

HIBRIDISASI ALGORITMA UMPAMA ALIRAN AIR DENGAN
GELINTIRAN PEMBOLEHUBAH KEJIRANAN UNTUK
MASALAH JURUJUAL KEMBARA

MOHAMED RAFIQUE BIN OTHMAN

DISERTASI YANG DIKEMUKAKAN UNTUK MEMENUHI SEBAHAGIAN
DARIPADA SYARAT MEMPEROLEHI IJAZAH SAINS KOMPUTER
(KEPINTARAN BUATAN)

FAKULTI TEKNOLOGI DAN SAINS MAKLUMAT
UNIVERSITI KEBANGSAAN MALAYSIA
BANGI

2018

PENAKUAN

Disertasi yang ditulis adalah hasil kerja saya. Karya-karya atau nukilan-nukilan spesifik yang diguna sebagai rujukan telah dinyatakan sumbernya. Penghasilan tesis harus diikuti dengan niat yang tulus bagi memperoleh keberkatan yang Maha Esa.

10 APRIL 2018

MOHAMED RAFIQUE BIN OTHMAN
P68512

PENGHARGAAN

“Bismillahir-rahmanir-rahim”, “Alhamdulillah”. Waktu berlari dengan pantas. Detik, jam, hari, minggu, bulan dan tahun terus beredar dalam kealpaan atau sedar. Dalam suasana keinsafan ini, saya ingin melahirkan segala kesyukuran kepada Allah, kerana dengan limpah kurnia rahmat dan kasih sayangNya, saya dapat menyempurnakan kajian saya ini. Setinggi penghargaan dan terima kasih saya rakamkan khas untuk penyelia saya Prof. Madya Dr. Zulaiha Ali Othman. Tanpa jemu, beliau bertali arus melontarkan nasihat dari setiap penjuru, termasuk dorongan, bantuan dan keprihatinan kepada saya semasa menyempurnakan tesis ini. Terima kasih atas kesudian beliau terhadap pandangan, hujahan dan panduan semasa menganalisis data kajian termasuk saranan yang dikemukakan oleh beliau untuk memurnikan dan menentusahkan instrumen kajian. Saya terharu atas jasa dan teladan yang tersingkap. Beliau berjiwa pendidik, suatu permata untuk fakulti ini. Kesabaran beliau terhadap insan ini adalah sesuatu yang luar biasa, seperti kasih seorang ibu terhadap anak.

Tidak lupa juga jasa yang telah disumbangkan oleh Prof. Madya Dr. Shahnorbanun Sahran, selaku ketua CAIT. Beliau turut berperanan sebagai pemeriksa dalaman untuk tesis ini. Jasa dan usaha beliau amat bermakna. Saya turut ingin merakamkan jutaan terima kasih kepada kakitangan Unit Pengurusan Siswazah (UPS), makmal dan Pusat Penyelidikan Teknologi Kecerdasan Buatan (CAIT) di Fakulti Teknologi Sains dan Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia di atas sokongan yang diberi selama ini. Penelitian dan usaha untuk memahami situasi saya selama ini oleh semua pihak membuatkan saya terharu. Itu begitu bermakna bagi insan kerdil ini walau pun kita tidak selalu berkomunikasi apatah lagi bersua muka. Jasa kalian akan terus dikenang hingga ke akhir hayat.

Tesis ini turut dititipkan buat bonda yang tersayang Rashidah Bte Othman. Begitu juga kepada Bella Bte Mohd Said Hail, Muhammad Fauzi Bin Abdullah, Norilawati Md Jali, Atikah Hanifah, Jasmin Binti Muhamad Bostamam, Wu Diyi, Ayman Srour, Shafinah Binti Kamaruddin, Mohd Firdaus Bin Mohd Nasir, Raha Othman sekeluarga, Nashraf Ideen Bin Nahar, Hj. Samsukamal Bin Sulong sekeluarga, Sharifah Nisrinah Syed Ahmad dan En. Safrin Omar. Juga kepada semua hati-hati yang ingin melihat insan ini berjaya mengejar impiannya. Sedarilah, kita semua akan melalui pentas bicara dan didikan Tuhan menerusi pentas ujian. Kesemuanya, apabila insan bertawakal kepada Allah, ada hikmah yang melimpah dan rahsia yang penuh kurnia. Semoga tesis ini memberikan sumbangannya yang tersendiri.

ABSTRAK

Pelbagai kaedah metaheuristik telah dibina dan diaplikasi untuk menyelesaikan domain MJK. Antara kaedah yang berpotensi ialah metaheuristik kategori populasi. Algoritma Umpama Aliran Air (AAA) adalah satu contoh metaheuristik kategori ini. Beberapa hasil dari kajian lalu membuktikan AAA memiliki potensi setelah mencatatkan keputusan-keputusan solusi yang baik menerusi jentera eksploitasinya. Namun, prestasi eksploitasi AAA dilihat terhad disitu dan mampu ditingkatkan lagi. Sehubungan itu, objektif kajian ini dikendalikan adalah untuk meningkatkan prestasi eksploitasi AAA melalui kaedah hibrid yang melibatkan gabungan 2 metaheuristik iaitu AAA dan Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK). Elemen utama GPK ialah operasi-operasi carian tempatan dan kajian telah membuktikan keberkesanan GPK dalam meningkatkan prestasi eksploitasi metaheuristik. Dalam kajian ini, dua eksperimen terlibat. Eksperimen pertama melibatkan pemerhatian prestasi terhadap lima operasi carian tempatan: 2-opt, 3-opt, 4-opt, Pemasukan, dan Pertukaran. Dalam eksperimen ini, 3 set piawai masalah MJK simetri diguna. Setiap set mewakili set data berskala kecil, set data berskala sederhana dan set data berskala besar. Prestasi yang diperolehi oleh semua operasi carian tempatan dalam peringkat ini akan diterjemah dan dinilai. Hanya empat operasi carian tempatan akan dipilih untuk menjadi struktur GPK sebagai jentera untuk eksperimen sebenar. Setelah selesai proses penentuan empat operasi carian tempatan, eksperimen sebenar bermula. Sebanyak 26 set piawai masalah MJK simetri terlibat dalam eksperimen ini. Fokus pemerhatian adalah terhadap prestasi solusi yang diperolehi. Setelah dinilai, AAA-GPK memberikan keputusan solusi yang baik berbanding AAA disamping berjaya mengekalkan prestasi rekod terbaik masa kini. Perbandingan turut dilakukan terhadap metaheuristik hibrid yang lain. Prestasi solusi AAA-GPK dilihat kompetitif kerana jurang perbezaan tidak ketara. Secara keseluruhan, AAA berpotensi untuk ditambah baik kerana memiliki elemen-elemen yang tidak sensitif apabila mengalami proses penghibridan dengan algoritma lain. Secara jelas, terdapat elemen-elemen dalam AAA yang mampu ditingkat untuk mencapai kadar keseimbangan penerokaan dan eksploitasi. Disamping itu, AAA wajar diketengah sebagai salah satu algoritma yang berupaya memberikan sumbangan yang tersendiri dalam usaha memperkasa metaheuristik.

A HYBRID WATER FLOW-LIKE ALGORITHM AND VARIABLE NEIGHBORHOOD SEARCH FOR TRAVELING SALESMAN PROBLEM

ABSTRACT

Various metaheuristic methods have been proposed and applied for solving TSP. Some methods are population-based, a family of swarm intelligence (SI) metaheuristic. Water Flow Algorithm (WFA) is one of the examples of population based metaheuristic and has shown to be one of capable and promising algorithm in solving Travelling Salesman Problem (TSP). Past work has shown that WFA been improving its local search. But there are still room of improvement. Numbers of techniques emerge. This thesis aims to improve its local search by using a hybrid technique combining WFA-VNS. At glimpse, Variable Neighbourhood Search (VNS) is capable of increases the performance of exploration search space in TSP via its local searches. It has the ability to exploit efficiently the initial solution obtained earlier by using neighbourhood structures which changes systematically while searching. This research conducted in two phases: pre-experiment and initial experiment. The objective of pre-experiment is to identify what local search best for VNS for the initial experiment. In this phase, 5 local searches involve: 2-opt, 3-opt, 4-opt, Swapping and Insertion Move. These local searches will be tested against 3 datasets: small dataset, medium dataset and large dataset. Only four will be selected and turn out to be VNS. In initial experiment, the performance WFA-VNS is verified on 26 TSP standard benchmark datasets. The main aspect to concentrate is the solution obtained. The empirical results demonstrate that WFA-VNS has outperformed WFA in terms of best solution obtained. In our further comparison with different algorithms and other hybrid WFA, it appears that WFA-VNS showed a competitive result.

