesian mungkin mempunyai keupayaan yang terhad terhadap data yang berterusan. Data tersebut lazimnya perlu “diskriminasi” (dipecahkan kepada bentuk diskret). (Niculescu 2006; Nyberg et al. 2006)
- v. Sukar menentukan kebarangkalian bersyarat dengan pendapat pakar. (Kragt 2009).

Usaha penambahbaikan telah dilakukan pada kaedah Rangkaian Bayesian. Beberapa penyelidik sudah melakukan penambahbaikan pada sistem pakar Rangkaian Bayesian, khususnya bahagian struktur Rangkaian Bayesian. Struktur Rangkaian Bayesian ialah termasuk dalam komputasi yang kompleks (Chen et al. 2008). Dalam penyelidikan tersebut, algoritma K2 digunakan untuk mempertingkatkan struktur Rangkaian Bayesian berdasarkan maklumat hubungan pembolehubah yang diperoleh. Kaedah tersebut menyediakan cara untuk mengenal pasti urutan nod. Maharani tahun 2015 juga menggunakan algoritma K2 untuk menjelaskan hubungan antara pembolehubah cuaca dan membuat model peramalan (Maharani 2015).

Amirkhani et al. (2014) memperkenalkan kaedah baru dalam mempertingkatkan Rangkaian Bayesian iaitu membangun Rangkaian berdasarkan nilai jangkaan kebarangkalian yang berbeza daripada banyak pakar (Amirkhani et al. 2014). Manakala Scanagatta et al (2017) menggabungkan algoritma *Greedy Hill-Climbing* dengan algoritma *Ordering-Based Algorithm* (ASOBS) untuk mempertingkatkan carian dalam Struktur Pembelajaran Rangkaian Bayesian (Scanagatta et al. 2017).

Algoritma K2 dan algoritma berdasarkan skor juga digunakan untuk mencari susunan nod yang tepat pada struktur Rangkaian Bayesian. Kini, kaedah automatik diperlukan bagi memudahkan dalam membangun struktur Rangkaian Bayesian dan menjelaskan hubungan setiap pembolehubah menggunakan teknik petua sekutuan (Sornil & Poovutthikul 2006; Weng et al. 2011; Xiao et al. 2016). Oleh itu, Algoritma petua sekutuan Apriori digunakan untuk membina Rangkaian Bayesian bagi mendapatkan produk terbaik dan kes Perkhidmatan Produk Perindustrian (Weng et al. 2011; Xiao et al. 2016).

Berdasarkan kajian kesusteraan, penyelidik terdahulu telah berusaha mempertingkatkan struktur Rangkaian Bayesian. Algoritma K2 berdasarkan carian dan skor digunakan sebagai kaedah semi-automatik untuk membina struktur Rangkaian Bayesian. Kaedah petua sekutuan digunakan untuk membina struktur Rangkaian Bayesian secara automatik. Walaupun demikian, kajian lepas hanya memaparkan penggunaan algoritma K2, algoritma pesanan dan petua sekutuan semata mata pada satu sumber sahaja, sama ada pendapat pakar mahupun pangkalan data. Oleh itu, kaedah untuk mempertingkatkan struktur Rangkaian Bayesian pada multi-sumber pengetahuan kes perubatan perlu diterokai, bukan semata mata mengimplementasikannya pada pangkalan data yang sedia ada. Pada kajian ini dicadangkan penggunaan petua sekutuan sebagai penjanaan hubungan gejala dan penyakit yang sepenuhnya automatik dan diteruskan dengan kaedah produksi yang dimiliki Perantaian ke Hadapan bagi menjana hubungan gejala dan penyakit untuk data petua konvensional.

Seperti yang dilaporkan pada kajian lepas, pakar juga dicabar untuk menyatakan pengetahuan mereka dalam bentuk taburan kebarangkalian (Uusitalo 2007). Kajian terdahulu menunjukkan bahawa nilai taburan kebarangkalian Rangkaian Bayesian ditentukan berdasarkan pendapat pakar. Meigarani (2010) menentukan kebarangkalian bidang perubatan hanya untuk dua kelas sama ada positif dan negatif sahaja. Rangkaian Bayesian secara amnya digunakan untuk membuktikan keberadaan dua kelas seperti kes peramalan hujan ‘ya’ atau ‘tidak’. Diagnosis perubatan mempunyai kebarangkalian yang lebih kompleks kerana berdepan dengan banyak

kelas penyakit dan gejala. Setiap gejala mungkin sahaja berada di antara dua atau lebih penyakit. Kaedah dalam menentukan kebarangkalian untuk kes yang kompleks dan memiliki banyak kelas seperti perubatan juga perlu diterokai.

## **2.6 LEWAHAN PETUA DAN POTENSI UNTUK DIEKSPLOITASI**

Sumber pengetahuan daripada pelbagai sumber menghasilkan banyak petua yang lewah. Lewahan petua ialah dua atau lebih petua yang sama seperti: petua (b) menduplikasikan petua (a). Walaupun berbeza penamaan tetapi apabila ia memiliki makna yang sama antara kedua dua petua, maka petua tersebut juga mengalami lewahan (Chandanan & Shukla 2015). Sistem pakar harus mempertimbangkan susunan petua untuk meringankan kerja memori dan mempercepat proses pencarian. Lewahan petua dapat mengurangkan kelajuan atau carian keputusan kerana menyebabkan banyak petua yang sama untuk dijana. Zaman et al. (2007) menggunakan nilai sokongan dan keyakinan untuk mengesan petua yang lewah, manakala Chandanan dan Shukla (2015) mengesan petua yang lewah dengan melihat kesamaan *anteseden* dan *konsekuensi*.

