

Penerapan Graf dan Algoritma Prim dalam Perancangan Rute Wisata di Kota Tokyo yang Efisien

Abner Adhiwijna 13516033¹
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
¹13516033@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Pada zaman ini, efisiensi adalah hal yang penting dan sebaiknya dilakukan. Manusia telah berkembang sehingga dapat melakukan efisiensi untuk banyak hal. Berwisata termasuk dalam hal tersebut. Dalam perencanaan sebuah kunjungan wisata, rute yang direncanakan harus efisien. Hal ini dimaksud agar lebih banyak tempat yang bisa dikunjungi dan mengurangi waktu yang digunakan hanya untuk berpindah tempat. Efisiensi pemilihan rute sebuah kunjungan wisata dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Prim. Hal ini dilakukan dengan merepresentasikan objek wisata sebagai graf berbobot dan mencari pohon merentang minimumnya.

Keywords—efisiensi, algoritma Prim, graf, pohon, rute wisata kota Tokyo.

I. PENDAHULUAN

Salah satu tujuan wisata luar negeri yang ingin dikunjungi banyak orang adalah Jepang. Pada tahun 2016, jumlah wisatawan Indonesia ke Jepang meningkat 32 persen dibandingkan tahun sebelumnya. Jepang diidami karena beberapa alasan. Beberapa alasan tersebut adalah makanannya, keindahan alamnya, beberapa infrastruktur objek wisata, dan budayanya yang unik.

Tokyo merupakan ibu kota Jepang. Jika, seseorang ingin berwisata ke Jepang, pastinya Tokyo tidak akan terlepas dari pikiran orang tersebut.

Tokyo memiliki cukup banyak objek wisata, sedangkan tentunya waktu berwisata terbatas. Mengunjungi kembali suatu kota diluar negeri tentu bukanlah solusi yang ideal karena masalah waktu dan harga. Oleh karena itu, solusi paling baik dapat dibidang adalah memaksimalkan kunjungan tersebut dengan merancang rute kunjungan objek wisata yang efisien.

Sebenarnya ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan saat memaksimalkan perancangan rute wisata. Faktor-faktor tersebut antara lain waktu yang ingin dihabiskan pada suatu objek wisata, jarak antar objek wisata, dan transportasi. Tetapi, makalah ini akan memfokuskan pada jarak antar objek wisata saja.

Salah satu solusi untuk merancang rute wisata yang efisien adalah dengan menggunakan algoritma Prim. Suatu objek wisata dapat direpresentasikan sebagai suatu simpul pada graf berbobot dengan bobot setiap lintasan merupakan jarak antar objek wisata.

II. LANDASAN TEORI

Dalam bab ini akan dijelaskan teori yang berkaitan, yaitu graf, graf berbobot, dan algoritma prim.

A. Graf

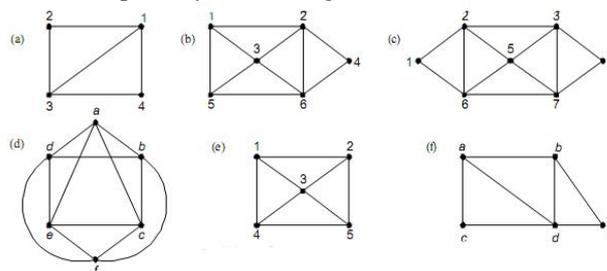
Graf adalah pasangan himpunan yang terdiri dari himpunan simpul (*node*) dan himpunan sisi (*edge*) yang menghubungkan simpul. Graf dapat ditulis dengan notasi $G = (V, E)$ dengan V merupakan himpunan tidak kosong simpul dan E adalah himpunan mungkin kosong dari sisi.

Himpunan simpul pada graf tidak boleh kosong, sedangkan himpunan sisi pada graf boleh kosong. Hal ini berarti sebuah graf dibolehkan tidak mempunyai sebuah sisi pun, tetapi harus memiliki setidaknya satu buah simpul. Suatu graf yang hanya memiliki satu buah simpul dan tidak memiliki sisi dinamakan graf trivial.