KANDUNGAN

PENGAKUAN		ii
PENGHARGAAN		iii
ABSTRAK		iv
ABSTRACT		v
KANDUNGAN		ii
SENARAI JADUAL		ix
SENARAI ILUSTRASI		x
SENARAI SINGKATAN		xii
BAB I	PENDAHULUAN	
1.1	Pengenalan	1
1.2	Latar Belakang Kajian	2
1.3	Penyataan Masalah	3
1.4	Persoalan Kajian	4
1.5	Objektif Kajian	4
1.6	Skop Kajian	4
1.7	Metodologi	4
1.8	Organisasi Tesis	5
BAB II	SOROTAN SUSASTERA	
2.1	Pengenalan	6
2.2	Pemasalahan Kombinatorik dan Kaedah Mengoptimum	6
2.3	Kompleksiti Masalah	7
2.4	Kaedah Mengoptimum	8
2.5	Metaheuristik	9
	2.5.1 Klasifikasi Metaheuristik	12
2.6	Algoritma Umpama Aliran Air (AAA)	14
	2.6.1 Struktur Asas AAA	15
2.7	Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK)	19
	2.7.1 Konsep Asas GPK	20
2.8	Masalah Domain: Masalah Jurujual Kembara (MJK)	22
2.9	Hibrid Antara Metaheuristik	24

2.9.1	Klasifikasi Metaheuristik Hibrid	24
2.9.2	Penyelesaian MJK Melalui Kaedah Hibrid	27
2.9.3	Penyelesaian MJK menggunakan AAA-GT	28
2.9.4	Penyelesaian MJK menggunakan AAA-AP	30
2.10	Operasi- Operasi Tempatan Yang Berpotensi	31
2.11	Ringkasan	34
Bab III	METODOLOGI KAJIAN	
3.1	Pengenalan	35
3.2	Metodologi Kajian	35
3.3	Fasa Mengenalpasti Masalah	36
3.4	Fasa Pembangunan Algoritma: Fasa I	37
3.5	Fasa Pra Eksperimen: Pemilihan Operasi-Operasi Carian Tempatan	38
3.5.1	Set Data MJK	39
3.5.2	Eksperimen	40
3.5.3	Output Eksperimen	41
3.6	Fasa Pengubahan Algoritma: Fasa II	43
3.7	Fasa Eksperimen dan Penilaian	43
3.8	Ringkasan	45
BAB IV	METAHEURISTIK HIBRID ALGORITMA UMPAMA ALIRAN AIR DENGAN GELINTIRA PEMBOLEHUBAH KEJIRANAN UNTUK MASALAH JURUJUAL KEMBARA	
4.1	Pengenalan	46
4.2	Pra-Eksperimen: Pemilihan Operasi Carian Tempatan untuk GPK	46
4.3	Hibrid Algoritma Umpama Aliran Air Dengan Gelintiran Pembolehubah Kejiranan Untuk Masalah Jurujual Kembara	48
4.4	Ringkasan	54
BAB V	KEPUTUSAN DAN ANALISA	
5.1	Pengenalan	56
5.2	Keputusan Dan Penilaian Prestasi AAA-GPK	57
5.2.1	Set Data Berskala Kecil	57
5.2.2	Set Data Berskala Sederhana	64
5.2.3	Set Data Berskala Besar	72
5.2.4	Imbasan Terhadap Catatan Masa Dan Purata Untuk Semua Set Data	79
5.3	Perbandingan Prestasi AAA-GPK dengan Algoritma Lain	81
5.4	Perbandingan Prestasi AAA-GPK dengan Hibrid AAA yang lain: AAA-GT (2-opt & 3-opt), AAA-AP	85

5.5	Ringkasan	86
BAB VI	KESIMPULAN DAN KAJIAN MASA DEPAN	87
6.1	Pengenalan	87
6.2	Penyataan Pencapaian Objektif	87
6.3	Kesimpulan Kajian	87
6.4	Sumbangan Penting Kajian	88
6.5	Batasan Kajian dan Cadangan Penambahbaikan	88
Lampiran A	Perbandingan Solusi Hasil Saringan	94

SENARAI JADUAL

No. Jadual		Halaman
Jadual 2.1	Kaedah Hibrid Untuk MJK	27
Jadual 3.1	Senarai Kelas Java Yang Dibina Untuk AAA-GPK	38
Jadual 3.2	Saiz Untuk Setiap Kategori Set Data	40
Jadual 3.3	Tetapan Eksperimen	40
Jadual 3.4	Maklumat-Maklumat Yang Diterjemah Dan Dinilai	42
Jadual 3.5	Contoh Keputusan Untuk Satu Pusingan Eksperimen	42
Jadual 3.6	Contoh Keputusan Akhir Untuk Pusingan Lengkap Eksperimen	43
Jadual 4.1	Skor Sisihan Piawai Untuk Setiap Operasi Carian Tempatan Dalam Pra-Eksperimen	47
Jadual 5.1	Perbandingan Terperinci Prestasi Set Berskala Data Kecil	58
Jadual 5.2	Perbandingan Terperinci Prestasi Set Data Berskala Sederhana	66
Jadual 5.3	Perbandingan Terperinci Prestasi Set Data Berskala Besar	73
Jadual 5.4	Perbandingan Prestasi Solusi AAA Terhadap AAA-GPK, Cuckoo, M2-opt dan PSO-ACO-3-opt	83
Jadual 5.5	Perbandingan Prestasi Solusi AAA-GPK Terhadap Hibrid Yang Lain	83

SENARAI ILUSTRASI

No. Rajah		Halaman
Rajah 2.1	Klasifikasi Metaheuristik	12
Rajah 2.2	Carta Aliran Operasi AAA	16
Rajah 2.3	Carta Aliran Operasi GPK	21
Rajah 2.4	Metaheuristik Hibrid: Kategori Rekabentuk	25
Rajah 2.5	Operasi Carian Tempatan 2-opt	31
Rajah 2.6	Operasi Carian Tempatan 3-opt	32
Rajah 2.7	Operasi Carian Tempatan 4-opt	33
Rajah 3.1	Aktiviti-Aktiviti Untuk Setiap Fasa	36
Rajah 3.2	Contoh Set Data Euclidan MJK	39
Rajah 3.3	Tangkap Layar Spesifikasi Sistem	41
Rajah 3.4	Proses Penilaian	44
Rajah 4.1	Graf Bandingan Kestabilan Operasi-Operasi Carian Tempatan Terhadap 3 Set Data Yang Terlibat	48
Rajah 4.2	Carta Aliran Operasi Hibrid AAA-GPK	50
Rajah 4.3	Carta Aliran Operasi GPK	51
Rajah 4.4	Kod pseudo AAA-GPK untuk MJK	53
Rajah 4.5	Kod pseudo GPK	54
Rajah 5.1	Graf Perbandingan Sisihan Piawai Untuk Set Data Berskala Kecil	60
Rajah 5.2	Graf Perbandingan PPTerbaik Untuk Set Data Berskala Kecil	61
Rajah 5.3	Graf Solusi Terbaik AAA Untuk Set Data kroE100	62
Rajah 5.4	Graf Solusi Terbaik AAA Dan AAA-GPK Untuk Set Data kroE100	62
Rajah 5.5	Analisa Tingkahlaku AAA Dalam Proses Pencarian Solusi Untuk Set Data kroE100	63
Rajah 5.6	Analisa Tingkahlaku AAA-GPK Dalam Proses Pencarian Solusi Untuk Set Data kroE100	63
Rajah 5.7	Graf Perbandingan Sisihan Piawai Untuk Set Data Berskala Sederhana	67

Rajah 5.8	Graf Perbandingan PPTerbaik Untuk Set Data Berskala Sederhana	68
Rajah 5.9	Graf Solusi Terbaik AAA Untuk Set Data lin318	69
Rajah 5.10	Graf Solusi Terbaik AAA-GPK Untuk Set Data lin318	70
Rajah 5.11	Analisa Tingkahlaku AAA Dalam Proses Pencarian Solusi Untuk Set Data rat783	71
Rajah 5.12	Analisa Tingkahlaku AAA-GPK Dalam Proses Pencarian Solusi Set Data rat783	71
Rajah 5.13	Graf Perbandingan Sisihan Piawai Untuk Set Data Berskala Besar	74
Rajah 5.14	Graf Perbandingan PPTerbaik Untuk Set Data Berskala Besar	75
Rajah 5.15	Graf Solusi Terbaik AAA Untuk Set Data d1655	76
Rajah 5.16	Graf Solusi Terbaik AAA-GPK Untuk Set Data d1655	77
Rajah 5.17	Analisa Tingkahlaku AAA dan AAA-GPK Dalam proses Pencarian Solusi Untuk Set Data d1655	78
Rajah 5.18	Perbandingan Catatan Masa Untuk Semua Set Data	79
Rajah 5.19	Peratus Penyisihan Purata AAA dan AAA-GPK Untuk Set Data Berskala Kecil	80
Rajah 5.20	Peratus Penyisihan Purata AAA dan AAA-GPK Untuk Set Data Berskala Sederhana	81
Rajah 5.21	Peratus Penyisihan Purata AAA dan AAA-GPK Untuk Set Data Berskala Besar	81

SENARAI SINGKATAN

MJK	Masalah Jurujual Kembara	1
AAA	Algoritma Umpama Aliran Air	2
PKS	Pengoptimuman Koloni Semut	2
GPK	Gelintiran Pembolehubah Kejiranan	3
GT	Gelintiran Tabu	4
AKS	Algoritma Koloni Semut	14
AP	Algoritma Penyepuhlindungan	27
PP Purata	Purata Pengukuran Penyimpangan	45
PP Terbaik	Pengukuran Penyimpangan Terbaik	45

BAB 1

PENDAHULUAN

Bab ini membincang perihal kajian yang merangkumi latar belakang kajian, pernyataan masalah, persoalan kajian, objektif kajian, skop kajian, rangka kajian, dan organisasi tesis.

