

## EVALUASI KINERJA METODE-METODE HEURISTIK UNTUK PENYELESAIAN TRAVELLING SALESMAN PROBLEM

Admi Syarif\*, Wamiliana dan Yasir Wijaya

Program Studi Ilmu Komputer, Jurusan Matematika, FMIPA,  
Universitas Lampung, Bandar Lampung, 35145  
Alamat untuk surat menyurat e-mail : Admi\_syarif@yahoo.com

Diterima 28 Agustus 2007, perbaikan 10 Desember 2007, disetujui untuk diterbitkan 27 Desember 2007

### ABSTRACT

Traveling Salesman Problem (TSP) is known as one of optimization problems that has taken great attention of researchers in this last two decades. Since TSP is included as an NP-Complete problems, most researchers researched on the development of heuristic method to get optimal/near optimal solutions of the problem. In this research, we developed and compared the effectiveness and the efficiency of several heuristic methods given in the literature. We tested those heuristics methods by using Benchmark test problems. It is shown that heuristic methods can give the optimal/near optimal solution of the problem within reasonable time. It is also shown, for relatively large size problems, that Lin-Kernighan is the most effective algorithm followed by Hybrid Genetic Algorithm (HGA)

**Keywords:** *Traveling Salesman Problem, Heuristic Method, combinatorial optimization*

### 1. PENDAHULUAN

Secara mudah, TSP dapat digambarkan sebagai permasalahan untuk menentukan sirkuit terpendek yang harus dilalui oleh seorang salesman, yang berangkat dari sebuah kota asal dan menyinggahi setiap kota tepat satu kali kemudian kembali lagi ke kota asal keberangkatannya. Kota dapat dinyatakan sebagai simpul graf, sedangkan sisi menyatakan jalan yang menghubungkan antar dua buah kota. Bobot pada sisi menyatakan jarak antara dua buah kota. Persoalan TSP tidak lain adalah menentukan sirkuit Hamiltonian yang memiliki bobot minimum pada sebuah graf terhubung<sup>1,2)</sup>. Kelompok permasalahan ini memerlukan waktu *super polynomial*, dikenal dengan istilah "*NP-complete*"<sup>3)</sup>. Karenanya, TSP telah menjadi obsesi bagi para peneliti selama dua generasi terakhir<sup>4)</sup>. Namun demikian, hingga kini diyakini belum ada suatu metode atau algoritma yang mampu memberikan solusi eksak untuk TSP yang berukuran relatif besar<sup>5)</sup>. Peneliti umumnya mengembangkan metode-metode heuristik untuk menyelesaikan TSP yang relatif besar. Beberapa metode Heuristik untuk penyelesaian TSP yang pernah dilaporkan diantaranya: *Neural Network*, *Ant colony*<sup>6)</sup>, *Genetic Algorithm*<sup>7)</sup>, *Simulated Annealing*<sup>8)</sup>, *Tabu Search*<sup>9)</sup>, *Nearest Neighbor*, *Greedy*<sup>10)</sup>, *Christofides*, *Saving*<sup>5)</sup>, *Boruvka*, *Lin-Kernighan*<sup>11)</sup>, *2-opt*, *3-opt*<sup>12)</sup>. Kinerja metode heuristik umumnya diukur dari kualitas solusi yang diperoleh dan waktu komputasi yang diperlukan. Meskipun tidak dijamin bahwa akan selalu diperoleh solusi optimal, metode heuristik biasanya mempunyai waktu komputasi yang lebih singkat. Beberapa algoritma heuristik dilaporkan memberikan solusi bahwa perbedaan rata-ratanya hanya beberapa persen dari solusi optimal. Dilaporkan bahwa metode-metode tersebut mampu menyelesaikan TSP dengan mendekati optimal globalnya, bahkan untuk beberapa kasus tertentu juga mampu mencapai optimal global dengan waktu komputasi yang sangat *reasonable*. Dengan demikian, metode heuristik dapat dijadikan suatu alternatif untuk mendapatkan alternatif yang solusi dalam waktu yang relatif singkat.

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan dan mengevaluasi kinerja metode-metode heuristik yang telah dikembangkan oleh berbagai peneliti sebelumnya. Informasi yang diperoleh akan sangat bermanfaat bagi peneliti untuk mengembangkan metode-metode baru dan juga dapat memberikan informasi metode yang efektif dan efisien untuk kepentingan pengguna diberbagai aplikasi. Agar lebih terarah, kami fokus pada simetris (sTSP) dimana jarak dari kota  $i$  ke kota  $j$  adalah sama dengan jarak dari kota  $j$  ke kota  $i$ .