Simpul-simpul pada graf dapat diberi tanda atau nama dengan huruf, angka, atau gabungannya. Sisi-sisi pada graf yang menghubungkan dua simpul a dengan b dapat dinyatakan dengan pasangan (a, b) atau dengan lambang e_1, e_2 dan seterusnya. Oleh karena itu, dapat dikatakan bahwa sebuah sisi e yang menghubungkan simpul a dan b dapat ditulis seperti berikut:

$$e = (a, b)$$

Kardinalitas graf merupakan jumlah simpul pada graf. Kardinalitas graf dapat dinyatakan dengan $n = |V|$, sedangkan jumlah sisi dapat dinyatakan dengan $m = |E|$.



Gambar 1. Berbagai jenis graf (sumber: <http://anggaraagusyoga.blogspot.co.id/2011/09/graf-euler-dan-hamilton.html>)

1. Jenis-Jenis Graf

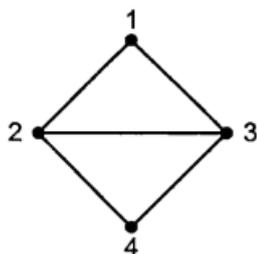
Graf dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis berdasarkan dasar pengelompokan yang berbeda. Dasar pengelompokan tersebut adalah ada tidaknya sisi ganda atau sisi

kalang, berdasarkan jumlah simpul, atau berdasarkan orientasi arah sisi pada graf.

Berdasarkan ada atau tidaknya sisi ganda atau sisi kalang:

a. Graf Sederhana

Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung gelang dan sisi ganda.



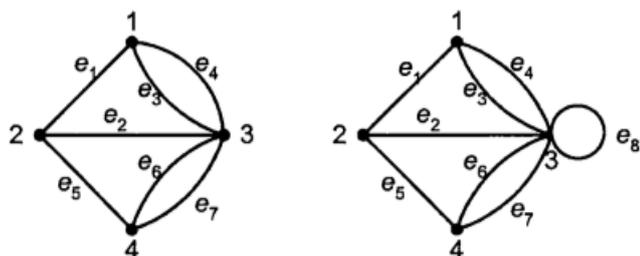
Gambar 2. Graf sederhana (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

b. Graf Tak Sederhana

Graf tak sederhana merupakan kebalikan dari graf sederhana. Graf tak sederhana mengandung sisi ganda atau gelang. Graf tak sederhana dibagi lagi menjadi dua macam, yaitu graf ganda dan graf semu.

Graf ganda adalah graf yang memiliki sisi ganda. Sisi ganda dari suatu pasang simpul dapat lebih dari dua buah. Setiap graf sederhana juga merupakan graf ganda, tetapi tidak setiap graf ganda merupakan graf sederhana.

Graf semu adalah graf yang mengandung gelang. Sebuah gelang adalah suatu sisi yang menghubungkan simpul yang sama.



Gambar 3. Graf tak sederhana (kiri) graf ganda (kanan) graf semu (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

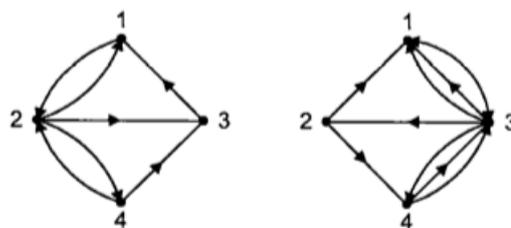
Berdasarkan orientasi arah pada sisi:

a. Graf Tak Berarah

Graf tak berarah adalah graf yang sisi-sisinya tidak mempunyai orientasi arah. Pada graf ini, urutan penulisan pasangan simpul pada sisi tidak relevan. Sisi (a, b) dan (b, a) merupakan sisi yang sama.

b. Graf Berarah

Graf berarah adalah graf yang setiap sisinya memiliki orientasi arah. Sisi pada graf berarah dapat juga disebut busur. Berbeda dengan graf tak berarah, urutan penulisan pasangan simpul pada sisi relevan. Sisi (a, b) dan (b, a) merupakan dua sisi yang berbeda. Pada busur (a, b) , simpul a dinamakan simpul asal dan simpul b dinamakan simpul terminal.



