SKRIPSI

PENYELESAIAN MASALAH *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* DENGAN MENGGUNAKAN *PARALLEL DYNAMIC PROGRAMMING*

Keenan Adiwijaya Leman

NPM: 2014730041

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN SAINS
UNIVERSITAS KATOLIK PARAHYANGAN
2018

UNDERGRADUATE THESIS

SOLVING TRAVELING SALESMAN PROBLEM USING PARALLEL DYNAMIC PROGRAMMING

Keenan Adiwijaya Leman

NPM: 2014730041

DEPARTMENT OF INFORMATICS
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY AND SCIENCES
PARAHYANGAN CATHOLIC UNIVERSITY
2018

LEMBAR PENGESAHAN

PENYELESAIAN MASALAH *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* DENGAN MENGGUNAKAN *PARALLEL DYNAMIC PROGRAMMING*

Keenan Adiwijaya Leman

NPM: 2014730041

Bandung, 30 Mei 2018

Menyetujui,

Pembimbing

Joanna Helga, M.Sc.

Ketua Tim Penguji

Husnul Hakim, M.T.

Anggota Tim Penguji

Dott. Thomas Anung Basuki

Mengetahui,

Ketua Program Studi

Mariskha Tri Adithia, P.D.Eng

PERNYATAAN

Dengan ini saya yang bertandatangan di bawah ini menyatakan bahwa skripsi dengan judul:

PENYELESAIAN MASALAH *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* DENGAN MENGGUNAKAN *PARALLEL DYNAMIC PROGRAMMING*

adalah benar-benar karya saya sendiri, dan saya tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan dengan cara-cara yang tidak sesuai dengan etika keilmuan yang berlaku dalam masyarakat keilmuan.

Atas pernyataan ini, saya siap menanggung segala risiko dan sanksi yang dijatuhkan kepada saya, apabila di kemudian hari ditemukan adanya pelanggaran terhadap etika keilmuan dalam karya saya, atau jika ada tuntutan formal atau non-formal dari pihak lain berkaitan dengan keaslian karya saya ini.

Dinyatakan di Bandung,
Tanggal 30 Mei 2018

Keenan Adiwijaya Leman
NPM: 2014730041

ABSTRAK

Traveling salesman problem adalah suatu masalah pencarian sirkuit yang melewati semua simpul dari suatu graf dengan bobot minimum. Saat ini, belum ada algoritma yang dapat menyelesaikan masalah *traveling salesman problem* dalam *polynomial-time*, yang berarti waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masalah bertambah dengan cepat seiring bertambahnya ukuran masalah. Salah satu cara untuk mengurangi waktu yang digunakan dalam menyelesaikan *traveling salesman problem* adalah dengan melakukan komputasi dengan menggunakan beberapa *processing core* dalam waktu yang sama (komputasi paralel).

Algoritma Held-Karp adalah sebuah algoritma yang berdasar pada paradigma *dynamic programming*, yang mana saat ini merupakan salah satu algoritma tercepat untuk menyelesaikan *traveling salesman problem*. Algoritma Held-Karp dapat dikombinasikan dengan komputasi paralel untuk mengurangi waktu yang dibutuhkan. Penggunaan komputasi paralel membutuhkan suatu teknik untuk mendistribusikan beban kerja secara efisien kepada *processing core* yang digunakan. *Task decomposition* adalah suatu teknik pendistribusian beban kerja yang cocok untuk digunakan pada Algoritma Held-Karp.

Sebuah eksperimen dilakukan untuk mengukur peningkatan kinerja yang dihasilkan dari penggunaan komputasi paralel dalam penyelesaian *traveling salesman problem*. Eksperimen dilakuakan pada 3 graf berbeda, yaitu pada graf dengan 18, 20, dan 25 simpul. Peningkatan kinerja diukur dengan membandingkan penurunan waktu dengan penambahan banyak *thread* yang digunakan. Banyak *thread* yang digunakan adalah 1 sampai dengan 6 *thread*. Penggunaan 2 *thread* dibanding 1 *thread* menghasilkan penurunan waktu sebesar $48,95\%$ sampai dengan $54,59\%$ sedangkan penggunaan 3 *thread* dibanding 2 *thread* menghasilkan penurunan waktu sebesar $14,62\%$ sampai dengan $23,85\%$. Penambahan banyak *thread* diatas 3 menghasilkan penurunan waktu yang jauh lebih kecil yaitu berkisar antara $-1,55\%$ sampai dengan $5,68\%$.