1.1 PENGENALAN

Berdekad, Masalah Jurujual Kembara (MJK) mendapat liputan dan kajian meluas terutama dalam bidang matematik dan sains komputer. Menurut teori kekompleksan pengiraan, MJK diklasifikasi sebagai model permasalahan sukar (*NP-Hard*). MJK ialah salah satu model masalah pengoptimuman kombinatorik. Penemuan-penemuan solusi daripada MJK telah banyak diaplikasi dalam industri. Pelbagai aspek dalam dunia nyata dimodel berdasarkan MJK, Permasalahan Pembungkusan Produk, Permasalahan Jadual Jururawat dan Permasalahan Pusingan Kenderaan. Secara umum, pengoptimuman kombinatorik dilihat sebagai satu kaedah untuk mengenalpasti metod-metod pencarian nilai terbaik dalam set-set data, sama ada nilai minimum atau nilai maksimum. Kebanyakan permasalahan yang dimodel dikategori sebagai permasalahan sukar, iaitu masa pencarian jawapan membesar secara eksponen terhadap saiz permasalahan $O(n!)$. Dalam erti kata lain, kombinasi penyelesaian kategori permasalahan seperti ini meningkat. Kaedah klasik seperti kaedah benar (*exact method*) tidak sesuai diguna kerana mengambil masa yang panjang untuk memperoleh keputusan yang baik. Oleh itu, metaheuristik dilihat berpotensi untuk menghasilkan resolusi yang baik. Kajian mengenainya berterusan dijalankan kerana hasilnya mampu memberi impak kepada pembangunan algoritma. Pelbagai aplikasi dalam pelbagai sektor seperti logistik, pembuatan cip dan perancangan telah meraih kekuatannya.

1.2 LATAR BELAKANG KAJIAN

Pengoptimuman algoritma merupakan suatu pengaturcaraan matematik, yang dibina dan diprogram untuk mendapatkan keputusan atau solusi terbaik, sama ada dapatan nilai terendah, atau nilai tertinggi secara teratur dan sistematik. Kajian yang dijalankan pula merupakan kajian ke atas salah satu model Pengoptimuman Kombinatorik, iaitu MJK. Algoritma yang dibina, diprogram untuk mencari nilai jarak atau kos yang terbaik. Sebanyak 26 set piawai masalah MJK simetri merangkumi 3795 buah bandar akan diuji oleh algoritma yang dicadang.

Metaheuristik yang diperkenalkan oleh Glover (Glover 1977) adalah salah satu disiplin untuk mencari kaedah-kaedah yang bernas dalam menyelesaikan permasalahan-permasalahan model Pengoptimum Kombinatorik. Algoritma-algoritma yang dibina ialah berstruktur dan bersistematik. Pelbagai algoritma metaheuristik berjaya diaplikasi untuk penyelesaian MJK dan usaha-usaha untuk mempertingkatkan mutu dan kualiti masih giat dipertingkatkan. Secara umum, terdapat dua aspek penting dalam metaheuristik iaitu penjelajahan ruang carian (*exploration/ diversification*) dan eksploitasi solusi (*exploitation/ intensification*). Penjelajahan berkait dengan pencarian keseluruhan ruang pencarian, untuk mendapatkan solusi terbaik. Manakala eksploitasi ialah mekanisma yang menambahbaik solusi yang telah dijumpai (Blum & Roli 2003). Kesimbangan kedua-dua aspek ini menjadi kayu ukur penentuan prestasi sesuatu metaheuristik. Metaheuristik diklasifikasikan kepada dua kategori iaitu metaheuristik berasaskan populasi (*Population-based*) dan metaheuristik berasaskan solusi tunggal (*Single Solution-based*). Metaheuristik berasaskan populasi mempunyai ciri penjelajahan yang baik. Manakala metaheuristik berasaskan solusi tunggal mempunyai ciri eksploitasi yang baik (Ayman 2013).

Prestasi AAA telah menunjukkan perkembangan yang baik dan mempunyai potensi untuk terus menghasilkan impak positif khususnya untuk MJK (Ayman 2013, Yang & Wang 2007). Kajian AAA-MJK (Ayman 2013) membuktikan prestasi AAA memberi keputusan yang lebih baik berbanding PKS (*Ant Colony System, ACS*), hibrid penyepuhlindapan (*Simulated Annealing, SA*), dan Teknik Optima Kumpulan Zarah (*Particle Swarm Optimization Technique, PSOT*). Terdapat satu kajian terhadap

MJK yang menggunakan kaedah hibrid. Dalam kajian itu, prestasi hibrid AAA-AP dan AAA disbanding dan dinilai. Hasil keputusan mendapati, hibrid AAA-AP telah mengatasi AAA dari aspek solusi (Dhwai & Othman 2016). Jelas di situ, potensi AAA dapat ditingkatkan melalui kaedah hibrid.

Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK) diperkenal oleh Mladenovic dan Hansen pada sekitar tahun 1997 (Eskandari dan Hosseinzaddeh 2013). Secara asas, kaedah GPK adalah berdasarkan pertukaran operasi-operasi carian tempatan secara sistematik. Melalui kaedah begini, lokal optima turut dapat dielak (Hansen dan Mladenovic 2003). Hasil-hasil kajian yang menggunakan GPK telah menunjukkan keputusan yang baik (Geiger et al 2011) (Yahya dan Salwani 2010) (Hansen dan Mladenovic 2003). Ini merupakan faktor utama GPK dihibrid bersama algoritma lain. Melalui GPK, proses eksploitasi iaitu proses menambahbaik solusi yang telah dijumpai (Blum & Roli 2003), berpotensi untuk menghasilkan solusi-solusi yang Kemungkinan ini wujud apabila kelebihan-kelebihan yang ada pada dua algoritma ini dieksploitasi secara berkaedah dan bersistematik (Blum et al. 2010).

Kajian ini mencadangkan kaedah hibridisasi, iaitu gabungan dua metaheuristik untuk penyelesaian MJK. Dua algoritma yang dicadang ialah Algoritma Umpama Aliran Air (AAA) dan Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK).

1.3 PENYATAAN MASALAH

Menurut kajian Ayman (2013), tahap prestasi eksploitasi AAA masih mempunyai potensi untuk mencapai prestasi eksploitasi yang baik. Tugas mengeksploitasi solusi awal (*global convergence*) dilihat lebih efisien jika diurus oleh algoritma lain. Operasi-operasi carian tempatan dilihat berpotensi untuk mengendalikan tugas mengeksploitasi solusi awal (*converge to local minima*). Disamping itu, kerjasama antara operasi-operasi carian tempatan mampu mengurus kesan penumpuan yang cepat (*converge*). Apabila kadar pencarian berulang tinggi, kos operasi pencarian kadar optima 'si' meningkat. Penumpuan tidak memberi kesan terhadap solusi yang terhasil, namun tahap efisien proses eksploitasi boleh terjejas.

1.4 PERSOALAN KAJIAN

PK1: Adakah AAA-GPK dapat meningkatkan prestasi eksploitasi AAA?

PK2: Sejauh mana AAA-GPK dapat mengatasi prestasi eksploitasi beberapa kajian MJK yang menggunakan kaedah hibridisasi bersama AAA?

1.5 OBJEKTIF KAJIAN

1. Pemilihan operasi carian tempatan untuk GPK.
2. Melakukan hibridisasi algoritma AAA-GPK untuk MJK dan menilai prestasi solusi.

1.6 SKOP KAJIAN

Kajian ini meliputi pembangunan metaheuristik hibrid AAA-GPK untuk MJK. Prestasi algoritma yang dibina akan diuji dengan set data TSPLIB (Reinelt 1991). Terdapat 26 set data yang mempunyai 3 jenis skala: set data berskala kecil, set data berskala sederhana dan set data berskala besar. Set-set data ini mengandungi 51 hingga 1655 buah bandar. Aspek penting yang akan dilihat dan dinilai ialah prestasi solusi. Prestasi solusi AAA-GPK akan dilihat, dinilai dan dibanding dengan prestasi solusi AAA. Prestasi AAA-GPK turut dibanding ke atas beberapa prestasi kajian hibrid terkini iaitu AAA-GT 2-opt, AAA-GT 3-opt, dan algoritma Cuckoo.