Walaupun lewahan petua dapat mengurangkan kelajuan carian keputusan, tetapi ianya berpotensi digunakan untuk mempertingkatkan inferens kebarangkalian pada enjin inferens yang berasaskan kaedah statistik seperti Rangkaian Bayesian. Nilai kebarangkalian yang dihasilkan oleh kaedah inferens semestinya sehaluan dengan darjah kepercayaan pakar. Pengeksploitasi petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

## **2.7 PENGUJIAN DAN PENGESAHAN SISTEM PAKAR**

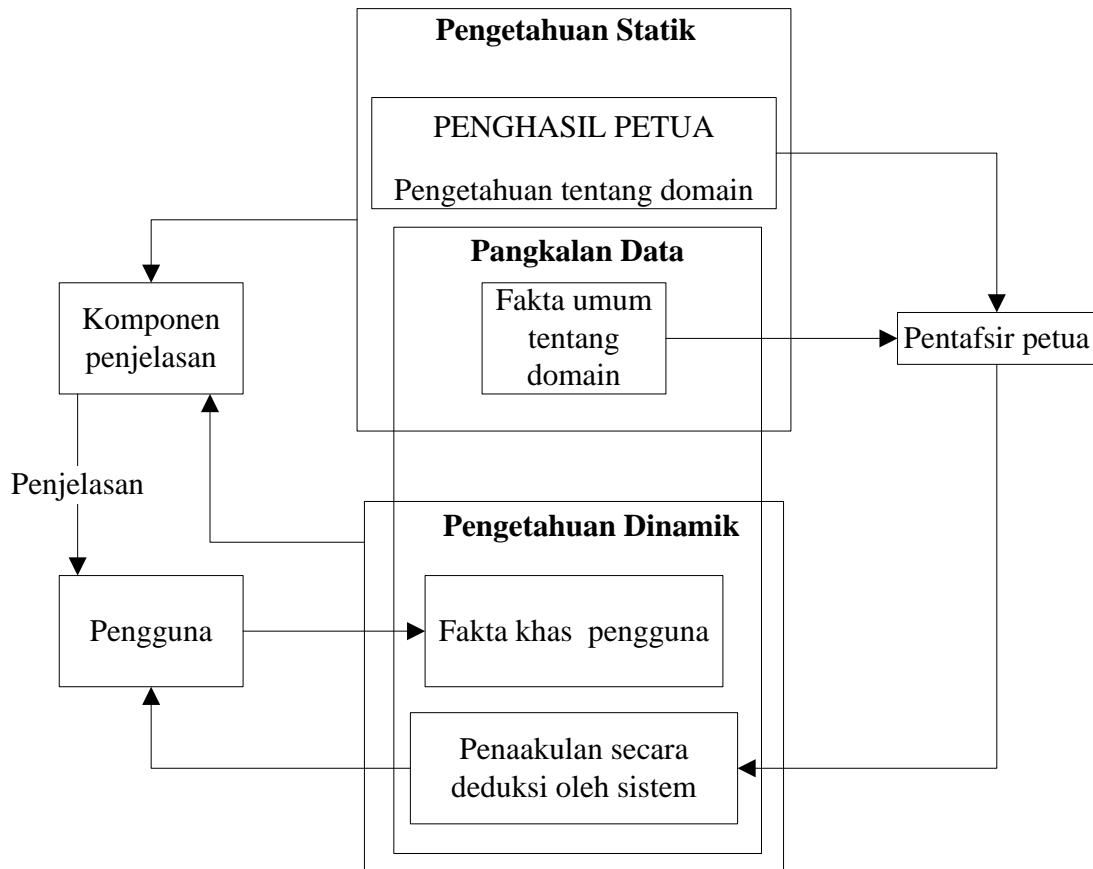
Sehingga sekarang ini, sistem pakar selalunya diuji dari segi ketepatan klasifikasi dengan hasil sebenar dan penerimaan kebolehgunaan sistem pakar oleh pengguna. Sistem pakar di bidang perubatan seperti penyakit fizikal (2011) dan sistem pakar

diagnosis penyakit autisme pada anak (2012) menggunakan kaedah pengujian ketepatan sistem pakar. Sistem pakar diagnosis penyakit fizikal diuji kepada 54 orang pelancong yang datang ke wad kecemasan di Belgium, kemudian hasil diagnosis disesuaikan dengan pendapat pakar. Manakala sistem pakar untuk mendiagnosis penyakit autisme pada anak dinilai dan disahkan oleh 12 orang jururawat yang bekerja di Hospital Pediatrik (Lialiou, Zikos & Mantas 2012). Sistem pakar dinilai dan disahkan berdasarkan temu bual semi berstruktur berkaitan dengan ketepatan dan kebolehgunaan sistem pakar.

Pengujian sistem pakar sekarang ini diuji daripada ketepatan klasifikasi dengan hasil sebenar (Sajadi et al. 2018). Dikatakan bahawa dalam kajian semasa untuk pengujian ketepatan logik kabur, dilakukan dengan membahagikan data latihan dan data ujian. Shabut et al. (2018) juga menguji ketepatan menggunakan perisian WEKA guna melihat kemampuan algoritma klasifikasi dalam mendiagnosis penyakit TBC.

Walaupun demikian, sistem pakar bukan sahaja bergantung kepada ketepatan keputusan, tetapi juga penerimaan keputusan oleh pengguna yang awam. Pada Rajah 2.1 ditampilkan bahawa komponen penjelasan diperlukan oleh kedua dua bahagian utama seperti bahagian pembangunan dan bahagian konsultasi. Komponen penjelasan diperlukan kerana tingkat pengetahuan dan latar belakang setiap pengguna yang berbeza. Untuk menggambarkan perbezaan dan kemudian menjana penjelasan yang sesuai kepada pengguna adalah masalah utama (Bofeng 2005).