Kata-kata kunci: *Traveling Salesman Problem*, Algoritma Held-Karp, Komputasi Paralel, Dynamic Programming

ABSTRACT

The traveling salesman problem is a problem of finding the shortest circuit that visits all vertices in a graph. Currently, there is no such algorithm that able to solve the traveling salesman problem in polynomial-time, means the time needed to solve the problem grow very fast as the problem size increases. A way to decrease the time needed to solve the traveling salesman problem is to solve the problem using multiple processing cores at the same time.

Held-Karp Algorithm is a dynamic programming based algorithm which currently is one of the fastest algorithms to solve the traveling salesman problem. Held-Karp Algorithm can be combined with parallel computation to decrease the time needed by the algorithm to solve the traveling salesman problem. The use of parallel computation leads to the need of workload distribution technique to distribute the workload efficiently across many processing cores. Task decomposition is a workload distribution technique that matches with Held-Karp Algorithm.

An experiment was conducted to measure the performance gain by the utilization of parallel computation at solving the traveling salesman problem. The experiment was conducted on 3 different graphs, on a graph with 18, 20, and 25 vertices. Performance gain measured by comparing the reduction of time produced to the increase of the number of the thread used. The number of threads that used is 1 to 6 thread. Utilization of 2 threads compared with 1 thread produce time reduction ranging from $48,95\%$ to $54,59\%$. Utilization of 3 threads compared with 2 threads produce time reduction ranging from $14,62\%$ to $23,85\%$. A Further addition to the number of threads used produces far less time reduction ranging from $-1,55\%$ to $5,68\%$.

Keywords: Traveling Salesman Problem, Held-Karp Algorithm, Parallel Computation, Dynamic Programming

Skripsi ini saya persembahkan untuk keluarga, rekan-rekan kampus,
juga untuk para wombat dan pelatihnya.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Kuasa, Allah SWT, atas izinNya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya untuk pembimbing skripsi, Ibu Joanna Helga, M.Sc., atas dukungan dan bimbingannya. Terimakasih juga saya ucapkan kepada keluarga yang selalu memberikan dukungannya dan juga kepada Bapak Dott. Thomas Anung Basuki dan Bapak Husnul Hakim, M.T. selaku penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya. Terimakasih juga saya sampaikan kepada Albert dan kepada rekan-rekan yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Semoga skripsi ini memberikan manfaat bagi pembaca.

Bandung, Mei 2018

Penulis

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR

DAFTAR TABEL

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Traveling salesman problem adalah pencarian sirkuit yang melewati semua simpul dengan bobot minimum dari graf yang diberikan. *Traveling salesman problem* dapat diselesaikan dengan beberapa teknik, di antaranya adalah adalah *brute force* dan *dynamic programming*. *Traveling salesman problem* dapat dibagi menjadi tiga kategori yaitu *asymmetric traveling salesman problem*, *symmetric traveling salesman problem*, dan *multi traveling salesman problem*.

Skripsi ini hanya berfokus pada jenis *asymetric traveling salesman problem* dan *symetric traveling salesman problem*. *Asymetric traveling salesman problem* merupakan masalah *traveling salesman problem* pada suatu graf di mana bobot sisi penghubung simpul a ke simpul b belum tentu sama dengan bobot sisi penghubung simpul b ke simpul a. *Symetric traveling salesman problem* merupakan masalah *traveling salesman problem* pada suatu graf di mana bobot sisi penghubung simpul a ke simpul b sama dengan bobot sisi penghubung simpul b ke simpul a untuk setiap pasangan a dan b.

Pencarian solusi *traveling salesman problem* dengan teknik *brute force* memiliki kompleksitas $O(n!)$ yang dapat dioptimasi dengan *dynamic programming* menjadi kompleksitas $O(2^n n^2)$. Walaupun telah dioptimasi dengan *dynamic programming* kompleksitas algoritma masih berada pada kategori eksponensial. Sampai saat ini belum ditemukan algoritma polinomial untuk mencari solusi dari *traveling salesman problem*.

