

Aplikasi Graf Dalam Menentukan Jarak Terpendek Mendatangi Semua Wahana di Universal Studios Singapore

Michael Ray, 13517092¹
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
¹13517092@std.stei.itb.ac.id

Abstract—On holidays, people usually likes to go to theme parks like Universal Studios and such, and mostly people only managed to only ride a few of the attractions. This is why we need to plan our route ahead of time, one of the ways that can be applied is the Travelling Salesperson Problem using Prim algorithm. Using the Travelling Salesperson Problem Prim algorithm, we can plan the shortest route to ride all the attractions in a theme park.

Keywords—Attractions, Theme Parks, Travelling Salesperson Problem Prim algorithm, Universal Studios.

I. PENDAHULUAN

Berpegian pada hari libur bukanlah hal yang asing lagi, baik itu untuk menjenguk sanak keluarga atau untuk hiburan semata, dan tentunya siapa yang tidak mengenali pulau Sentosa di Singapore. Sebagai salah satu taman hiburan yang cukup terkenal oleh dunia, Universal Studios Singapura telah dikunjungi sekitar 4,22 juta orang di tahun 2017. Dengan lebih dari 28 wahana dan atraksi, Universal Studios Singapura berhasil memasuki 20 taman hiburan paling direkomendasikan. Dengan semakin dekatnya masa liburan, tentunya semakin banyak orang yang akan melacong untuk hiburan semata.

Penduduk dari seluruh dunia sering berkunjung ke Singapura baik untuk melihat salah satu bandar udara terindah, atau untuk sekedar berbelanja ria. Umumnya wisatawan hanya mengalokasikan waktu yang sedikit untuk mendatangi taman hiburan seperti ini, tanpa rute yang benar para wisatawan tidak bisa memaksimalkan setiap wahana yang ada.

Dengan menggunakan teori graf serta pengaplikasiannya terutama cara menyelesaikan Persoalan Pedagang Keliling dengan menggunakan algoritma Prim yang disesuaikan, penulis berharap bahwa dengan makalah ini dapat membantu para wisatawan untuk membuat rute perjalanan, khususnya untuk memaksimalkan kedatangan dan waktunya di taman hiburan.

Menurut pengamatan Republika.co.id, Indonesia telah menyumbang sekitar 3 juta orang sebagai pelancong di Singapura pada tahun 2017. Oleh karena itu penduduk Indonesia perlu mengetahui cara untuk merencanakan rute perjalanannya dengan efektif. Dengan menggunakan algoritma Prim yang sudah disesuaikan, perencanaan rute akan lebih mudah.



Gambar 1 – Peta Universal Studio Singapura
Sumber: <https://www.rwsentosa.com/-/media/project/non-gaming/rwsentosa/attractions/universal-studios-singapore/pdf/rws-universal-studios-singapore-park-map.pdf>

II. TEORI DASAR

2.1. Graf

Graf merupakan struktur diskrit yang terdiri dari dua bagian, yaitu simpul (*vertices*, *vertex*) dan himpunan sisi (*edges*), dan dinotasikan dengan $G = (V, E)$ dengan V merupakan himpunan tidak kosong dari simpul-simpul (*vertices*), dan E merupakan himpunan dari sisi (*edges*). V diharuskan tak kosong dikarenakan sebuah graf dapat dibentuk dengan minimal 1 buah simpul walau tanpa satupun sisi. Representasi umum dari graf dapat dilakukan dengan menggambar sisi menggunakan titik dan sisi menggunakan garis.

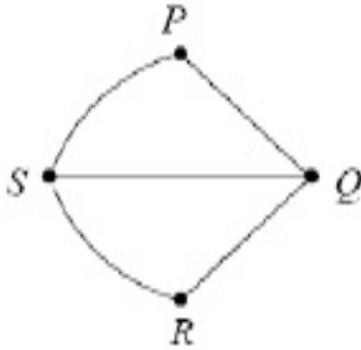
2.1.1. Terminologi Dasar

Terdapat istilah-istilah yang sering digunakan yang berkaitan dengan graf, yaitu:

1. Bertetangga (*Adjacent*)

Dua buah simpul dikatakan bertetangga jika kedua simpul

tersebut terhubung langsung oleh suatu sisi.