Penyelidikan terdahulu mengenai sistem pakar telah menunjukkan bahawa menyediakan penjelasan boleh meningkatkan penerimaan oleh pengguna. Mendedahkan proses membuat keputusan seperti prosedur keputusan, sokongan daripada pengetahuan yang berbeza dan cara mendapatkan keputusan, dapat membantu pengguna memahami serta mahu menggunakan sistem pakar (Chen & Dong 2010).



Rajah 2.4 Sistem pakar MYCIN berdasarkan petua menggunakan komponen penjelasan (Shortliffe 1975)

Merujuk Rajah 2.4 di atas terdapat empat komponen penting dalam sistem berdasarkan petua iaitu pentafsir petua, penghasil petua, berserta komponen penjelasan. Komponen penjelasan menggunakan asas pengetahuan sistem untuk memberikan penjelasan pengguna. Dalam mengembangkan komponen penjelasan, MYCIN telah menunjukkan bahawa keupayaan program untuk menjelaskan penaakulan adalah matlamat utama. Seperti yang berlaku untuk banyak elemen sistem, konsep ketelusan sistem berkembang secara beransur-ansur pada tahun-tahun awal. Penyelidikan Carbonell tahun 1970 adalah model kerja MYCIN dalam sistem soal jawab, dan MYCIN terus dikembangkan berdasarkan model tersebut untuk konsultasi pengguna. Oleh itu, boleh dikatakan bahawa isu supaya pengetahuan boleh difahami oleh pengguna adalah objektif utama MYCIN, walaupun ia tidak diiktiraf secara jelas pada mulanya sebagai isu penyelidikan yang penting. Sekiranya pakar mengubah suai

pangkalan pengetahuan secara langsung, maka ia mesti dapat memahami akibat tindakannya.

Komponen penjelasan diperlukan untuk memberikan ketelusan dan untuk menggalakkan penerimaan oleh pakar perubatan. Selain itu diperlukan juga bagi menstabilkan sistem konsultasi tersebut. Walau bagaimanapun, komponen penjelasan awal yang disediakan oleh MYCIN belum memenuhi kriteria. Dalam tempoh dua tahun, pembangunan komponen penjelasan untuk MYCIN menjadi tumpuan utama dalam usaha penyelidikan sistem pakar perubatan. Beberapa penyelidik seperti Randy Davis telah menyertai projek ini pada masa tersebut yang bermula dengan memperluas perintah *PETUA* yang sederhana dan terjemahan bahasa yang telah dikembangkan oleh Shortliffe.

Davis mengubah arahan *PETUA* menjadi *MENGAPA* dan membangunkan pepohon keputusan yang membolehkan pengguna untuk memeriksa keseluruhan perantaian. Sebagai tambahan arahan *PETUA*, Shortliffe mengembangkan skema yang membolehkan pengguna untuk memberikan soalan pada akhir sesi konsultasi. Soalan umum yang kerap ditanyakan oleh pengguna ialah soalan mengenai data pengetahuan didapatkan, tindak balas peraturan petua *JIKA - MAKA*, bagaimana menentukan nilai parameter, bagaimana sistem pakar membuat kesimpulannya, soalan mengapa kesimpulan tidak dibuat, soalan tentang bagaimana maklumat tersebut digunakan. Komponen penjelasan dikembangkan hingga tahun 1982 oleh Shortliffe et al. dalam bentuk prototaip komponen penjelasan MYCIN yang disebut *Tailored Explanation*. Komponen penjelasan mula dikembangkan dengan rangkaian kausal (sebab akibat) dan penaakulan faktor kepastian yang menyediakan nilai kepastian.

Pembangunan sistem pakar berdasarkan petua juga harus memenuhi dua kriteria dasar bagi mewujudkan sistem pakar yang boleh dipercayai seperti aspek ‘ketelusan’ dan ‘fleksibiliti’ (Hingole 2015). Sebahagian sistem pakar yang dibangunkan tidak mengutamakan komponen penjelasan, padahal ianya sangat penting untuk mendapatkan sistem pakar yang dapat dipercayai, telus dan fleksibel. Ketelusan diberikan kepada pengguna dalam menyediakan penjelasan mengenai penaakulan yang telah digunakan sehingga sistem pakar boleh menjawab soalan yang diberikan

dan menghasilkan keputusan. Manakala fleksibiliti ialah penyimpanan data pengetahuan yang bersepada. Berdasarkan penyelidikan Tintarev dan Masthoff (2007), sistem pakar bidang perubatan sangat memerlukan komponen penjelasan terutamanya pada aspek ketelusan.

Ketelusan atau heuristik daripada '*Visibility of System Status*' merupakan asas untuk mengesahkan kebolehgunaan sistem. Oleh itu, Tintarev dan Musthoff merumuskan ada tujuh aspek dan tujuan komponen penjelasan yang boleh membantu memberi kepercayaan kepada pengguna, meningkatkan kepuasan pengguna, membantu menemukan apa yang pengguna inginkan dan memujuk mereka untuk mencuba atau menggunakan sistem pakar, antara lain ialah:

1. Ketelusan digunakan untuk membantu menjelaskan bagaimana sistem pakar berfungsi
2. Pengujian adalah membolehkan pengguna untuk memberitahu kesalahan sistem kepada pengatur cara
3. Kepercayaan ialah meningkatkan keyakinan pengguna dalam menggunakan sistem pakar
4. Keberkesanan ialah membantu pengguna dalam membuat keputusan yang tepat
5. Pujukan ialah meyakinkan pengguna untuk mencuba atau membeli sistem pakar
6. Kecekapan ialah membantu pengguna untuk membuat keputusan dengan cepat
7. Kepuasan ialah meningkatkan kemudahan kebolehgunaan suatu sistem.