Komputasi paralel merupakan teknik penyelesaian suatu masalah dengan menggunakan lebih dari satu *processing core* yang saling bekerja sama. Pada skripsi ini komputasi paralel dilakukan dengan menjalankan program pada beberapa *processing core* pada sebuah *processor*. Melakukan komputasi secara paralel dapat mempersingkat waktu yang dibutuhkan untuk menemukan solusi suatu masalah dibanding dengan melakukan komputasi secara sekuensial, namun untuk melakukan komputasi secara paralel dibutuhkan koordinasi antara *thread-thread* yang bekerja. Teknik komputasi *dynamic programming* secara paralel yang dibahas pada jurnal yang ditulis oleh Alex Stivala, dkk, yang berjudul "Lock-free Parallel Dynamic Programming", menunjukkan sebuah teknik umum yang mampu menerapkan komputasi paralel pada algoritma *dynamic programming*.

Pada skripsi ini, diimplementasikan sebuah perangkat lunak yang menerapkan komputasi paralel pada algoritma *dynamic programming* untuk mencari solusi dari *traveling salesman problem*. Perangkat lunak hasil implementasi digunakan dalam eksperimen untuk mengetahui hubungan antara banyak *thread* yang digunakan dengan kinerja algoritma.

1.2 Rumusan Masalah

Berikut adalah rumusan masalah dari penulisan skripsi:

- Bagaimana *traveling salesman problem* dapat diselesaikan dengan teknik *dynamic programming*?
- Bagaimana komputasi paralel dapat digunakan pada algoritma *dynamic programming*?

- Bagaimana cara penerapan komputasi paralel pada pencarian solusi *traveling salesman problem*?
- Bagaimana hubungan banyak *thread* yang digunakan dengan kinerja algoritma yang digunakan?

1.3 Tujuan

Berikut adalah tujuan dari penulisan skripsi:

- Mempelajari algoritma pencarian solusi dari *traveling salesman problem* dengan menggunakan *dynamic programming*.
- Mempelajari teknik penggunaan komputasi paralel pada *dynamic programming*.
- Merancang dan mengimplementasikan algoritma untuk mencari solusi dari *traveling salesman problem* dengan menggunakan *dynamic programming* yang dikomputasi secara paralel.
- Melakukan pengujian eksperimental untuk mengetahui hubungan antara banyak *thread* yang digunakan dengan kinerja algoritma.

1.4 Batasan Masalah

Perangkat lunak hanya mampu menyelesaikan *traveling salesman problem* berjenis *asymmetric traveling salesman problem* dan *symmetric traveling salesman problem*.

1.5 Metodologi

Bagian-bagian pekerjaan skripsi ini adalah sebagai berikut:

1. Studi literatur mengenai *traveling salesman problem*.
2. Studi literatur algoritma *dynamic programming* untuk mencari solusi dari *traveling salesman problem*.
3. Studi literatur penggunaan komputasi paralel pada algoritma *dynamic programming* dan struktur data yang digunakan.
4. Menerapkan komputasi paralel pada algoritma yang digunakan untuk mencari solusi dari *traveling salesman problem*.
5. Mengimplementasikan perangkat lunak.
6. Melakukan pengujian fungsional terhadap hasil implementasi.
7. Melakukan eksperimen untuk mengetahui hubungan antara banyak *thread* yang digunakan dengan kinerja algoritma.
8. Menulis dokumen skripsi.

1.6 Sistematika Pembahasan

Berikut adalah sistematika pembahasan skripsi:

1. Bab I Pendahuluan

   Bab 1 berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi, dan sistimatika pembahasan.

2. Bab II Landasan Teori

   Bab 2 berisi teori-teori dasar graf, lintasan dan sirkuit Hamilton, representasi graf dalam komputer, *traveling salesman problem*, *dynamic programming*, algoritma Held-Karp, dan teknik pembagian beban kerja pada komputasi paralel.

3. Bab III Analisis

   Bab 3 berisi analisis algoritma Held-Karp, penggunaan komputasi paralel pada algoritma Held-Karp dan struktur data yang digunakan.

4. Bab IV Perancangan

   Bab 4 berisi rancangan algoritma Held-Karp, rancangan pembagian beban kerja, serta rancangan struktur data.

5. Bab V Implementasi dan Pengujian

   Bab 5 berisi implementasi algoritma Held-Karp dengan komputasi paralel dan eksperimen untuk mengetahui hubungan antara banyak *thread* yang digunakan dengan kinerja algoritma.

6. Bab IV Kesimpulan dan Saran

   Bab 6 berisi kesimpulan yang dari hasil penelitian dan saran bagi pembaca yang akan melanjutkan penelitian.