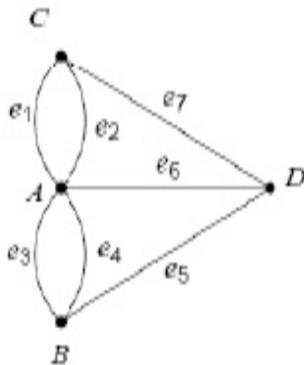
Gambar 2 – Contoh graf

Sumber: https://www.academia.edu/8723643/Definisi_Graf

Pada graf diatas : simpul P bertetangga dengan simpul Q dan S, tetapi simpul P tidak bertetangga dengan simpul R.

2. Bersisian (*Incident*)

Suatu sisi e dikatakan bersisian dengan simpul v_1 dan simpul v_2 Jika e menghubungkan kedua simpul tersebut, dengan kata lain $e = (v_1, v_2)$.



Gambar 3 – Contoh graf lain

Sumber: https://www.academia.edu/8723643/Definisi_Graf

Pada graf diatas sisi e_1 bersisian dengan simpul A dan C.

3. Simpul Terpencil (*Isolated Vertex*)

Simpul terpencil ialah simpul yang tidak mempunyai sisi yang bersisian dengannya (tidak memiliki tetangga).

4. Graf Kosong (*Null Graph* atau *Empty Graph*)

Graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong disebut sebagai graf kosong.

5. Derajat (*Degree*)

Derajat suatu simpul pada graf tak berarah adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut.

6. Lintasan (*Path*)

Lintasan yang panjangnya n dari simpul awal v_0 ke simpul tujuan v_n di dalam graf G ialah barisan berselangseling simpul-simpul dan sisi-sisi yang berbentuk $v_1, e_1, v_2, e_2, \dots, v_n, e_n$ sedemikian sehingga $e_1 = (v_0, v_1), e_2 = (v_1, v_2), \dots, e_n = (v_{n-1}, v_n)$ adalah sisi-sisi dari graf G .

7. Siklus (*Cycle*) atau Sirkuit (*Circuit*)

Lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut sirkuit atau siklus.

8. Terhubung (*Connected*)

Graf tak berarah G disebut graf terhubung jika untuk setiap pasang simpul v_i dan v_j di dalam himpunan V terdapat

lintasan dari v_i ke v_j . Jika tidak, maka G disebut graf tak terhubung. Graf berarah G dikatakan terhubung jika graf tak berarahnya terhubung (graf tak berarah dari G diperoleh dengan menghilangkan arahnya). Graf berarah G disebut graf terhubung kuat bila untuk setiap pasang simpul sembarang v_i dan v_j di G terhubung kuat. Kalau tidak, G disebut graf terhubung lemah.

9. Upagraf (*Subgraph*) dan Komplemen Upagraf

Misalkan $G = (V, E)$ adalah sebuah graf, $G_1 = (V_1, E_1)$ adalah upagraf (subgraph) dari G jika $V_1 \subseteq V$ dan $E_1 \subseteq E$. Komplemen dari upagraf G_1 terhadap graf G adalah graf $G_2 = (V_2, E_2)$ sedemikian sehingga $E_2 = E - E_1$ dan V_2 adalah himpunan simpul yang anggota-anggota E_2 bersisian dengannya. Komponen terhubung adalah upagraf terhubung dari graf G yang tidak termuat di dalam upagraf terhubung dari G yang lebih besar. Pada graf berarah, komponen terhubung kuat adalah upagraf yang terhubung kuat dari graf G yang tidak termuat di dalam upagraf terhubung kuat dari G yang lebih besar.

10. Upagraf Merentang (*Spanning Subgraph*)

Upagraf $G_1 = (V_1, E_1)$ dari $G = (V, E)$ dikatakan upagraf merentang jika $V_1 = V$ (G_1 mengandung semua simpul dari G).