## **2.8 KESIMPULAN**

Bab ini telah merangkumi penerangan mengenai kecerdasan buatan, sistem pakar, teknik perlombongan data khususnya petua sekutuan, kaedah Perantaian ke Hadapan, Rangkaian Bayesian, komponen penjelasan sistem pakar diagnosis perubatan, contoh kes mengenai penyakit mata yang biasa dialami manusia. Setiap aspek ini sangatlah penting kerana menjadi asas dalam penyelidikan sistem pakar diagnosis perubatan.

Beberapa penyelidik terdahulu telah mencuba mengatasi masalah pemerolehan pengetahuan menggunakan teknik perlombongan data. Teknik petua sekutuan menjadi popular untuk digunakan bagi mengatasi kelemahan sistem pakar berdasarkan petua. Walaupun telah ada penyelidikan tentang menjana petua secara automatik, namun sehingga kini, masalah pemerolehan yang sepenuhnya automatik masih perlu diterokai, disebabkan oleh kelemahan algoritma petua sekutuan yang menghasilkan banyak petua yang tidak penting dan tidak berkesan. Oleh itu, diperlukan juga teknik yang membolehkan penjanaan dan integrasi petua yang berkesan sebagaimana yang dihasilkan oleh pakar mata.

Begitu juga dalam masalah penaakulan yang lemah. Kaedah Perantaian ke Hadapan masih boleh digunakan untuk enjin inferens kerana memberikan keputusan yang baik, namun ia dianggap tidak berkesan apabila berdepan dengan masalah yang kompleks seperti diagnosis perubatan. Pengguna akan keliru dengan keputusan yang dihasilkan. Kadang kala bagi kes perubatan, kaedah inferens tradisional seperti Perantaian ke Hadapan akan mendiagnosis penyakit yang sama walaupun gejala berbeza yang disebut sebagai konflik petua atau ambiguiti.

Tahap pencapaian terkini Perantaian ke Hadapan adalah berasaskan satu sumber pengetahuan, iaitu menggunakan temu bual dengan pakar sahaja. Begitu juga dengan kaedah Rangkaian Bayesian yang memiliki kelemahan iaitu sukar membangun struktur dan kebarangkalian. Berdasarkan kajian kesusasteraan, pencapaian terkini kaedah Rangkaian Bayesian untuk sistem pakar adalah sama ada kebarangkalian yang menggunakan nilai penganggaran pakar semata mata ataupun satu sumber pengetahuan sahaja. Oleh itu, kaedah yang berkesan diperlukan untuk membangunkan struktur Rangkaian Bayesian daripada multi-sumber pengetahuan.

Sumber pengetahuan daripada pelbagai sumber menghasilkan banyak petua yang lewah. Sistem pakar harus mempertimbangkan susunan petua untuk meringankan kerja memori dan mempercepat proses pencarian. Lewahan petua dapat mengurangkan kelajuan atau carian keputusan kerana menyebabkan banyak petua yang sama untuk dijana. Kajian terkini mengesan petua yang lewah hanya dengan

melihat kesamaan nilai sokongan, nilai keyakinan, kondisi *anteseden* dan *konsekuen* sahaja. Multi-sumber pengetahuan menghasilkan banyak petua dan ada yang mengalami kelebihan, sehingga diperlukan teknik yang lebih jitu untuk mengesan lewahan petua tersebut. Selain itu, pengeksplorasiyan petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