Gambar 4. Graf berarah (kiri) graf berarah sederhana (kanan) graf-ganda berarah (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

2. Terminologi pada Graf

Ada beberapa terminologi (istilah) yang berhubungan dengan graf. Berikut adalah beberapa terminologi pada graf:

a. Bertetangga

Dua buah simpul pada suatu graf tak berarah dapat dikatakan bertetangga bila kedua simpul tersebut dihubungkan oleh sebuah sisi. Pada graf berarah, dua buah simpul dikatakan bertetangga bila dihubungkan oleh sebuah busur.

b. Bersisian

Sebuah sisi dikatakan bersisian dengan kedua simpul yang dihubungkannya. Dengan kata lain, sebuah sisi $e = (a, b)$, sisi e bersisian dengan simpul a dan simpul b .

c. Simpul Terpencil

Sebuah simpul terpencil adalah simpul yang tidak memiliki sisi yang bersisian dengannya. Sebuah simpul terpencil dapat juga dinyatakan sebagai sebuah simpul yang tidak bertetangga dengan satupun simpul lainnya.

d. Graf Kosong

Graf kosong adalah graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong. Dengan kata lain, graf kosong tidak memiliki sisi dan semua simpulnya merupakan simpul terpencil.

e. Derajat

Derajat suatu simpul pada graf adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut. Derajat sebuah simpul a dapat dinyatakan sebagai $d(a)$. Sebuah simpul a yang merupakan simpul terpencil adalah simpul dengan $d(a) = 0$.

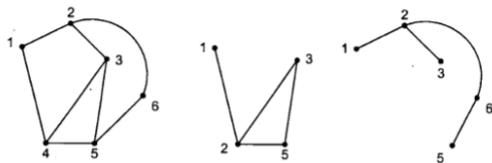
Sebuah gelang pada graf semu dihitung berderajat dua. Sebuah sisi gelang (a, a) dihitung bersisian pada simpul a dua kali.

Pada graf berarah, derajat simpul dibedakan berdasarkan jumlah busur dengan simpul tersebut sebagai simpul asal dan simpul terminal. Untuk sebuah simpul a , $d_{in}(a)$ merupakan derajat masuk (jumlah busur yang masuk ke simpul a), $d_{out}(a)$ merupakan derajat keluar (jumlah busur yang keluar dari simpul a), dan $d(a) = d_{in}(a) + d_{out}(a)$

f. Lintasan

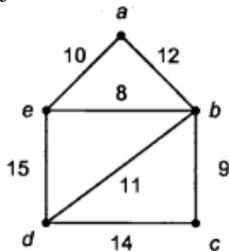
Lintasan dengan panjang n dari simpul awal a ke simpul tujuan b dalam suatu graf adalah barisan simpul-simpul dan sisi-sisi yang menunjukkan arah dari simpul a ke simpul b melewati beberapa simpul dan beberapa sisi sebanyak n .