11. *Cut-Set*

Cut-set dari graf terhubung G adalah himpunan sisi yang bila dibuang dari G menyebabkan G tidak terhubung. Jadi, *cut-set* selalu menghasilkan dua buah komponen terhubung. 12. Graf Berbobot (*Weighted Graph*) Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga (bobot).

2.1.2. Jenis-Jenis Graf

Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa kategori (jenis) sesuai dengan suatu sudut pandang tertentu. Berikut adalah beberapa jenis graf berdasarkan jenis sisi yang ada pada graf.

1. Graf Sederhana (*Simple Graph*)

Sisi-sisi pada graf sederhana tidak memiliki arah, tidak ada sisi ganda, dan tidak ada sisi gelang.

Contoh: Gambar 2

2. Graf Ganda

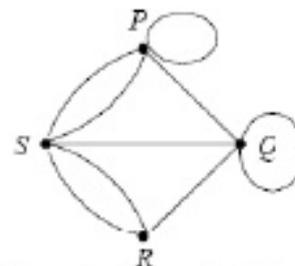
Sisi-sisi pada graf ganda tidak memiliki arah, memiliki sisi ganda, tetapi tidak memiliki sisi gelang.

Contoh: Gambar 3

3. Graf Semu

Sisi-sisi pada graf semu tidak memiliki arah, tetapi memiliki sisi gelang atau sisi ganda.

Contoh:



Gambar 4 – Graf semu

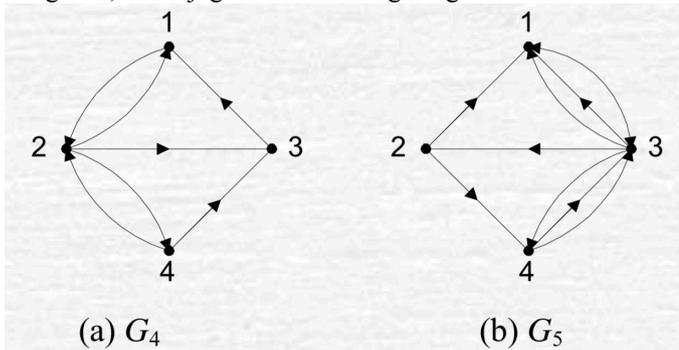
Sumber: https://www.academia.edu/8723643/Definisi_Graf

4. Graf Berarah

Sisi-sisi pada graf berarah memiliki arah dan bisa memiliki sisi gelang, tetapi tidak boleh memiliki sisi ganda.

5. Graf Ganda Berarah

Sisi-sisi pada graf ganda berarah memiliki arah dan memiliki sisi ganda, boleh juga memiliki sisi gelang.



Gambar 5 – (a) Graf berarah, (b) Graf ganda berarah
Sumber:

[http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2015-2016/Graf%20\(2015\).pdf](http://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2015-2016/Graf%20(2015).pdf)

Berikut tabel untuk mempermudah pembacaan.

Tabel I – Jenis-jenis graf

Jenis	Sisi	Sisi ganda	Sisi gelang
Graf sederhana	Tak berarah	Tidak	Tidak
Graf ganda	Tak berarah	Ya	Tidak
Graf semu	Tak berarah	Ya	Ya
Graf berarah	Berarah	Tidak	Ya
Graf ganda berarah	Berarah	Ya	Ya

2.1.3. Lintasan dan Sirkuit Hamilton

Lintasan Hamilton ialah lintasan yang melalui tiap simpul di dalam graf tepat satu kali. Sirkuit Hamilton ialah sirkuit yang melalui tiap simpul didalam graf tepat satu kali, kecuali simpul asal (sekaligus simpul akhir) yang dilalui dua kali. Graf yang memiliki sirkuit Hamilton dinamakan graf Hamilton, sedangkan graf yang hanya memiliki lintasan Hamilton disebut graf semi-Hamilton.

Syarat cukup supaya graf sederhana G dengan n (≥ 3) buah simpul adalah graf Hamilton ialah bila derajat tiap simpul paling sedikit $\frac{n}{2}$. Setiap graf lengkap adalah graf Hamilton. Di dalam graf lengkap G dengan n buah simpul ($n \geq 3$), terdapat $\frac{(n-1)!}{2}$ buah sirkuit Hamilton.