## **BAB III**

### **METODOLOGI KAJIAN**

#### **3.1 PENGENALAN**

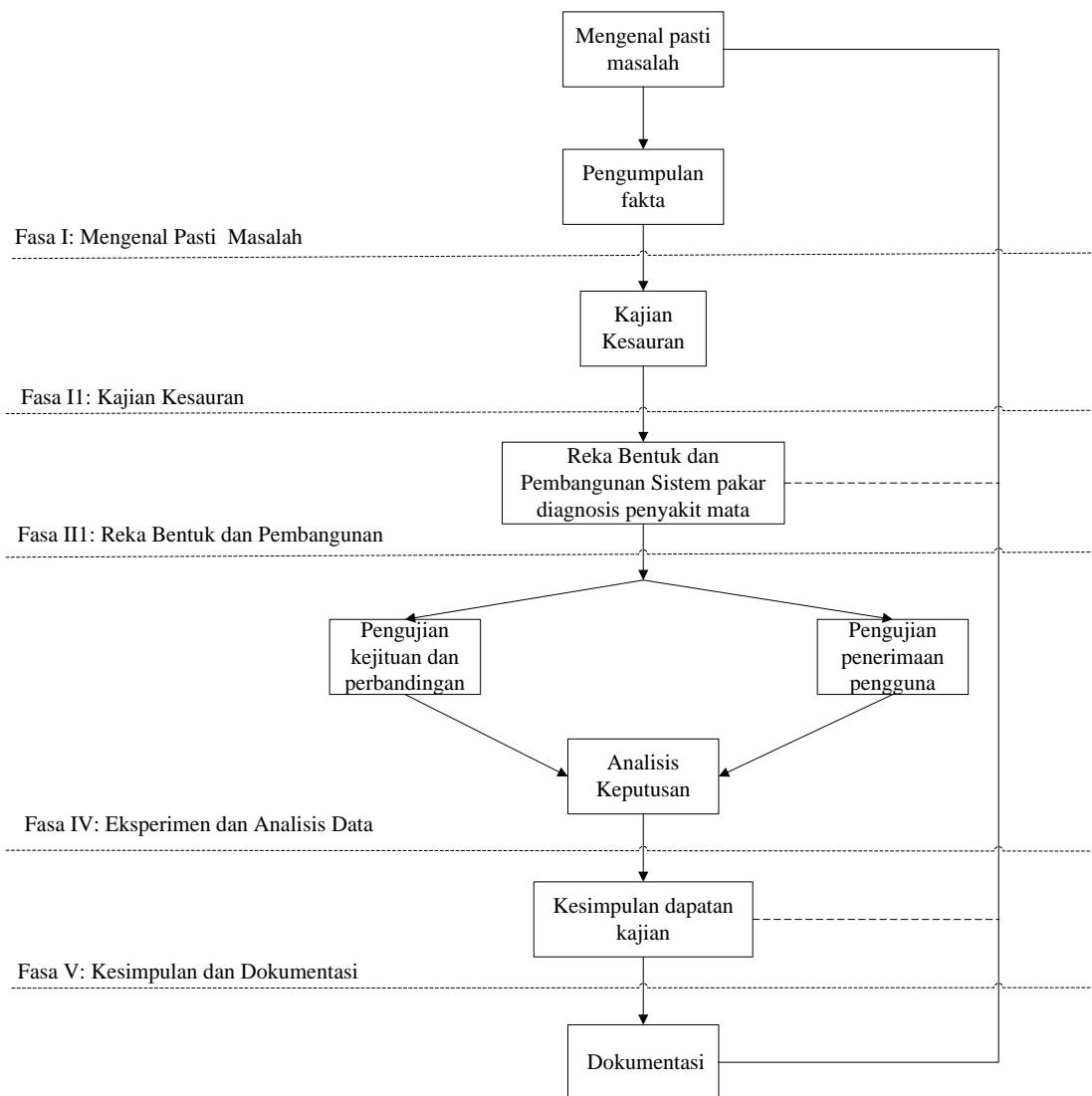
Bab yang ketiga menjelaskan mengenai metodologi kajian yang dilakukan. Langkah-langkah dalam menjalankan penyelidikan merupakan salah satu perkara yang penting supaya setiap penyelidikan yang dilakukan dapat menghasilkan keputusan yang baik. Kaedah penyelidikan ini bertujuan untuk menerangkan secara lebih terperinci mengenai langkah-langkah yang digunakan selama penyelidikan dijalankan. Seperti yang dinyatakan dalam bab sebelumnya bahawa langkah awal dalam membina sistem pakar salah satunya ialah menentukan bentuk penyelidikan yang akan dijalankan. Penyelidikan ini berasaskan kepada penyelidikan eksperimental yang mengikut kepada Kitaran Hidup Pembangunan Sistem Pakar (KHPSP). KHPSP merupakan langkah-langkah dalam pembangunan sebuah sistem pakar (Durkin 1994; Meigarani 2010) seperti pada Jadual 3.1. Manakala untuk pra-pemrosesan data mengikut Konsep dan Teknik Perlombongan Data (Han et al. 2012), yang akan dijelaskan pada Seksyen 3.4.1 dan kaedah pembangunan inferens Rangkaian Bayesian bidang perubatan mengikut kaedah Rangkaian Bayesian Meigarani (2010) yang akan dijelaskan pada Seksyen 3.4.2.

Secara umum, kerangka kerja metodologi kajian yang mengikut Kitaran Hidup Pembangunan Sistem Pakar, dimulakan dengan mengenal pasti masalah, mod kajian, domain dan kaedah. Kajian yang dijalankan berkisar tentang bidang kajian sistem pakar dalam perubatan iaitu diagnosis penyakit mata dengan pangkalan data penjanaan data pengetahuan automatik, bersepadu, lengkap dan penaakulan yang kukuh, berkesan, serta aplikasi sistem pakar yang mudah digunakan dan dipercayai. Mod kajian yang dijalankan pada penyelidikan ini ialah mod deduktif. Pendekatan