## 2. MODEL TSP

Andaikan

$$x_{i,j} \begin{cases} = 1 & \text{jika rute dari kota } i \text{ ke kota } j \text{ dilalui} \\ = 0 & \text{jika tidak;} \end{cases}$$

$$d_{i,j} = \text{jarak dari kota } i \text{ ke kota } j$$

Model matematika TSP seperti ditunjukkan pada Persamaan (1) – (3) sebagai berikut:

$$\min \quad z(x) = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{i,j} x_{i,j}, \quad i \neq j \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$\text{s, t.} \quad \sum_{i=1; i \neq j}^n x_{i,j} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$\sum_{j=1; j \neq i}^n x_{i,j} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad \dots\dots\dots(3)$$

Dengan  $n$  adalah jumlah kota..

Pada model diatas, fungsi tujuannya adalah meminimumkan total jarak atau total biaya perjalanan. Pembatas (2) dan (3) menunjukkan bahwa setiap kota hanya dikunjungi satu kali.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penggunaan metode-metode heuristik untuk menyelesaikan persoalan yang sulit diperoleh solusi optimalnya, termasuk TSP, telah banyak dilaporkan oleh peneliti<sup>3)</sup>. Pertimbangan utama penggunaan metode heuristik adalah waktu untuk memperoleh solusi yang jauh lebih *reasonable*. Kinerja metode heuristik biasanya akan diukur dari kualitas solusi yang diperoleh dan waktu komputasi yang digunakan untuk memperoleh solusi tersebut.

Penelitian ini mengujicobakan metode-metode heuristic yang ada menggunakan program *concorde* dan *hGA*. Ujicoba dilakukan dengan menggunakan persoalan standar (*Benchmark test problems*) dari TSPLIB<sup>13,14)</sup>. Ujicoba dilakukan terhadap permasalahan TSP baik untuk kota yang berukuran kecil (di bawah 1000) sampai dengan jumlah kota yang berukuran besar (di atas 1000). Tabel 1 dan 2 berikut menampilkan perbandingan hasil yang diperoleh.

**Tabel 1.** Nilai optimum dari metode heuristik pada persoalan TSPLIB

No	TSPLIB	Nilai Optimum	Metode Heuristik					
			Gr	Br	NN	L-K	sGA	hGA
1	eil51	426	521	541	486	426	488	426
2	eil76	538	631	574	634	538	588	538
3	rat99	1211	1487	1387	1424	1211	1375	1211
4	kroA100	21282	24287	25446	25525	21282	24192	21282
5	lin105	14379	16766	16479	17052	14467	16397	14379
6	pr144	58537	65844	67638	60964	58537	98943	58537
7	kroA150	26524	31892	32266	33745	26525	31580	26524
8	pr152	73682	84703	81132	85427	73682	116689	73682
9	pr226	80369	96178	87953	94520	80369	140108	80369
10	A280	2579	3016	2903	3281	2579	2935	2579
11	pr299	48191	60766	58220	60585	48627	60857	48191
12	lin318	42029	49744	48690	50306	42174	50282	42029
13	rat575	6773	8059	7859	8201	6787	8098	6840
14	rat783	8806	10180	10020	11024	8814	10500	8922
15	pr1002	259045	297719	299001	319514	260414	416539	260575

Tabel 2. Perbandingan Waktu komputasi dalam (detik)

No	TSPLIB	Metode Heuristik					
		Gr	Br	NN	L-K	sGA	hGA
1	Eil51	2.8	2.08	2.06	2.6	0	0.2
2	Eil76	1.1	0.6	1	0.9	0.2	0.4
3	rat99	4.8	5.2	3.5	5.8	0.2	1.4
4	kroA100	4.7	4	4.2	3.3	0.2	1.4
5	lin105	1.6	2	2.7	1.5	0.4	1.6
6	pr144	6.4	10.7	4.1	9	0.4	2.8
7	kroA150	10.5	12.4	15.6	9.2	0.2	3
8	pr152	9.9	14.3	25.5	13.7	0.2	3.2
9	pr226	6.7	3.4	4.5	4.1	0.4	7.4
10	A280	30.2	24.5	15.9	15.2	2	31
11	pr299	37.7	44.6	39.1	35.5	26.3	34.8
12	lin318	18.4	15.8	33.8	23.6	19.7	56
13	rat575	37.6	35.4	38.9	36.4	5.6	34
14	rat783	157.3	13.8	222.2	149.7	10	88
15	pr1002	171.3	152.5	229.7	150.9	16	167.2

Ujicoba juga dilakukan pada persoalan yang berukuran relatif besar (lebih dari 1000 kota). Hasil yang diperoleh disajikan pada Tabel 3 dan 4.