Di dalam graf lengkap G dengan n buah simpul ($n \geq 3$ dan n ganjil), terdapat $\frac{(n-1)}{2}$ buah sirkuit Hamilton yang saling lepas (tidak ada sisi yang beririsan). Jika n genap dan $n \geq 4$, maka di dalam G terdapat $\frac{(n-2)}{2}$ buah sirkuit Hamilton yang saling lepas.

2.1.4. Travelling Salesman Problem (TSP)

Diberikan sejumlah kota dan diketahui jarak antar kota. Tentukan tur terpendek yang harus dilalui oleh seorang pedagang bila pedagang itu berangkat dari sebuah kota asal dan menyinggahi setiap kota tepat satu kali dan kembali lagi ke kota asal keberangkatan. Masalah ini sama dengan menentukan sirkuit Hamilton dengan bobot terendah.

2.2. Pohon

Pohon merupakan graf yang khusus. Pohon adalah graf tak berarah terhubung yang tidak mengandung sirkuit.

2.2.1. Sifat-Sifat Pohon

Misalkan $G = (V, E)$ adalah graf tak berarah sederhana dan jumlah simpulnya n . Maka, semua pernyataan di bawah ini adalah ekuivalen:

1. G adalah pohon
2. Setiap pasang simpul di dalam G terhubung dengan lintasan tunggal
3. G terhubung dan memiliki $m = n - 1$ buah sisi
4. G tidak mengandung sirkuit dan memiliki $m = n - 1$ buah sisi
5. G tidak mengandung sirkuit dan penambahan satu sisi pada graf akan membuat hanya satu sirkuit
6. G terhubung dan semua sisinya adalah jembatan (jembatan adalah sisi yang bila dihapus menyebabkan graf terpecah menjadi dua komponen)

2.2.2. Pohon Merentang

Misalkan $G = (V, E)$ adalah graf tak berarah terhubung yang bukan pohon, yang berarti di G terdapat beberapa sirkuit. G dapat diubah menjadi pohon $T = (V1, E1)$ dengan cara memutuskan sirkuit-sirkuit yang ada. Caranya, mula-mula dipilih sebuah sirkuit, lalu hapus satu buah sisi dari sirkuit ini. G akan tetap terhubung dan jumlah sirkuitnya berkurang satu. Bila proses ini dilakukan berulang-ulang sampai semua sirkuit di G hilang, maka G menjadi sebuah pohon T , yang dinamakan pohon merentang (spanning tree). Disebut pohon merentang karena semua simpul pada pohon T sama dengan semua simpul pada graf G , dan sisi-sisi pada pohon $T \subseteq$ sisi-sisi pada graf G . Dengan kata lain, $V1 = V$ dan $E1 \subseteq E$.

Pohon merentang didefinisikan hanya untuk graf terhubung, karena pohon selalu terhubung. Pada graf tak terhubung dengan n buah simpul kita tidak dapat menemukan upagraf terhubung dengan n buah simpul. Tiap komponen dari graf tak terhubung mempunyai satu buah pohon merentang. Dengan demikian, graf tak terhubung dengan k komponen mempunyai hutan merentang yang terdiri dari k buah pohon merentang. Pada graf terhubung terdapat setidaknya satu buah pohon merentang.

2.2.3. Pohon Merentang Minimum

Jika G adalah graf berbobot, maka bobot pohon merentang T dari G didefinisikan sebagai jumlah bobot semua sisi di T . Pohon merentang yang berbeda mempunyai bobot yang berbeda pula. Di antara semua pohon merentang di G , pohon merentang yang berbobot minimum (pohon merentang minimum) merupakan pohon merentang yang paling penting. Terdapat dua buah algoritma membangun pohon merentang minimum, yaitu algoritma Prim dan algoritma Kruskal. Karena makalah ini membahas penggunaan graf dan pohon merentang minimum dengan algoritma Prim, maka yang akan dibahas disini hanya algoritma Prim saja.