1.7 METODOLOGI KAJIAN

Kajian berbentuk eksperimen ini dijalankan berdasarkan kaedah penyelidikan asas (Catherine 1996). Kajian ini merangkumi empat fasa utama: fasa mengenal kenal pasti masalah, fasa pembangunan algoritma, fasa eksperimen dan fasa pemerhatian serta penilaian. Pada fasa pertama, sorotan susastera dilaksana bertujuan mengenal pasti isu-isu berkaitan dengan kajian ini. Fasa kedua membabitkan pembangunan model. Beberapa faktor dipilih berdasarkan pada kajian lepas. Penilaian pakar turut dijadikan sumber bertujuan untuk memperhalusi takrifan terhadap faktor yang dipilih. Pembangunan algoritma ini turut merangkumi aktiviti justifikasi keperluan pembangunan algoritma, mereka bentuk, membangun dan melaksana pengujian. Fasa

eksperimen merupakan fasa penelitian secara sistematik. Set-set data yang dipilih akan diuji menggunakan algoritma yang dicadang. Penilaian dan rumusan kajian dibentang pada fasa terakhir, iaitu fasa pemerhatian dan penilaian.

1.8 ORGANISASI TESIS

BAB I: PENGENALAN pertama merupakan pendahuluan yang dimulakan dengan pengenalan kajian dan diikuti dengan penjelasan mengenai keseluruhan kajian ini secara umum. Latar belakang kajian dibentang, diikuti dengan pernyataan masalah. Seterusnya soalan dan hipotesis kajian, objektif kajian, skop kajian, dan diakhiri dengan Metodologi kajian.

BAB II: SOROTAN SUSASTERA membentangkan sejumlah tinjauan jurnal yang berkaitan dengan kerja kajian. Bab ini dimulai dengan perbentangan jurnal mengenai Masalah Pengoptimuman Kombinatorik dan seterusnya menjurus kepada teknik teknik yang ditelah diperkenal dan diguna sebelum ini untuk penyelesaian masalah tersebut. Kemudian, pembacaan mengenai metaheuristik dibentang secara umum sebelum menjurus lebih mendalam kepada teknik hibrid metaheuristik. Tinjauan yang menjurus kepada MKJ yang diselesaikan dalam kajian ini dibentang secara ringkas sebelum pembacaan jurnal yang berkaitan dengan algoritma yang dicadang.

BAB III: METADOLOGI membincangkan prosedur kerja yang terlibat dalam kajian ini. Metodologi kajian bertujuan membantu merangka keseluruhan pelan kajian. Manakala kaedah kajian pula membincangkan aspek-aspek berkaitan dengan kaedah yang diguna pakai dalam menjalankan kajian ini untuk setiap fasa bermula daripada fasa mengenal pasti masalah sehingga fasa analisa dan kesimpulan. Bab ini turut menerangkan pemilihan sampel data yang diguna.

BAB IV: PEMBANGUNAN ALGORITMA dimulai dengan pengenalan ringkas mengenai algoritma hibrid yang dicadang. Bab kecil seterusnya mengenai hibrid AAA-GPK yang merangkumi kod pseudo dan penerangan.

BAB V: KEPUTUSAN DAN ANALISA membentangkan keputusan eksperimen serta analisa lengkap terhadap prestasi AAA-GPK dan AAA. Perbandingan prestasi AAA-GPK terhadap algoritma-algoritma yang dicadang terdahulu turut dipersembah.

Kajian ini dirumus dalam **BAB VI: KESIMPULAN DAN CADANGAN**. Sumbangan, batasan, dan cadangan kajian untuk masa hadapan turut dihurai.

BAB II

SOROTAN SUSASTERA

2.1 PENGENALAN

Bab ini membincangkan keseluruhan aspek kajian untuk membantu mendapatkan kefahaman. Di awal bab, konsep asas metaheuristik dinyatakan. Perbincangan diteruskan dengan pernyataan asas kaedah-kaedah metaheuristik yang telah digunakan untuk memenuhi tuntutan-tuntutan terhadap model pengoptimuman kombinatorik. Selanjutnya, model yang menjadi tumpuan dalam kajian ini iaitu Masalah Jurujual Kembara (MJK) dikupas secara mendalam. Pendekatan yang digunakan dalam kajian ini ialah penghibridan, iaitu gabungan dua metaheuristik: Algoritma Umpama Aliran Air (AAA) dan Algoritma Gelintiran Pembolehubah Kejiranan (GPK). Untuk permulaan, tinjauan literatur mengenai masalah pengoptimuman kombinatorik dibentangkan. Diikuti dengan huraian-huraian kaedah metaheuristik, dan jenis metaheuristik yang digunakan dalam kajian-kajian MJK yang dijalankan sebelum ini. Prestasi-prestasi daripada kajian tersebut dinyatakan. Ini disusuli pembentangan tinjauan literatur mengenai dua algoritma yang dipilih untuk menyelesaikan MJK iaitu AAA dan GPK. Konsep asas kedua-dua algoritma ini dan keberkesannya dalam menyelesaikan beberapa masalah pengoptimuman berdasarkan kajian-kajian lalu dilihat dan dianalisa. Seterusnya, istilah penghibridan metaheuristik dan keupayaannya dalam meningkatkan kualiti pencarian penyelesaian dibentang. Beberapa contoh kajian yang menggunakan kaedah hibrid turut dinyatakan.

2.2 PERSPEKTIF PEMASALAHAN KOMBINATORIK

Perkembangan teknologi dan aplikasi yang merentasi kepelbagaian platform dan peranti semakin pesat berkembang. Ini menuntut perubahan yang seiring khususnya

dalam era sains komputer. Berikutan itu, kepakaran dalam menganalisa dan menyelesaikan sesuatu permasalahan menjadi elemen penting masa kini untuk kepentingan masa hadapan. Selaras dengan ini, salah satu cabang sains komputer iaitu pengoptimuman kombinatorik yang berterusan menjadi topik sensasi. Penyelesaian masalah-masalah kombinatorik secara efisien adalah matlamat utama. Hingga hari ini, kajian-kajian giat berjalan. Kerjasama antara universiti turut dimeterai demi mencapai objektif. Pengoptimuman kombinatorik adalah jalur yang penting terutamanya dalam bidang sains komputer dan matematik gunaan. Methodnya diaplikasi begitu meluas dalam pelbagai rutin industri dan masalah yang praktikal (Rong Huang et al. 2007).

Secara umum, pengoptimuman bermaksud kaedah mencari nilai optimal atau nilai hampir kepada optimal, sama ada nilai itu adalah maksimum atau minimum dalam ruang-ruang pencarian yang ditetapkan. Manakala pengoptimuman dalam bidang sains komputer merujuk kepada pengaturcaraan matematik atau algoritma, direka bertujuan untuk menjana dan memilih nilai terbaik secara sistematik. Masalah pengoptimuman di kategorikan kepada dua kategori utama iaitu pengoptimuman diskrit dan pengoptimuman berterusan. Pengoptimum diskret merujuk kepada pemilihan elemen yang terbaik dari beberapa set data. Manakala pengoptimuman berterusan merupakan ruang pencarian yang tidak tetap, tetapi nilai optimum perlu diberi dan ditetapkan (Dreo et. al 2003). Kajian ini memfokuskan kepada masalah pengoptimuman diskrit.

2.3 KOMPLEKSITI MASALAH

Kerumitan pengiraan sesuatu masalah adalah berbeza. Masalah yang ringkas berupaya memberi solusi yang optimum dalam masa yang berpatutan. Sebaliknya, masalah yang sukar memerlukan masa yang lama. Untuk mendapatkan solusi optimum juga sukar. Menurut garis panduan bidang teori kekompleksan pengiraan (*Computational complexity Theory*), kerumitan sesuatu masalah boleh ditakrif kepada dua kelas utama iaitu P (*Polynomial Time*) and NP (*Non-Deterministic Polynomial Time*). Ini berdasarkan kepada persoalan “bagaimana masa yang diambil untuk menyelesaikan sesuatu masalah berubah mengikut saiz masalah”. Dalam bidang sains komputer dan

matematik, teori ini menghuraikan keupayaan dan kerumitan sesuatu algoritma untuk menyelesaikan sesuatu masalah tertentu. Persoalan “jika saiz masukkan sesuatu algoritma bertambah, bagaimana peruntukan masa yang untuk menyelesaikan masalah tersebut? Apakah implikasi terhadap perubahan itu?” menjadi satu persoalan yang perlu dianalisa dengan kritis.

Secara ringkas, kelas P merupakan set masalah yang dapat diselesaikan dalam masa polinomial. Sesuatu masalah algoritma dapat diselesai dalam masa polinomial andai jumlah langkah-langkah yang diperlukan untuk sesuatu masukan berdasarkan $O(n^k)$ k ialah integer positif dan n ialah kerumitan masukkan. Manakala Kelas NP merupakan kelas masalah yang tidak semestinya dapat diselesaikan dalam masa polinomial tetapi sekiranya jawapan diberikan, dan kebenaran jawapan itu dapat dibuktikan dalam masa polinomial. Masalah kelas P juga tergolong di dalam kelas NP kerana jawapan kepada kelas P semestinya dapat dibuktikan kebenarannya dalam masa polinomial. Selain itu, masalah kelas *NP Complete* ialah masalah kelas NP, Y yang dapat diringkaskan kepada masalah kelas P, X bagi memudahkan pencarian cara penyelesaian kepada masalah tersebut. Sekiranya cara penyelesaian masalah X dapat dicari, cara tersebut boleh digunapakaikan untuk menyelesaikan masalah Y. Masalah kelas *NP Hard* merupakan kelas masalah yang sukar untuk mendapatkan pengesahan jawapan dalam masa polinomial . Ia juga tidak semestinya tergolong dalam kelas NP. Masalah *NP Hard* yang tergolong dalam kelas NP juga digolongkan dalam kelas *NP Complete*. Kebanyakan masalah pengoptimum kombinatorik tergolong dalam kelas *NP Complete* dan *NP Hard*, di mana pencarian solusi optimum bagi masalah kelas ini adalah sangat sukar.