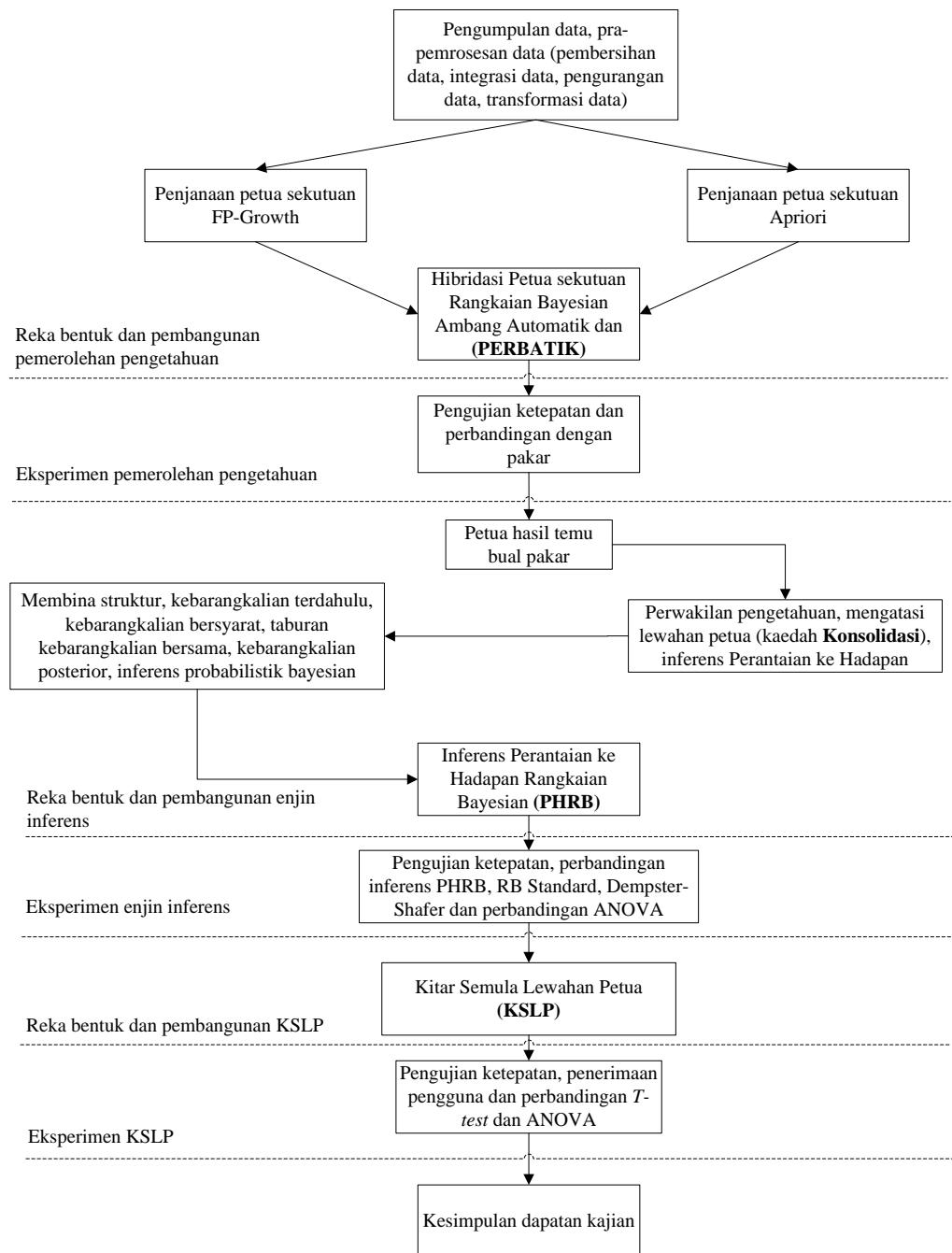
deduktif ialah satu pendekatan pemikiran yang dimulakan mengkaji hal-hal biasa dan diteruskan kepada hal yang khusus. Sistem pakar di bidang perubatan khususnya bidang penyakit mata masih lagi menjadi fokus penyelidikan sekarang ini dan perlu penambahbaikan daripada segi penjanaan petua, inferens yang tidak kukuh dan komponen penjelasan yang tidak disediakan.

Strategi yang dijalankan pada kajian ini ialah pendapat dan eksperimen (Amaratunga et al. 2002). Pandangan, penilaian dan pendapat para pakar bidang perubatan diperlukan sebagai strategi dalam melakukan penyelidikan. Seterusnya, strategi pendapat ini juga dijalankan dengan melakukan temu bual pakar, soal selidik, *delphi* dan sumbang saran. Manakala eksperimen dijalankan dengan simulasi dan analisis hasil eksperimen. Oleh itu, pendekatan kajian yang digunakan dalam penyelidikan ini ialah berdasarkan kepada penyelidikan eksperimental yang mengikut kepada model Kitaran Hidup Pembangunan Sistem Pakar (KHPSP). Metodologi kajian ini mempunyai lima fasa iaitu: mengenal pasti masalah, kajian kesauran, reka bentuk dan pembangunan, pengujian dan analisis hasil dan fasa akhir ialah dokumentasi seperti pada Rajah 3.1.

Fasa III Reka bentuk, pembangunan dan Fasa dan IV bahagian Eksperimen dijelaskan lebih rinci pada Rajah 3.2. Rajah 3.2 menjelaskan reka bentuk, pembangunan dan eksperimen pemerolehan pengetahuan, reka bentuk eksperimen enjin inferens dan reka bentuk eksperimen pengeksploitasi lewahan petua.



Rajah 3.1 Metodologi penyelidikan sistem pakar diagnosis penyakit mata



Rajah 3.2 Fasa III dan IV Reka bentuk, pembangunan dan Eksperimen sistem pakar diagnosis mata

### 3.2 FASA I: MENGENAL PASTI MASALAH

Penyelidikan sistem pakar pada bidang penyakit mata masih menjadi pusat perhatian para penyelidik (Pannu & Student 2015). Berdasarkan ulasan pembangunan sistem pakar dari tahun ke tahun, didapati bahawa penyakit mata adalah satu kajian kes yang mendapat perhatian dalam sistem pakar bidang perubatan. Berdasarkan kajian tersebut, pembangunan sistem pakar penyakit mata berasaskan petua setakat menggunakan CLIPS, manakala enjin inferens yang digunakan ialah Perantaian ke Hadapan.

Pembangunan sistem pakar berasaskan petua telah banyak dibangunkan. Sistem pakar berasaskan petua memiliki banyak kelebihan (Gufar & Qamar 2015), antaranya adalah membolehkan menghimpun pengetahuan dan pengembangan sistem pakar yang dilakukan dengan cara yang mudah. Petua yang didapatkan memberikan penjelasan yang lebih mudah. Banyak penyelidikan yang menunjukkan bahawa petua ini adalah cara semula jadi bagaimana manusia menyelesaikan masalah. Petua menjadikannya mudah untuk menerangkan struktur pengetahuan kepada pakar.