2.2.4. Algoritma Prim

Algoritma Prim adalah salah satu cara untuk menemukan pohon merentang minimum dari sebuah graf. Pada setiap langkah kita mengambil sisi dari graf G yang mempunyai bobot minimum namun terhubung dengan pohon merentang minimum T yang telah terbentuk.

Cara kerja algoritma Prim yaitu seperti berikut:

1. Ambil sisi dari graf G yang berbobot minimum, masukkan ke dalam T

2. Pilih sisi (u, v) yang mempunyai bobot minimum dan bersisian dengan simpul di T , tetapi (u, v) tidak membentuk sirkuit di T . Tambahkan (u, v) ke dalam T .
3. Ulangi langkah 2 sebanyak $n - 2$ kali.

2.2.5. Algoritma Prim yang Digunakan Untuk Menyelesaikan TSP

Untuk menyelesaikan TSP, kita dapat menggunakan algoritma Prim yang dimodifikasi, yaitu mengubah langkah 2 pada algoritma Prim biasa dengan langkah:

2. Pilih sisi yang memiliki bobot terkecil dan bersisian dengan simpul terakhir dari sisi yang dipilih sebelumnya. Tetapi jika sirkuit yang terbentuk belum melalui semua simpul, cari simpul terdekat e_1 (yang sudah memiliki sisi) dengan simpul yang terpencil e_2 lalu hilangkan semua sisi yang tadinya terhubung dengan e_1 , lalu hapus semua sisi yang merupakan hasil dari langkah setelahnya.

III. PENGGUNAAN ALGORITMA PRIM TERMODIFIKASI DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK DI UNIVERSAL STUDIO SINGAPURA

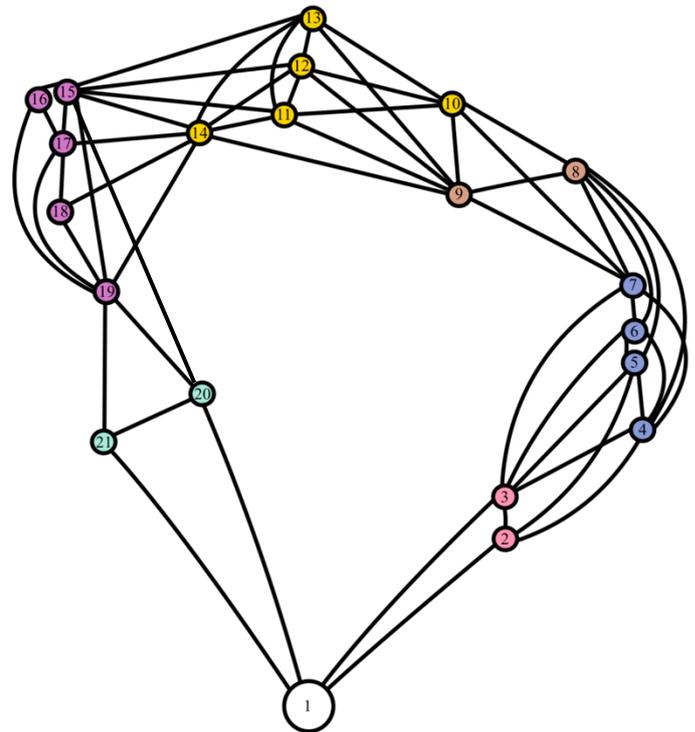
Berikut adalah gambar peta Universal Studio Singapura.



Gambar 6 – Peta Universal Studio Singapura

Sumber: <https://www.rwsentosa.com/-/media/project/non-gaming/rwsentosa/attractions/universal-studios-singapore/pdf/rws-universal-studios-singapore-park-map.pdf>

Berikut graf yang memperlihatkan posisi setiap wahana beserta gerbang masuk di Universal Studio Singapura dan juga tabel nama setiap wahana di Universal Studio Singapura.