Tabel 3. Perbandingan nilai fitness dari TSP Challenge dan hGA

NO	TSPLIB	Nilai Optimal	METODE HEURISTIK										
			Gr	Br	LK	NN	Sv	Cr	2-Opt	3-Opt	Ts+2O	TS+LK	hGA
1	Pr1002	259045	309389	299001	266313	324652	288356	284463	299708	277226	269765	261323	260575
2	R1889	316536	378846	356906	322868	399775	352748	337703	351936	346251	332538	318265	317756
3	U2319	234256	264317	266469	235421	286780	251176	255255	264325	251288	238096	234929	236470

Tabel 4. Waktu Komputasi yang dibutuhkan untuk mencapai nilai optimal pada TSP Challenge diatas 1000 kota

NO	TSPLIB	Nilai Optimal	METODE HEURISTIK										
			Gr	Br	LK	NN	Sv	Cr	2-Opt	3-Opt	TS+2O	TS+LK	hGA
1	Pr1002	259045	0.05	0.6	0.2	0.03	0.05	0.08	0.03	0.07	15.9	1211.4	836.2
2	r1889	316536	0.08	0.8	0.4	0.05	0.1	0.14	0.06	0.13	28	1923.6	15840
3	u2319	234256	0.08	1.0	0.7	0.06	0.1	0.16	0.06	0.09	17.9	805.7	17113

Keterangan:

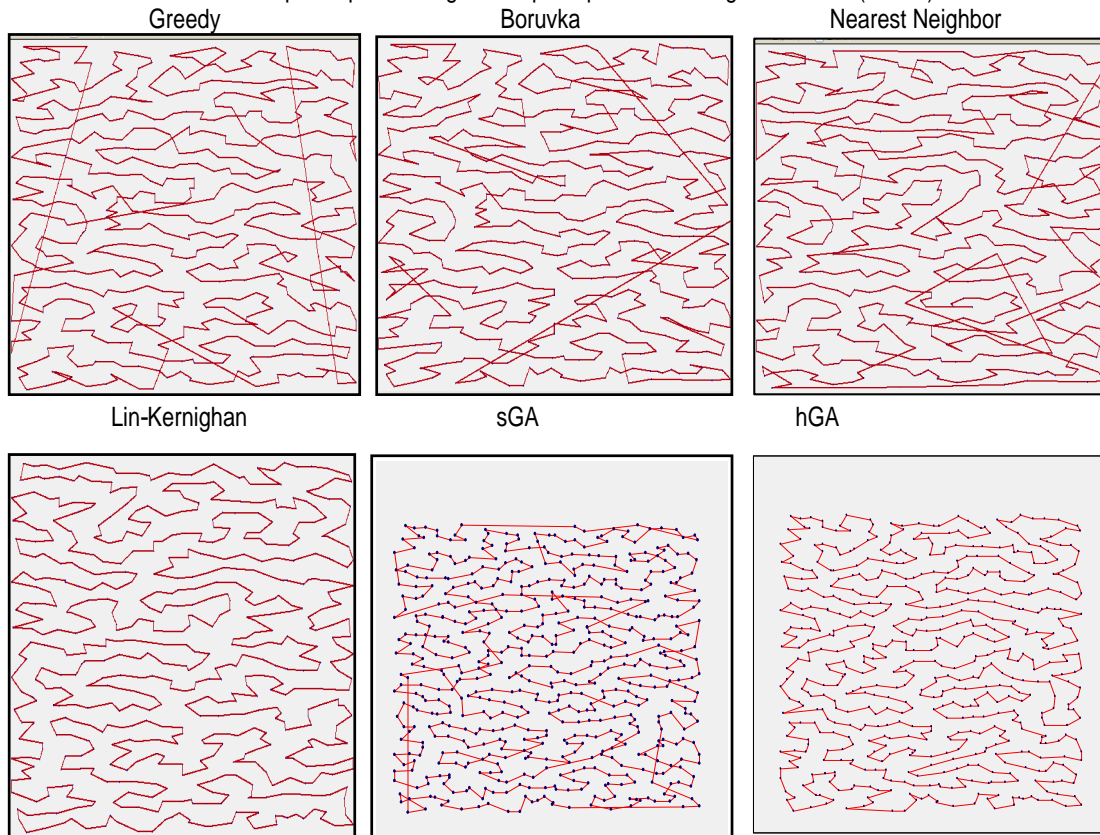
Gr Greedy Br Br Boruvka LK Lin-Kernighan  
 NN Nearest Neighbor Cr Christofides TS+2O Tabu Search + 2-OPT  
 TS+LK Tabu Search + LK Sv Saving hGA GA+NN+2-OPT

Dari Tabel 3 dan 4 di atas dapat dilihat bahwa hGA mampu memberikan 12 nilai optimum atau 80% dari 15 nilai optimal pada TSPLIB. Sedangkan metode heuristik yang juga cukup baik adalah Lin-Kernighan dengan memberik 8 nilai optimum. Dari segi waktu komputasinya terlihat bahwa metode sGA adalah sebagai metode yang memiliki rata-rata waktu komputasi tercepat atau tersingkat. Sedangkan metode heuristik lainnya memiliki waktu komputasi relatif lebih lama.