Walaupun demikian, kesalahan semasa fasa pemerolehan pengetahuan akhirnya boleh membawa kepada kesalahan dalam membuat keputusan dan sistem pakar tidak berfungsi dengan baik. Oleh itu, masalah utama dalam sistem pakar berasaskan petua ialah ralat petua atau hingar. Peraturan dan petua-petua yang dihasilkan adalah salah yang berpunca dari kesalahan semasa pemerolehan pengetahuan, konflik kepentingan dan masa yang diperlukan untuk temu bual dengan pakar.

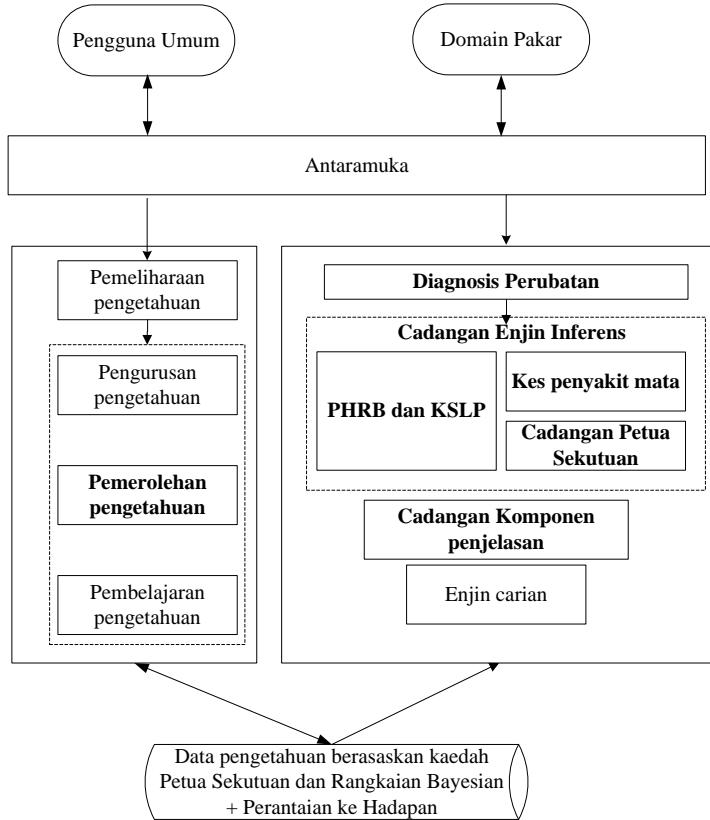
Diagnosis perubatan merupakan kes yang rumit, sehingga perlu penambahbaikan pada pembinaan pangkalan pengetahuan guna menyediakan kaedah yang berdaya maju pada kes yang rumit (Zhang et al. 2017). Sistem pakar penyakit mata juga memerlukan kaedah penjanaan pengetahuan automatik yang berkesan dan penaakulan yang kukuh serta menyediakan nilai kebarangkalian sebagai pertimbangan bagi pengguna.

Penambahbaikan juga perlu dilakukan pada komponen enjin inferens. Enjin inferens sudah digunakan sejak sistem pakar dibangunkan pertama kali (MYCIN). Sistem pakar tradisional menggunakan enjin inferens seperti Perantaian ke Hadapan. Antara kelebihan Perantaian ke Hadapan ialah boleh menghasilkan maklumat yang banyak walaupun menggunakan data yang sedikit. Walaupun kaedah inferens sistem pakar tradisional masih digunakan sekarang ini, tetapi dianggap tidak berkesan apabila berdepan dengan masalah yang kompleks seperti diagnosis perubatan. Pengguna akan keliru dengan keputusan yang dihasilkan.

Oleh itu diperlukan kaedah statistik sebagai kaedah inferens. Enjin inferens tradisional sistem pakar tidak boleh memberikan peratusan kemungkinan atau kebarangkalian seseorang terjangkit suatu penyakit. Kebarangkalian ini sangat diperlukan untuk memberikan pertimbangan, diagnosis dini dan pengubatan seawal mungkin.

Sumber pengetahuan yang pelbagai turut menghasilkan banyak petua yang lewah. Di sisi lain, lewahan petua dapat dieksloitasi untuk mempertingkatkan kebarangkalian inferens yang berasaskan statistik. Petua yang lewah bermakna petua tersebut adalah kuat dan seharusnya menghasilkan kebarangkalian yang juga besar. Nilai kebarangkalian yang dihasilkan oleh kaedah inferens semestinya sehaluan dengan darjah kepercayaan pakar. Pengeksplotasian petua dengan kitarsemula petua yang lewah untuk meningkatkan ketepatan diagnosis sistem pakar perlu diterokai, disebabkan kajian terdahulu semata mata hanya menjelaskan kekurangan lewahan petua terhadap prestasi sistem pakar.

Selain itu, pembangunan sistem pakar berasaskan petua juga harus memenuhi dua kriteria dasar bagi mewujudkan sistem pakar yang boleh dipercayai seperti aspek ketelusan dan fleksibiliti. Sebahagian sistem pakar yang dibangunkan tidak mengutamakan komponen penjelasan, sedangkan aspek tersebut sangat penting terutamanya pada sistem pakar perubatan bagi mendapatkan sistem pakar yang dapat dipercayai, telus dan fleksibel. Oleh itu dalam kajian ini dicadangkan sistem pakar diagnosis penyakit mata seperti Rajah 3.3 berikut ini.