Gambar 7 – Graf sederhana dari semua wahana di Universal Studio Singapura
Sumber: Penulis

Tabel II – Nama setiap wahana di Universal Studio Singapura Sesuai Gambar 7

No.	Nama Wahana
1	Gerbang Masuk
2	Sesame Street Spaghetti Space Chase
3	Lights, Camera, Action!
4	TRANSFORMERS The Ride: The Ultimate 3D Battle
5	Accelerator
6	Battlestar Galactica: Cyclon
7	Battlestar Galactica: Human
8	Revenge of the Mummy
9	Treasure Hunters
10	Jurassic Park Rapids Adventure
11	Canopy Flyer
12	Dino-Soarin'
13	Amber Rock Climb
14	WaterWorld
15	Puss In Boots' Giant Journey
16	Donkey LIVE
17	Magic Potion Spin
18	Shrek 4D Adventure
19	Enchanted Airways
20	King Julien's Beach Party-Go-Round
21	Madagascar: A Crate Adventure

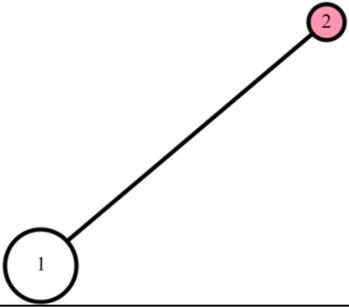
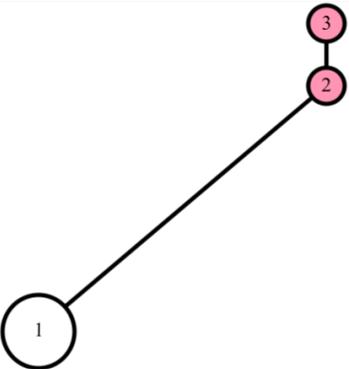
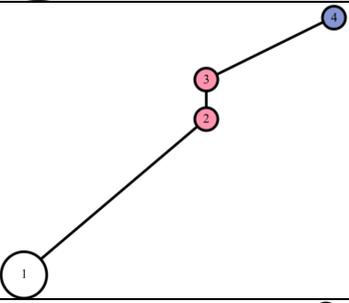
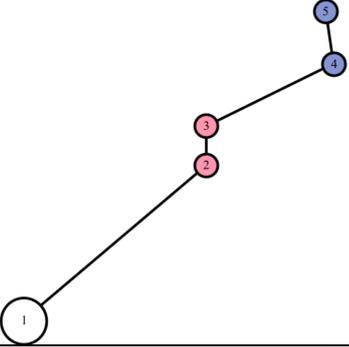
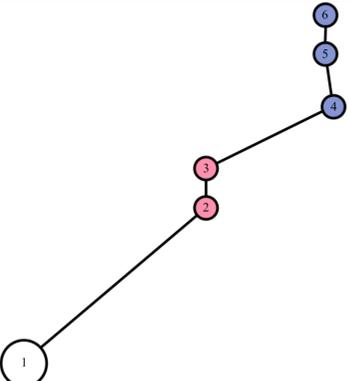
Berikut merupakan table yang menunjukkan jarak antar wahana yang dibuat berdasarkan *google earth* dengan beberapa penyesuaian.

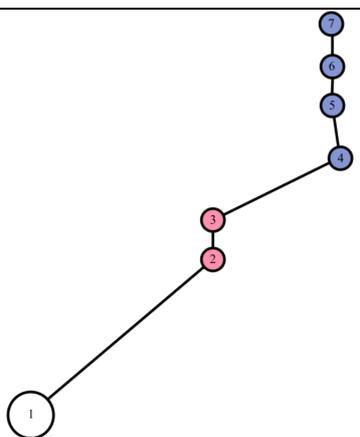
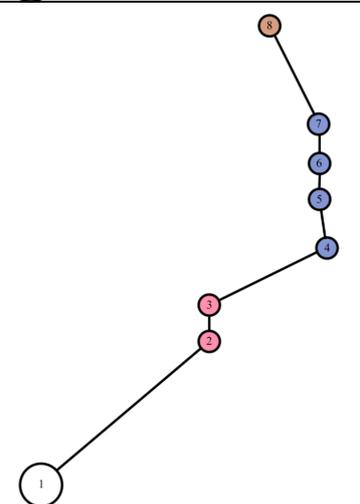
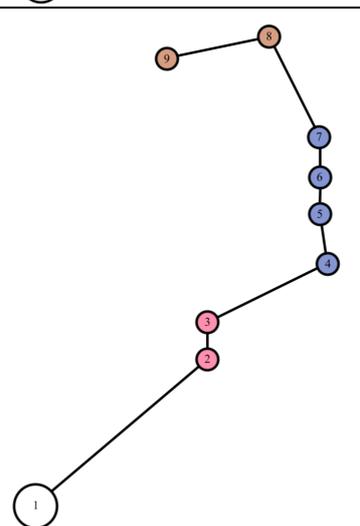
Tabel III – Bobot sisi pada graf gambar 7