2.4 KAEDAH MENGOPTIMUM

Berdekad, pelbagai kaedah optimisasi untuk masalah pengoptimuman kombinatorik telah dihasilkan (Cormen et al. 2009; Gen 2010; Hromkovic 2010; Talbi 2009; Weise 2009). Semua kaedah adalah berbeza dari sudut kualiti, sifat algoritma, dan model masalah. Berikut adalah kaedah-kaedah penyelesaian yang wujud: Kaedah Tepat (*Exact Method*), Kaedah Anggaran (*Approximate Method*), dan Kaedah Heuristik. Kaedah Tepat memberikan penyelesaian yang optimum dengan mempertimbangkan

semua kemungkinan penyelesaian dalam sesuatu ruang pencarian masalah, namun tidak praktikal digunakan untuk masalah pengoptimuman kombinatorik. Ini kerana peruntukan masa yang diambil untuk mendapatkan penyelesaian terbaik mengambil masa yang panjang.

Kaedah anggaran pula digunakan untuk mencari anggaran solusi bagi masalah yang boleh diselesaikan menggunakan kaedah tepat dalam masa polinomial. Walaubagaimanapun, kaedah ini menelan kos yang tinggi kerana mengandungi set data yang besar. Dalam kaedah anggaran, nilai anggaran telah ditetapkan dan pencarian solusi dianggap selesai dan berjaya sekiranya solusi yang dijumpai menyamai nilai anggaran. Secara ringkasnya, kaedah anggaran hanya boleh digunakan sekiranya solusi optima kepada permasalahan itu diketahui. Manakala kaedah heuristik pula digunakan untuk menyelesaikan masalah pengoptimuman kombinatorik tahap bukan-polinomial sukar (*NP Hard*). Masalah kelas ini tidak dapat diselesaikan menggunakan kaedah tepat untuk mencari solusi yang optima. Walaubagaimanapun, sukar untuk membina algoritma yang efisien untuk mendapatkan nilai optimal yang memuaskan (Rong Huang et al. 2007).

Kaedah heuristik tidak dapat menjamin pencarian solusi yang optimum tetapi lebih praktikal diguna untuk memperoleh solusi yang berkualiti, dan dalam masa yang munasabah. Kaedah heuristik beroperasi melalui pengetahuan dan pengalaman dalam pencarian solusi optimal melalui kriteria yang ditetapkan pada had masa atau had lelaran. Kaedah heuristik juga hanya terhad kepada model masalah yang spesifik. Setelah beberapa ketika, metaheuristik diperkenalkan untuk meningkatkan prestasi heuristik bagi mencari penyelesaian yang efektif terhadap pelbagai masalah pengoptimuman kombinatorik. Kaedah metaheuristik telah mendapat perhatian para akademik dan pengkaji. Bahkan menjadi lebih popular berbanding kaedah lain.

2.5 METAHEURISTIK

Heuristik ialah suatu pendekatan yang terhad, tertumpu hanya kepada model masalah yang khusus, tidak seperti metaheuristik yang berupaya menyelesaikan hampir semua masalah pengoptimuman kombinatorik (Vahid Zharfi & Abolfazl Mirzazadeh 2013).

Apakah maksud metaheuristik? Metaheuristik ialah gabungan perkataan yang berasal daripada Greek, membawa erti ‘pencarian pada peringkat yang seterusnya’. Pada suatu ketika, metaheuristik turut dikenali sebagai Heuristik Moden (Reeves 2003). Asal perkataan ‘metaheuristik’ adalah daripada aliran Kepintaran Buatan (*Artificial Intelligence*). Metaheuristik ialah algoritma yang dibina untuk menyelesaikan masalah pengoptimuman kombinatorik beraras sukar. Metaheuristik terdiri daripada strategi-strategi dan komponen-komponen untuk proses penerokaan (*exploration/diversification*) ruang pencarian bagi sesuatu masalah, kemudian mengeksploitasi (*exploitation/intensification*) solusi yang diperolehi. Dalam metaheuristik, terkandung struktur-struktur yang rumit dan strategi-strategi untuk mengatur gerak kerja proses pencarian solusi (Blum & Roli 2003).

Objektif metaheuristik adalah untuk memperolehi solusi optimal atau hampir optimal melalui proses penerokaan dan eksploitasi. Justeru, algoritma metaheuristik dibina untuk mencapai tujuan-tujuan tersebut iaitu meningkatkan prestasi penemuan solusi melalui strategi-strategi yang diyakini efisien dan dalam masa yang sama, turut berkemampuan mengelak daripada terperangkap dalam perangkap lokal optima dan berterusan menerokai ruang-ruang carian (Blum & Roli 2003). Secara umum, terdapat 2 jenis metaheuristik iaitu metaheuristik berasaskan semulajadi dan metaheuristik tidak berasaskan semulajadi.

Menurut Blum dan Roli (2003), metaheuristik memiliki beberapa komponen utama iaitu:

- i) Metaheuristik ialah binaan strategi-strategi yang efektif untuk proses penerokaan.
- ii) Tujuan metaheuristik adalah untuk menjelajahi ruang-ruang pencarian secara efektif untuk mendapatkan solusi optimal atau hampir optimal. Proses pencarian tidak hanya terbatas pada suatu ruang pencarian.
- iii) Metaheuristik ialah suatu pendekatan dan tidak semestinya bersifat deterministik.
- iv) Metaheuristik bersifat umum. Kaedahnya dapat diguna dalam pelbagai bentuk penerokaan.

- v) Metaheuristik menggunakan domain pengetahuan khusus dalam bentuk heuristik yang berstruktur dan berstrategi
- vi) Metaheuristik berupaya menggunakan pengalaman yang diperoleh semasa proses pencarian terdahulu untuk meneruskan proses penerokaan.

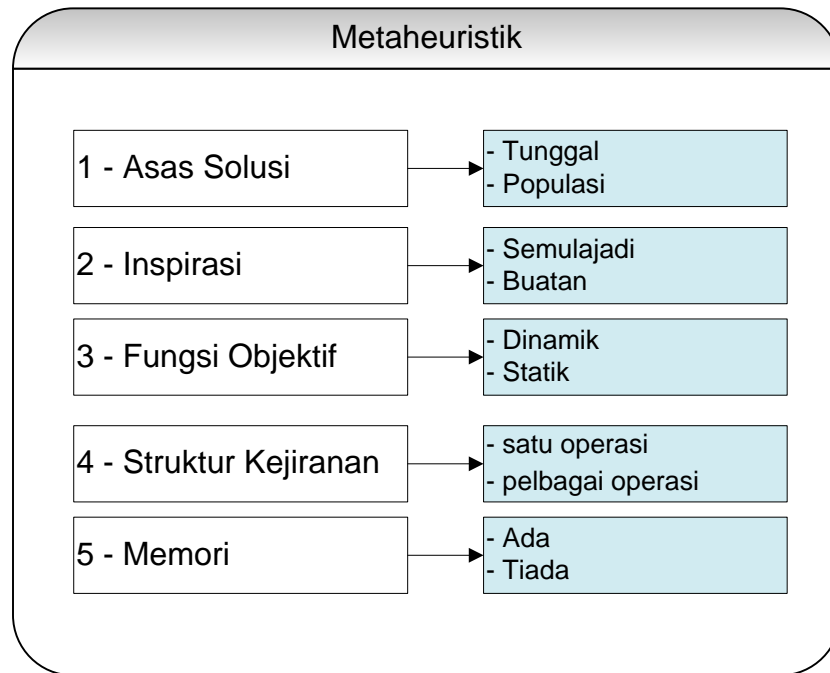
Secara asas, metehauristik dipilih untuk mengendalikan masalah-masalah yang rumit dan tidak mudah diselesai melalui kaedah analitikal atau eksak. Hiller dan Lieberman (2010) berpendapat, metaheuristik yang dibina dengan baik berpotensi untuk memperolehi solusi yang baik. Jesteru, dalam menentu apakah metaheuristik yang sesuai diguna untuk menyelesaikan suatu permasalahan, terdapat beberapa perkara yang perlu diperhati. Antaranya ialah kadar kerumitan permasalahan, ukuran input, struktur input dan tempoh masa yang diperlu untuk menyelesaikan masalah tersebut.