- g. Sirkuit
Sirkuit pada suatu graf adalah lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama.
- h. Terhubung
Dua simpul a dan b pada graf terhubung jika terdapat lintasan dari a ke b . Pada graf terhubung, setiap pasang simpul terhubung.
Pada graf berarah, simpul a dan b dikatakan terhubung kuat jika terdapat lintasan berarah dari a ke b dan juga dari b ke a . Simpul a dan b dikatakan terhubung lemah jika lintasan hanya terdapat satu arah, a ke b atau b ke a .
- i. Upagraf dan Komplemen Upagraf
Sebuah upagraf dari graf $G = (V, E)$ adalah sebuah graf $G_1 = (V_1, E_1)$ dengan $V_1 \subseteq V$ dan $E_1 \subseteq E$.
Komplemen dari upagraf G_1 adalah $G_2 = (V_2, E_2)$ dengan $E_2 = E - E_1$ dan E_2 bersisian simpul pada himpunan simpul V_2 .



Gambar 5. Sebuah graf (kiri), upagraf (tengah), dan komplemennya (kanan). (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

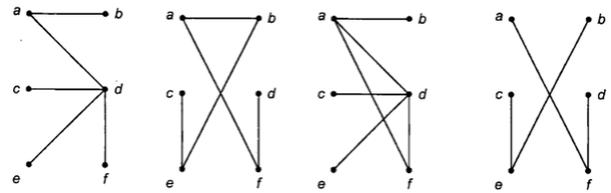
- j. Upagraf Merentang
Sebuah upagraf G_1 dikatakan upagraf merentang dari graf G bila upagraf G_1 menandung seluruh simpul dari G .
- k. Graf Berbobot
Sebuah graf berbobot adalah graf yang pada setiap sisinya diberi sebuah bobot. Arti dari bobot ini dapat berbeda-beda bergantung pada aplikasi dari graf. Contoh masalah yang dapat dimodelkan graf berbobot adalah jarak antar kota, waktu tempuh, dan lain-lain.



Gambar 6. Graf berbobot (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

B. Pohon

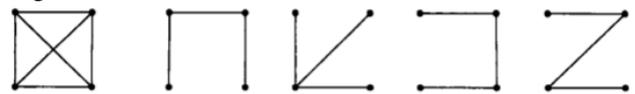
- Pohon adalah sebuah graf dengan ciri-ciri khusus. Sebuah pohon adalah graf tak berarah terhubung yang tidak memiliki sirkuit. Beberapa sifat pohon pada pohon $G = (V, E)$ adalah:
- Setiap pasangan simpul pada V terhubung dengan lintasan tunggal
 - G terhubung dan memiliki $|E| = |V| - 1$ buah sisi
 - G tidak mengandung sirkuit



Gambar 7. Pohon dan bukan pohon. Dua graf paling kiri adalah pohon, dua graf paling kanan bukan pohon. (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

C. Pohon Merentang

Misalkan sebuah graf G yang merupakan suatu graf tak berarah terhubung dan bukan pohon, pohon merentang dari G adalah upagraf merentang dari G yang merupakan sebuah pohon. Sebuah pohon merentang minimum dari suatu graf berbobot adalah pohon merentang dengan total bobot paling kecil (minimum) dibandingkan pohon merentang lainnya dari graf yang sama.



Gambar 8. Pada paling kiri terdapat sebuah graf. Empat gambar lainnya adalah pohon merentang dari graf tersebut. (sumber: Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3.)

D. Algoritma Prim

Misalkan sebuah pohon merentang T dari graf berbobot G . Algoritma Prim membentuk T sebagai pohon merentang minimum dari G dengan langkah satu per satu. Pada setiap langkah, diambil satu sisi dari G yang mempunyai bobot minimum, bersisian dengan simpul dalam T , tetapi tidak membentuk sirkuit pada T .