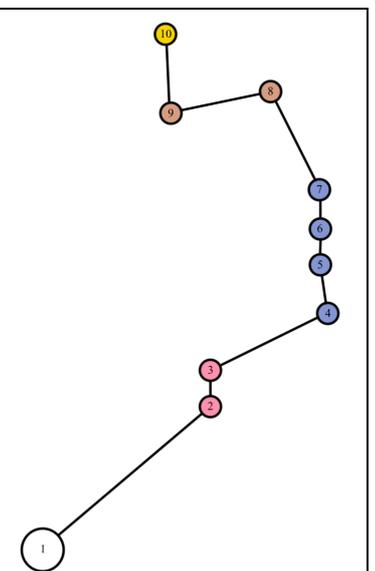
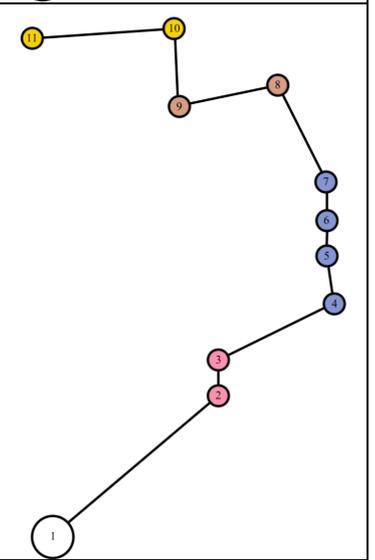
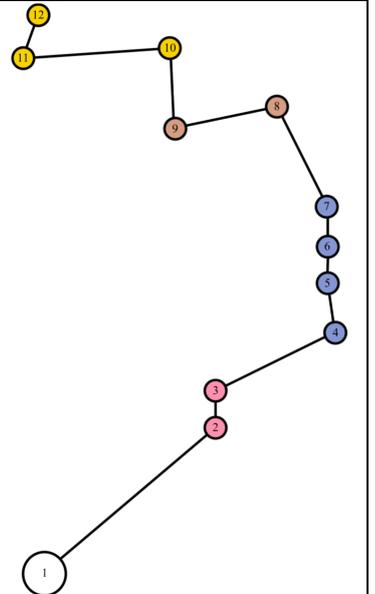
Sisi	Jarak (m)
(1, 2)	172,94
(1, 3)	182,5

(1, 20)	212,5
(1, 21)	177
(2, 3)	18,15
(2, 4)	128,29
(2, 5)	23,26
(3, 4)	126,03
(3, 5)	142,69
(3, 6)	201,87
(3, 7)	208,14
(4, 5)	18,25
(4, 6)	74,74
(4, 7)	81,45
(4, 8)	172,7
(5, 6)	52,39
(5, 8)	96,5
(6, 7)	2,71
(6, 8)	97,8
(7, 8)	94,28
(7, 9)	126,05
(7, 10)	233,78
(8, 9)	51,67
(8, 10)	153,34
(9, 10)	196,07
(9, 11)	204,83
(9, 12)	220,5
(9, 13)	257,29
(9, 14)	231,94
(10, 11)	54,91
(10, 12)	85,93
(10, 13)	199,99
(11, 12)	30,28
(11, 13)	63,71
(11, 14)	113,56
(11, 15)	192,89
(12, 13)	30,54
(12, 14)	152,7
(12, 15)	223,02
(13, 14)	174,9
(13, 15)	253,38
(14, 15)	145,46
(14, 17)	125,97
(14, 18)	96,43
(14, 19)	121,17
(15, 16)	20,86
(15, 17)	45,4
(15, 19)	100,3
(15, 20)	225,27
(16, 17)	24,33
(16, 19)	80,44
(17, 18)	58,93
(17, 19)	80,08
(18, 19)	23,47
(19, 20)	124,97
(19, 21)	103,59
(20, 21)	43,95