Hari ini, terdapat pelbagai algoritma metaheuristik telah berjaya diaplikasi seperti Pengoptimuman Koloni Semut (PKS), Algoritma Genetik (AG), Gelintiran Tabu (GT), Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK) dan Algoritma Umpama Aliran Air (AAA). Antara masalah-masalah pengoptimuman yang dimodelkan adalah MJK, Masalah Pembungkusan Produk, Masalah Jadual Jururawat dan Masalah Pusingan Kenderaan. Sedia maklum, dua perkara yang menentukan prestasi metaheuristik adalah penjelajahan ruang carian (*exploration*) dan eksploitasi solusi yang diperolehi (*exploitation*). Penjelajahan ruang carian adalah suatu mekanisma pencarian pada keseluruhan ruang pencarian yang ada untuk mencari solusi terbaik. Manakala eksploitasi merujuk kepada satu mekanisma mengeksploitasi solusi semasa yang diperolehi, dijana untuk penambahbaikan. Proses eksploitasi ialah suatu proses yang penting kerana penambahbaikan terhadap solusi semasa yang diperolehi berlaku ketika itu (E-G Talbi 2002).

Persoalan timbul, bagaimana untuk memperolehi kaedah penjelajahan dan eksploitasi yang baik? Apakah strategi-strategi yang perlu dilakar? Bagaimana pula kriterianya? Apakah yang menjadi faktor untuk kedua-duanya mencapai keseimbangan/ aras keseimbangan yang baik? Kesimbangan kedua-kedua konsep ini dalam sesebuah metaheuristik adalah kritikal. Bahkan, ini adalah antara kayu ukur

untuk menjustifikasi bahwa sesuatu metaheuristik itu baik dan efektif. Rajah 2.1 memaparkan kategori-kategori metaheuristik.

2.5.1 Klasifikasi Metaheuristik



Rajah 2.1 Klasifikasi Metaheuristik

- i) Klasifikasi pertama: Metaheuristik berasaskan Solusi Tunggal, (Metaheuristik-T) dan Metaheuristik Berasaskan Populasi (Metaheuristik-P).
- ii) Klasifikasi ke-dua: Metaheuristik Berinspirasi Semulajadi (*Nature-inspired*)/ Metaheuristik bukan Berinspirasi Semulajadi (*non-nature inspired*).
- iii) Klasifikasi ke-tiga: Fungsi Objektif Dinamik dan Fungsi Objektif Statik.
- iv) Klasifikasi ke-empat: Penggunaan satu/ lebih operasi tempatan.
- v) Klasifikasi ke-lima: Penggunaan memori/ tanpa memori (Christian Blum et al. 2003).

Untuk klasifikasi pertama, metaheuristik dibahagi kepada dua kategori iaitu metaheuristik berasaskan solusi populasi dan metaheuristik berasaskan solusi tunggal. Tumpuan Metaheuristik-P ialah penjelajahan terhadap keseluruhan ruang pencarian (El-Ghazali & Talbi 2009). Metaheuristik berasaskan populasi iaitu Metaheuristik-P (*Population-based*) adalah seperti Algoritma Evolusi (*Evolution Algorithm*) (Holland

1975), Algoritma Koloni Semut (*Ant Colony Algorithm*) (Colomi, Dorigo & Maniezzo 1991) dan Algoritma Aliran (*Water Flow Algorithm*) (Ying & Yang 2007). Manakala Metaheuristik-T memberi tumpuan terhadap proses eksploitasi, iaitu pencarian dalam ruang-ruang khusus yang berpotensi untuk mendapatkan keputusan yang lebih baik/terbaik. Contoh Metaheuristik-T (*Single Solution-based*) ialah Penyepuhlindapan (*Simulated Annealing, SA*) (Kirkpatrick 1983), Gelintiran Tabu (*Tabu Search*) (Glover, 1989) dan Pencarian Tempataan terlelar (PTT) (Lourenço, Martin & Stützle 2003).

Klasifikasi ke-dua pula ialah Metaheuristik Berinspirasi Semulajadi (*Nature-inspired*) dan Metaheuristik Tidak Berinspirasi Semulajadi (*non-nature inspired*). Kebanyakan metaheuristik baru masa kini adalah Metaheuristik Berinspirasi Semulajadi. Turut menjadi topik hangat dalam bidang sains dan kejuruteraan. Metaheuristik sebegini dibangun berdasarkan fenomena-fenomena alam semulajadi (Mauro Birattari et al. 2001). Antara Metaheuristik Berinspirasi Semulajadi yang wujud ialah Penyepuhlindapan (*Simulated Annealing, SA*) (Kirkpatrick 1983), Algoritma Koloni Semut (*Ant Colony Algorithm*) (Colomi, Dorigo & Maniezzo 1991), Gelintiran Cuckoo (*Cuckoo Search*), Algoritma Koloni Lebah (*Bee Colony Algorithm*), Algoritma Kelawar (*Bat Algorithm*), Algoritma Singa (*Lion Algorithm*), Algoritma Umpama Aliran Air (*Water Flow Algorithm*) (Ying & Yang 2007) dan Pengoptimuman Gelombang Air (*Water Wave Optimization*). Sementara Metaheuristik Tidak Berinspirasi Semulajadi pula adalah Pencarian Tabu (*Tabu Search*) (Glover 1989) dan Pencarian Tempataan terlelar (PTT) (Lourenço, Martin & Stützle 2003).

Klasifikasi ke-tiga ialah metaheuristik yang berfungsi menurut kaedah Objektif Dinamik atau berfungsi menurut kaedah Objektif Statik. Kebanyakan algoritma berfungsi Statik. Fungsi Objektif tidak berubah sepanjang proses pencarian. Terdapat beberapa metaheuristik berfungsi Objektif Dinamik seperti carian tempatan berpandu (CTB). Fungsi objektif CTB adalah untuk menambahbaik proses pencarian solusi seterusnya (Blum 2010).

Klasifikasi ke-empat ialah metaheuristik yang mengikuti kaedah penggunaan satu operasi carian tempatan atau pelbagai operasi carian tempatan seperti Gelintiran Pembolehkan Kejiranan (GPK). Metaheuristik ini memberi kemungkinan untuk meluaskan ruang pencarian dengan menukar kaedah kepada lanskap yang berbeza (Blum 2010).

Klasifikasi ke-lima ialah metaheuristik yang menggunakan memori dan tanpa memori. Metaheuristik yang menggunakan memori berupaya menyimpan hasil daripada proses pencarian yang terdahulu. Jika relevan, data tersebut akan diguna untuk menentukan strategi-strategi atau penerokaan-penerokaan seterusnya. Pelbagai teknik untuk merekod dan mengguna data yang disimpan seperti penggunaan memori jangka pendek dan memori jangka panjang. Rekod yang disimpan adalah data-data mengenai penerokaan-penerokaan dan solusi. Penggunaan memori adalah salah satu ciri metaheuristik yang efektif (Blum 2010).

2.6 ALGORITMA UMPAMA ALIRAN AIR (AAA)

AAA diperkenal oleh Ying dan Wang pada tahun 2007 menerusi jurnal mereka berjudul "*Water Flow-Like Algorithm for Object Grouping Problems*". Mereka berjaya membuktikan prestasi algoritma yang dicadang dalam Permasalahan Pengumpulan Barangan. Sejak itu, AAA mendapat perhatian ramai pengkaji untuk mengaplikasi AAA dalam penyelesaian pelbagai masalah kombinatorik termasuk MJK. Ayman et.al (2014) membuktikan prestasi AAA dalam MJK menerusi penulisannya berjudul "*Water Flow-like Algorithm for Travelling Salesman Problem and Web Service Selection Problem*". Beliau menganalisa prestasi AAA dan Algoritma Koloni Semut (AKS) melalui M. Kajian menggunakan set data yang mengandungi 50 sehingga 3797 bandar. Melalui kajian tersebut, prestasi AAA berjaya mengatasi prestasi AKS untuk aspek solusi dan masa. Peningkatan prestasi kualiti solusi AAA ialah 14.7 %. AAA turut mengurangkan masa yang diambil hingga mencapai 80% (Ayman 2014). Beliau turut membuat kajian lanjutan mengenai permasalahan yang sama melalui penulisannya berjudul "*Performance Water Flow-Like Algorithm for TSP by improving its Local Search*" (2010). Ayman memperkenalkan penggunaan operasi carian tempatan 3-opt, dan menggantikan operasi