Rajah 3.3 Seni bina cadangan enjin inferens Rangkaian Bayesian dan pemerolehan pengetahuan menggunakan pendekatan hibrid untuk sistem pakar penyakit mata

### 3.3 FASA II: KAJIAN KESAURAN

Pemeriksaan kesihatan mata merupakan langkah yang perlu diambil bagi memastikan mata sentiasa sihat serta menghindari daripada pelbagai jenis penyakit mata. Untuk mendapatkan diagnosis yang tepat, maka pemeriksaan dilakukan oleh pakar penyakit mata atau disebut dengan oftalmologi. Walaupun demikian, masih terdapat banyak sebab yang menjadi halangan dan kesulitan untuk melakukan pemeriksaan mata oleh pakar mata, iaitu:

1. Tidak semua orang boleh melakukan pemeriksaan mata kepada pakar mata kerana masalah kewangan dan kesukaran pengangkutan untuk berjumpa pakar mata yang kebanyakannya lebih tertumpu di bahagian bandar sahaja. Oleh itu, ramai pesakit yang tidak mendapatkan perhatian dan tindakan yang sewajarnya dalam menangani penyakit tersebut.

2. Kepakaran yang dimiliki pakar mata tidak kekal lama dan boleh hilang disebabkan oleh kematian, persaraan, atau pemindahan pekerjaan. Pakar mata mungkin dipengaruhi oleh beberapa faktor yang boleh mempengaruhi keputusan.
3. Kepakaran diperlukan juga bagi sesuatu kawasan yang tidak aman.
4. Jumlah pakar mata berkurangan jika dibandingkan dengan masalah yang sedia ada.

Walaupun kini sistem pakar penyakit mata telah dibangunkan, tetapi ianya masih mempunyai kekangan dan berpotensi untuk ditambah baik seperti:

1. Berdasarkan kajian kesusasteraan, pembangunan sistem pakar penyakit mata perlu ditambahbaikkan kerana semata mata menggunakan CLIPS (*C Language Integrated Production System*) dan berasaskan petua sahaja. Manakala enjin inferens yang digunakan ialah kaedah inferens tradisional.
2. Diperlukan teknik yang boleh menjana petua sepenuhnya automatik dalam proses pemerolehan pengetahuan sistem pakar diagnosis penyakit mata.
3. Enjin inferens masih berpotensi dan masih mempunyai ruang untuk dipertingkatkan.
4. Diperlukan sistem pakar yang telus, fleksibel, dipercayai dan berkesan bagi pengguna.

Kekangan tersebut menyebabkan pesakit kurang optimum dalam mendapatkan rawatan penyakit mata. Masalah-masalah yang timbul daripada keadaan semasa mewujudkan adanya satu kajian mengenai kaedah-kaedah baharu yang dapat meningkatkan keberkesanan dan penaakulan sistem pakar yang lebih kukuh.

### **3.4 FASA III: REKA BENTUK DAN PEMBANGUNAN**

Reka bentuk dan pembangunan dalam kajian ini terbahagi kepada tiga bahagian iaitu: pemerolehan pengetahuan dengan kaedah hibrid Petua Sekutuan, Posterior Bayesian dan Ambang Automatik (PERBATIK), penaakulan enjin inferens menggunakan kaedah hibrid Perantai ke Hadapan dan Rangkaian Bayesian (PHRB) berserta Kitar

Semula Lewahan Petua (KSLP). Jadual 3.1 menunjukkan perincian aktiviti reka bentuk eksperimen.

Jadual 3.1      Senarai aktiviti penyelidikan

No.	Masukkan	Aktiviti	Keluaran
1.	Pelbagai kertas rekod perubatan manual	1.1. Mendigitalkan data rekod perubatan 1.2. Menyatukan data rekod	data rekod perubatan digital
2.	Pra pemrosesan	2.1. Pra pemrosesan: 2.2. Pemilihan atribut 2.3. Mengatasi nilai yang hilang 2.4. Transformasi	data rekod perubatan hasil pra-pemrosesan
3.	Data rekod perubatan hasil pra-pemrosesan	Penjanaan petua automatik dengan FP-Growth: 3.1. Membina pola kekerapan 3.2. Membina asas kekerapan bersyarat 3.3. Menentukan struktur FP bersyarat 3.4. Membina kekerapan sekumpulan item 3.5. Menapis petua berdasarkan nilai sokongan, <i>anteseden</i> , <i>konsekuensi</i> , nilai keyakinan dan nisbah angkat	petua terbaik daripada FP-Growth
4.	data rekod perubatan yang bersih	Penjanaan petua automatik dengan Apriori: 4.1. Membina pola kekerapan item dan sokongan 4.2. Membina bakal item 4.3. Membina kekerapan item 4.4. Menapis petua berdasarkan <i>anteseden</i> , <i>konsekuensi</i> , nilai keyakinan dan nisbah angkat	petua terbaik daripada Apriori
5.	Integrasi petua FP-Growth dan Apriori	Integrasi petua: 5.1. Kaedah Posterior Rangkaian Bayesian dan Ambang Automatik (PERBATIK) 5.2. Mengintegrasikan multi-sumber petua	petua terbaik oleh PERBATIK
6.	petua terbaik oleh PERBATIK	6.1. Penilaian dan pengesahan oleh pakar	Petua bersepada penjanaan automatik peringkat akhir
7.	Petua dari hasil temu bual pakar	7.1. Perwakilan pengetahuan	Sekumpulan petua konvensional
8.	Petua bersepada penjanaan automatik peringkat akhir dan petua konvensional	8.1. Kaedah produksi Perantaian ke Hadapan	Petua bersepada (FP-Growth + Apriori + konvensional) yang telah disusun

bersambung...