Dengan menerapkan persoalan TSP, kita dapat menemukan sirkuit Hamilton dengan bobot terendah yang dimulai dari gerbang masuk. Berikut langkah-langkah pengerjaannya.

No	Sisi	Bobot	Sirkuit
1	(1, 2)	172,94	
2	(2, 3)	18,15	
3	(3, 4)	126,03	
4	(4, 5)	18,25	
5	(5, 6)	52,39	

6	(6, 7)	2,71	
7	(7, 8)	94,28	
8	(8, 9)	51,67	

9	(9, 10)	196,07	
10	(10, 11)	54,91	
11	(11, 12)	30,28	

12	(12, 13)	30,54	
13	(13, 14)	174,9	
14	(14, 18)	96,43	

15	(18, 19)	23,47	
16	(19, 17)	80,08	
17	(17, 16)	24,33	
18	(16, 15)	20,86	

19	(15, 20)	225,27	
20	(20, 21)	43,95	
21	(21, 1)	58,93	

Berdasarkan sirkuit Hamilton yang terbentuk, maka didapat jarak minimum yang dibutuhkan untuk mendatangi setiap wahana di Universal Studio Singapura, yaitu 1714,51 m.

IV. KESIMPULAN

Teori graf dan pohon memang sangat berguna di kehidupan nyata; terbukti dari teori yang penulis gunakan pada makalah ini. Contoh penggunaan teori graf dan pohon adalah untuk menentukan rute/sirkuit terpendek untuk mendatangi setiap wahana di Universal Studio Singapura dengan setiap wahana digambarkan dengan simpul dan jalur yang digunakan dengan sisi.

Tentunya hasil yang penulis capai pada makalah ini belum sepenuhnya benar, dikarenakan adanya pemotongan jumlah sisi pada graf sederhana peta yang penulis buat, dan juga jarak yang kurang tepat dikarenakan penulis hanya menggunakan aplikasi berbasis *web* dan mata penulis yang kurang akurat.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada tuhan yang maha Esa, karena tanpa berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan makalah ini tepat pada waktunya. Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada Ibu Harlili karena sudah bersabar mengajar di kelas penulis sehingga penulis dapat mengerti semua materi yang disuguhkan. Tak lupa penulis ucapkan terma kasih kepada teman-teman dan keluarga penulis karena tanpa dukungan dan segala bantuan mereka, tentu penulis akan sulit menemukan ide judul makalah ini.

REFERENCES

- [1] Munir, Rinaldi. 2006. *Matematika Diskrit*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
- [2] https://earth.google.com/web/@1.25562344,103.82256042,10.83042081a_148.60709531d,35v,7.74105101h,0t,0r?authuser=0
- [3] Hasanah, Lia. *Definisi Graf*. https://www.academia.edu/8723643/Definisi_Graf. Diakses 7 Desember 2018.
- [4] Robinett, John. 2016. *Theme Index Museum Index 2016*. Los Angeles: Themed Entertainment Association. <https://www.rwsentosa.com/en>. Diakses 6 Desember 2018.
- [5] Pratama, Deny. 2017. *Cara Menulis Daftar Pustaka Yang Baik dan Benar*. <https://carabermanfaat.com/cara-menulis-daftar-pustaka>. Diakses 10 Desember 2018.
- [6] Subarkah, Muhammad. 2018. *Turis Indonesia Bukan Lagi Terbanyak di Singapura*. <https://www.republika.co.id/berita/internasional/asia/18/02/12/p40tqp385-turis-indonesia-bukan-lagi-terbanyak-di-singapura>. Diakses 10 Desember 2018.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 3 Desember 2017

Michael Ray
13517092