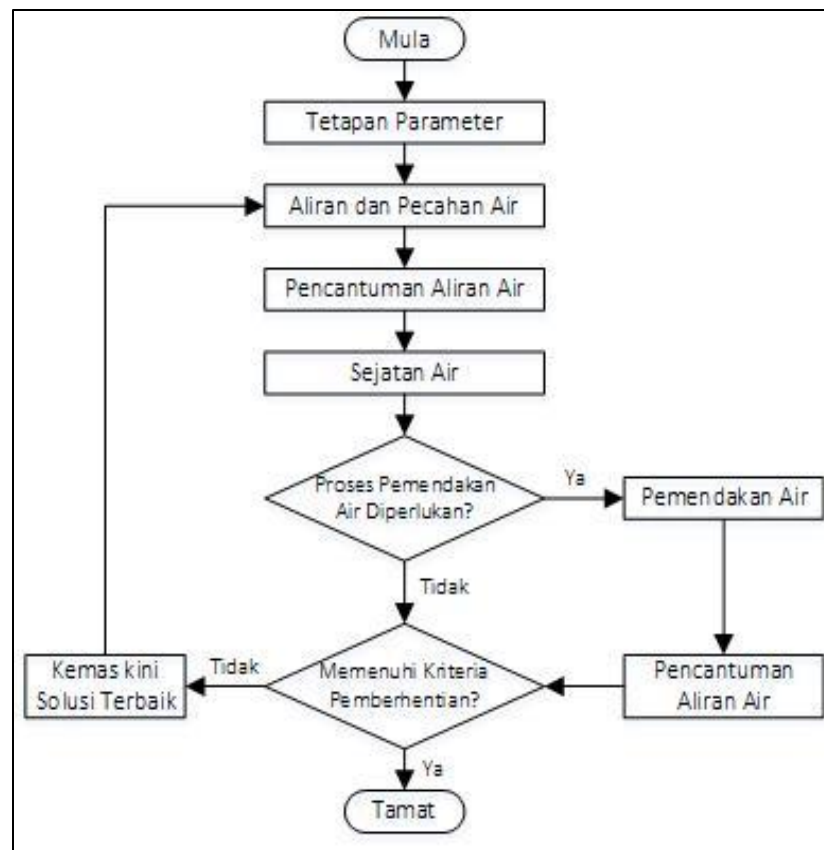
carian tempatan 2-opt yang terdapat pada algoritma AAA yang diguna pada kajian sebelumnya. Keputusan menunjukkan penggunaan carian operasi tempatan 3-opt berjaya mempertingkatkan kualiti solusi lebih 91%. Namun, prestasi masa hanya mengalami sedikit peningkatan. Melalui kajian-kajian ini, dapat disimpulkan bahawa AAA ialah algoritma yang stabil. Kajian turut membuktikan penggunaan carian operasi tempatan yang rumit tidak memberikan impak yang besar terhadap keseluruhan struktur AAA. Ayman berpendapat penambahbaikan dapat ditingkatkan melalui penggunaan operasi carian tempatan yang kompleks seperti Lin-Keningan.

AAA dikategori sebagai metaheuristik berpopulasi. Namun, berbeza dengan metaheuristik berpopulasi yang lain, AAA bersifat dinamik. Bilangan populasi AAA berubah mengikut beberapa faktor termasuk kualiti solusi semasa, dan kiraan solusi berulang. Metaheuristik berpopulasi mempunyai kelemahan apabila kebarangkalian pencarian berulang-ulang berlaku pada kadar yang tinggi. Secara tidak langsung, ini menyebabkan kos operasi bertambah. Ciri populasi AAA yang bersifat dinamik ini berjaya mengurangkan kelemahan tersebut kerana bilangan populasi yang ada semasa proses pencarian solusi berjalan dapat dioptimum. AAA turut berupaya memperoleh solusi yang lebih baik untuk MJK.

2.6.1 STRUKTUR ASAS AAA

AAA menterjemah proses semulajadi kitaran air. Aliran-aliran air ini dikawal oleh daya tarikan graviti yang mengalir dari altitud yang tinggi ke altitud yang lebih rendah. Aliran air akan berpecah dan bercantum dengan aliran air yang sedia ada bergantung kepada bentuk atau keadaan permukaan bumi. Aliran air yang mempunyai momentum yang besar (mengatasi halangan di hadapannya) mampu bergerak ke altitud yang lebih tinggi. Sejalan air di atmosfera akan kembali ke tanah melalui proses pemendakan. Fenomena ini berlaku menerusi penurunan hujan dan embun. AAA memanipulasi semua kejadian-kejadian semulajadi ini. Segala proses diadaptasi untuk operasi penjelajahan, iaitu suatu proses penerokaan setiap ruang carian. Empat operasi yang diadaptasi dan menjadi nada AAA ialah Aliran dan Pecahan Aliran Air (*flow and splitting*), Cantuman Aliran Air (*merging*), Sejalan Air (*evaporate*) dan Pemendakan Air (*precipitation*).

Aliran air bertindak sebagai agen pencarian solusi-solusi dalam setiap ruang pencarian solusi. Proses penjelajahan adalah bertujuan untuk mencari solusi terbaik melalui ruang-ruang pencarian yang diterokai. Gambar rajah 2.2 menunjukkan carta aliran struktur AAA.



Rajah 2.2 Carta Aliran Operasi AAA

Sumber: Adaptasi daripada Ayman 2013

i) Aliran dan pecahan aliran air

Umpama satu aliran air yang bermula dari satu punca mata air, kemudian aliran air tersebut akan terbahagi kepada beberapa aliran sepanjang perjalanannya. AAA bermula dengan satu solusi pertama yang dijana secara rawak dan dipecah kepada beberapa solusi bergantung kepada momentum air yang dikira berdasarkan kualiti solusi semasa. Dalam MKJ, aliran air dipetakan sebagai solusi MKJ iaitu merupakan susunan bandar-bandar. Setiap aliran air atau setiap solusi mempunyai momentum

iaitu berat (*mass*, W_i) dan juga halaju (*velocity*, V_i). Momentum yang tinggi menjana lebih banyak pecahan air berbanding momentum yang rendah. Nilai rujukan momentum (base momentum, T) ditetapkan untuk menentukan sama ada pecahan aliran air diperlukan. Sekiranya nilai $W_i * V_i$ diantara sifar dan T , $0 < W_i * V_i < T$, maka aliran tidak berpecah dan meneruskan perjalanan sebagai satu aliran. Sebaliknya, jika nilai $W_i * V_i$ melebihi T , pecahan aliran air perlu dan dihitung menggunakan persamaan (2.1)

$$n_i = \min\{\max\{1, \text{int}(W_i V_i / T)\}, n\} \quad (2.1)$$

Berat dan hala laju aliran air yang pecah, dipindah kepada setiap aliran baru, W_{ik} menggunakan persamaan 2.2 untuk berat dan persamaan 2.3 untuk halaju.

$$W_{ik} = (n_i + 1 - k \sum_{r=1}^{n_i} n_r = 1) W_{ik} = 1, 2, \dots, n_i \quad (2.2)$$

$$\mu_{ik} = \{\sqrt{V_i^2} + 2g\sigma_{ik} \quad V_i^2 + 2g\sigma_{ik} > 0 \quad (2.3)$$

Simbol 'g' merupakan pecutan graviti. Manakala symbol 'σ' merupakan penambahbaikan nilai solusi baru yang mewakili penurunan altitud dari solusi sebelum kepada solusi semasa. Solusi tersebut akan tersingkir dalam proses sejatan jika tiada peningkatan dan kembali ke ruang pencarian dalam proses pemendakan. Solusi asal disingkir selepas solusi baru dijana dalam proses Aliran dan Pecahan Aliran Air. Maklumat solusi terkini disimpan.

ii) Cantuman aliran air

AAA mengadaptasi proses semulajadi cantuman aliran air untuk penyingkiran solusi yang berulang. Apabila dua atau lebih aliran air bertemu di lokasi yang sama, aliran air bercantum dan membentuk satu aliran air yang mempunyai berat dan momentum yang lebih besar. Proses mengadaptasi kejadian semulajadi ini membolehkan AAA menganalisa agen solusi-solusi yang tersedia dan mengumpulkan agen solusi yang sama. Bermaksud, menjadikan satu solusi yang sama tetapi dengan berat dan

momentum yang lebih besar. Pengiraan berat dan momentum baru untuk solusi yang dicantumkan adalah seperti persamaan 2.4 dan 2.5.

$$W_i = W_i + W_j \quad (2.4)$$

$$V_i = \frac{W_i V_i + W_j V_j}{W_i + W_j} \quad (2.5)$$

iii) Sejatan air

Proses sejatan air merupakan salah satu proses semulajadi kitaran aliran air. Air tersejat ke udara dalam suhu yang lebih tinggi kerana halaju zarah air bergerak menjadi lebih pantas dan akhirnya terpeluap ke dalam udara. AAA mengadaptasi proses semulajadi ini sebagai satu cara penyingkiran agen solusi. Penyingkiran ini merupakan satu kesediaan untuk menjana agen solusi yang baru dalam proses pemendakkan. Ini membolehkan penjelajahan ruang solusi beroperasi dengan lebih luas. Setiap agen solusi (aliran air) tertakluk kepada kriteria sejatan air di mana agen solusi disingkir selepas jumlah *iterasi t* yang telah ditetapkan. Setiap kali proses sejatan berlaku, berat setiap agen solusi yang lain dikemas kini. Berat setiap agen solusi dikurang sebanyak nisbah $1/t$ seperti persamaan 2.6 (Tai-Hsi Wua 2010).

$$W_i = \left(1 - \frac{1}{t}\right) W_i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \quad (2.6)$$

iv) Pemendakkan air

Satu lagi proses semulajadi kitaran air yang diadaptasi didalam AAA ialah proses pemendakkan air. Dalam suhu udara yang lebih rendah, air yang tersejat didalam udara boleh termendak kembali ke tanah sama ada dalam bentuk hujan, embun dan sebagainya. Proses ini diadaptasi dengan menjana beberapa agen solusi yang baru dan ditambah dalam kumpulan agen solusi semasa apabila kriteria pemendakan dipenuhi. Kriteria pemendakkan proses penjanaan solusi baru ini merupakan satu cara bagi membolehkan penerokaan ke kawasan yang lebih luas dalam ruang pencarian solusi. Terdapat dua jenis pemendakkan di bina dan di laksanakan di dalam AAA iaitu pemendakkan paksaan dan juga pemendakkan biasa.