Pada persoalan yang relatif lebih besar ( lebih dari 1000 kota), meskipun hGA belum dapat memberikan nilai optimum, error yang diberikan relatif lebih kecil. tepat mendekati nilai optimal tetapi masih bisa mendapatkan nilai yang lebih baik lagi (optimal) dengan menambahkan populasi dan generasinya pada saat iterasi pencarian nilai optimalnya. Demikian

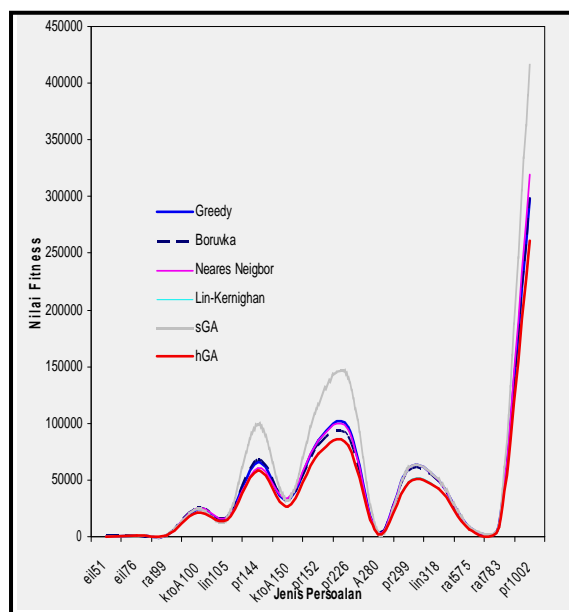
pula untuk metode TB+LK nilai optimum yang didapatkannya mampu mendekati nilai optimal dibandingkan metode-metode heuristik yang lainnya, selain hGA.

Gambar 1 berikut ini menampilkan perbandingan tour pada persoalan dengan 575 kota (rat575)



**Gambar 1.** Graph rat575 pada TSPLIB

Untuk lebih jelasnya berikut disajikan perbandingan efektifitas masing-masing metode pada persoalan yang diujikan (Gambar 2):



**Gambar 2** Grafik perbandingan nilai fitness pada TSPLIB

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil eksperimen telah ditunjukkan bahwa metode-metode heuristik mampu memberikan solusi optima dan juga solusi pendekatan dari persoalan TSP. Hasil perbandingan diperoleh bahwa hGA mampu memberikan hasil yang lebih baik dari metode-metode heuristik yang lain. Pada penelitian berikutnya perlu diupayakan penerapan metode ini pada aplikasi dunia nyata.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian dari penelitian Hibah Bersaing yang dibiayai oleh DP2M DIKTI tahun anggaran 2007/2008.

#### DAFTAR PUSTAKA

1. Munir, R. 2001. *Matematika Diskrit Bab Graf*. Bandung. Informatika. ITB
2. History of the TSP. Last Update: jan 2005. <http://www.tsp.gatech.edu/history/index.html>. 20 Mei 2006, 22.10. AM
3. Gani, A. Z. 2000. *NP-Complete Problem*. ITB, Bandung.
4. Applications TSP, Baseball, Scan Chains, Whizzkids, Airports Tours, USA Trips, Sonet Rings, Genome Sequencing. <http://www.tsp.gatech.edu/apps/>
5. Gen, M. and Cheng, R. 2000. *Genetic Algorithms and Engineering Optimization*, John Wiley & Sons, New York.
6. Dorigo, M. and Gambardella, L. M. 1997. Ant colonies for the traveling salesman problem, *Biosystem*.
7. Syarif, A., Wamiliana and Wijaya, Y. 2007. Solving Traveling Salesmen Problem by Using Hybridized Genetik Algoritma, *Proceedings of International Conference on Green Engineering and Engineering*, Indonesia.
8. Kickpatrick, S., Gellat, C. D. dan Vecchi, P. 1983, Optimization by Simulated Annealing, *Science*.
9. Glover, F and Laguna, M. 1997. *Tabu Search*, Kluwer Academic Publisher, Boston-Massachusetts, USA.
10. Definda, P.I. 2005. *Algoritma Greedy untuk Menentukan Lintasan Terpendek*.
11. Lin, S and Kernighan. B.W. 1973. An Effective Heuristic Algorithm For the Travelling Salesman Problem, *Oper. Res.* **21**: 498-516
12. Ong, H. L., and Moore, J. B. 1984. Worst Case Analysis of two Traveling Salesman Heuristics. *Operations Res. Lett.* **2**, 273-277.
13. Reinelt, G. 1991. TSPLIB-A Traveling Salesman Library. *ORSA Journal on Computing*, **3-4** 376-384
14. <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/>; TSPLIB95/tsp/22 Mei 2006, 23.05. AM.