Pemendakkan paksaan diaktifkan apabila semua aliran (solusi) di dalam populasi telah terperangkap di dalam optima tempatan iaitu apabila halaju setiap aliran (solusi) di dalam populasi bersamaan sifar (aliran tepu) (Ayman 2014). Semua aliran (solusi) disejat (disingkir dari populasi) dan dimendak kembali (pemendakkan paksaan) dalam bilangan yang sama tetapi diberi momentum yang baru iaitu halaju bersamaan dengan halaju solusi awal dan berat yang dikira menggunakan persamaan 2.7.

$$W'i = \left(\frac{W_i}{\sum_{k=1}^N W_k} \right) W_0 \quad (2.7)$$

Pemendakkan biasa merupakan proses pembinaan dan penambahan solusi baru ke dalam populasi semasa yang telah ditetapkan pada setiap kitaran, t . Dalam proses ini, N aliran (solusi) yang baru dibina berdasarkan N solusi semasa dan diserap dalam populasi semasa. Solusi yang baru diberikan halaju bersamaan dengan halaju solusi awal dan berat yang dikira menggunakan persamaan 2.8.

$$W'i = \frac{W_i}{\sum_{k=1}^N W_k} (W_0 - \sum_{k=1}^N W_k) \quad (2.8)$$

Di akhir setiap proses pemendakan, operasi pencantuman akan berlaku. Peranan operasi pencantuman ialah untuk penyingkiran aliran (solusi) berulang yang mungkin terhasil melalui proses pemendakkan (Ayman 2014).

2.7 GELINTIRAN PEMBOLEHUBAH KEJIRANAN (GPK)

Merujuk hasil kajian-kajian lepas, GPK telah mempamer prestasi yang baik. Ciri-ciri yang terdapat pada GPK adalah antara faktor prestasi yang baik dapat diperolehi (Binguler & Bulkan 2015). Pelbagai jaringan potensi GPK turut dikenalpasti. Justeru, kajian ini mencadangkan algoritma GPK dihibrid bersama AAA untuk MJK. Gelintiran Pembolehubah Kejiranan (GPK) diperkenal oleh Mladenovic dan Hansen pada sekitar tahun 1997 (Eskandari & Hosseinzaddeh 2013). Hasil-hasil kajian yang mengaplikasi GPK telah banyak mempamer keputusan yang baik (Geiger et al. 2011). Teras GPK adalah penggunaan beberapa operasi carian tempatan yang membentuk

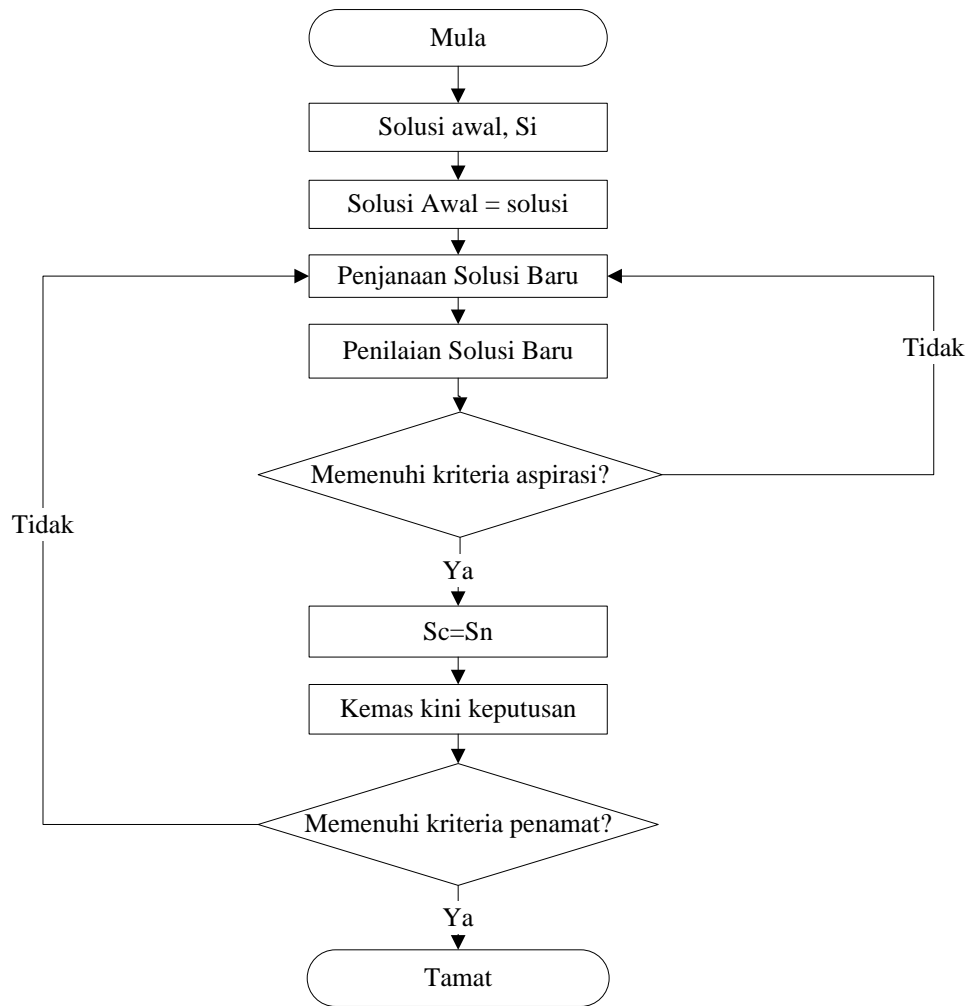
struktur kejranaan. GPK mampu beroperasi tanpa penentuan parameter. Secara asas, GPK beroperasi berdasarkan pertukaran antara operasi carian tempatan secara sistematik yang berlaku ketika proses pencarian solusi optima atau hampir optima (terbaik) berjalan.

2.7.1 Konsep Asas GPK

Pertukaran antara operasi carian tempatan dalam struktur kejranaan melicinkan operasi pencarian kerana perangkap lokal optimal dapat dielak (Hansen & Mladenovic 2003). Berikut adalah konsep asas GPK:

- i) Setiap carian operasi tempatan mempunyai lokal minima yang unik.
- ii) Lokal minima terkecil keseluruhannya merupakan global minima struktur kejranaan tersebut.
- iii) Solusi-solusi yang terhasil oleh semua operasi carian tempatan hampir sama.

Ketiga-tiga ciri di atas dapat dimanfaatkan menerusi tiga kaedah iaitu stokastik atau rawak (*random*), tetapan atau berturut (*sequence*) dan gabungan kedua-dua kaedah: stokastik dan tetapan. GPK dilihat sebagai satu kaedah yang mudah dan berkesan untuk menyelesaikan permasalahan metaheuristik berasas solusi tunggal seperti MJK dan Masalah Jadual (Bingular & Bulkan 2015). Lanskap pencarian GPK bergantung kepada operasi carian tempatan yang diguna ketika proses eksploitasi. Kepelbagaian operasi carian tempatan yang ada dalam GPK menghasilkan lokal optimal yang berbeza (Gatica, Esquivel & Leguizamon 2013). GPK telah diguna dengan meluas dalam pelbagai permasalahan kombinatorik (Xiao & Kaku 2010). Pelbagai teknik operasi carian tempatan yang diguna dalam GPK untuk MJK seperti Pemasukan, Pertukaran, 2-opt dan 3-opt. Komponen-komponen GPK adalah solusi awal (S_i), solusi baru (S_n) operasi carian tempatan dan kriteria penamat. Manakala langkah-langkah asas yang terdapat dalam GPK adalah berdasarkan rajah 2.3.



Rajah 2.3 Carta aliran GPK

Pada permulaan GPK, solusi awal (S_i) dijana (diperoleh daripada AAA) untuk memulakan proses eksploitasi. Solusi awal (S_i) ini ditetapkan sebagai solusi semasa (S_c). Operasi-operasi carian tempatan yang terlibat akan menggunakan solusi semasa yang diperolehi untuk menjana solusi baru (S_n). Solusi baru yang terhasil akan dibandingkan dan dinilai. Jika keputusan solusi baru adalah lebih baik daripada keputusan solusi semasa, maka keputusan solusi baru akan diiktiraf sebagai keputusan solusi semasa. Ini adalah kriteria aspirasi GPK dan merupakan struktur asas. Operasi GPK akan berterusan beroperasi sehingga menemui kriteria penamat. Kriteria-kriteria tersebut sama ada jumlah iterasi, solusi terbaik atau berdasarkan penetapan masa komputer. Operasi tempatan seterusnya akan menjana solusi baru berdasarkan solusi semasa terkini. Kod pseudo bagi GPK terdapat pada rajah 2.2. Manakala rajah 2.3 menunjukkan carta aliran GPK.