Langkah-langkah dari algoritma Prim adalah sebagai berikut:

1. Ambil sisi graf $G = (V, E)$ yang memiliki bobot minimum dan masukkan ke dalam T .
2. Pilih sisi dari graf G yang belum ada pada T , mempunyai bobot minimum, bersisian dengan simpul di T , tetapi tidak membentuk sirkuit dalam T . Tambahkan sisi yang dipilih ke dalam T .
3. Ulangi langkah 2 sebanyak $|E| - 2$ kali

III. OBJEK WISATA DI TOKYO

Ada banyak objek wisata di Tokyo. Namun, pada makalah ini, penulis akan memilih beberapa objek wisata populer antara lain:

1. Asakusa Shrine
2. Nakamise Shopping Street
3. Meiji Shrine
4. Imperial Palace
5. Tsukiji Fish Market
6. Tokyo Skytree
7. Kabukicho
8. Akihabara
9. Tokyo Tower
10. Shibuya Crossing
11. Harajuku

- 1 Asakusa Shrine
- 2 Nakamise Shopping Street
- 3 Meiji Shrine
- 4 Imperial Palace
- 5 Tsukiji Fish Market
- 6 Tokyo Skytree
- 7 Kabukicho
- 8 Akihabara
- 9 Tokyo Tower
- 10 Shibuya Crossing
- 11 Harajuku



Gambar 9. Lokasi objek-objek wisata Tokyo pada peta.
(sumber: Dibuat oleh penulis dengan bantuan google maps,
credit logo penanda : Maps Icons Collection
<https://mapicons.mapsmarker.com>)

Beberapa penjelasan singkat untuk objek-objek wisata yang dipilih:

1. Asakusa Shrine
Asakusa Shrine ini terletak sangat berdekatan dengan Sensōji Temple. Sensōji Temple adalah kuil kuno Buddha terbesar dan juga kuil tertua di Tokyo.
2. Nakamise Shopping Street
Terletak dekat dengan Sensōji, Nakamise Shopping Street adalah salah satu pusat perbelanjaan tertua di Jepang. Jalan ini didekorasi banyak lentera berwarna merah. Pengunjung dapat membeli souvenir Jepang dan makanan local.
3. Meiji Shrine
Meiji Shrine adalah kuil Shinto yang dibangun untuk roh Kaisar Meiji dan istrinya. Terkenal oleh masyarakat local untuk kunjungan kuil.
4. Imperial Palace
Tokyo Imperial Palace adalah istana yang dahulunya Istana Edo. Sekarang digunakan sebagai tempat tinggal kaisar Jepang. Terdapat juga Imperial Garden yang merupakan taman dalam istana yang terbuka untuk publik.
5. Tsukiji Fish Market
Tsukiji Fish Market adalah pasar penjualan ikan dan seafood. Salah satu hal menarik di sini adalah pelelangan ikan tuna.
6. Tokyo Skytree
Menara tinggi dengan dek observasi yang menawarkan pemandangan kota Tokyo. Pada dasarnya terdapat kompleks perbelanjaan dengan aquarium dengan nama Solamachi Town.
7. Kabukichō
Kabukichō adalah distrik hiburan malam yang penuh dengan bar, toko, restoran, dan klub. Kabukichō terdapat pada Shinjuku.

8. Akihabara
Akihabara merupakan distrik perbelanjaan yang memiliki berbagai jenis perangkat elektronik. Akihabara juga terkenal sebagai kota manga dan anime, dengan ratusan toko yang berhubungan. Di sini terdapat banyak *arcade game center*, karaoke, dan restoran.
9. Tokyo Tower
Tokyo tower adalah menara setinggi 332.5 meter yang dibangun pada tahun 1958. Pengunjung dapat menaiki Menara menuju observatorium utama pada ketinggian 150 meter dan observatorium spesial pada ketinggian 250 meter untuk mendapat pemandangan kota Tokyo dari ketinggian yang cukup tinggi.
10. Shibuya Crossing
Jalan terkenal yang telah muncul dalam banyak film dan fotografi. Dekat dengan tempat ini juga terdapat patung Hachiko, seekor anjing yang setia pada pemiliknya.
11. Harajuku
Harajuku adalah kota sebelah Shibuya, terkenal sebagai pusat fesyen.

IV. PERANCANGAN RUTE WISATA YANG EFISIEN

- A. Pembentukan Graf Berbobot dari Objek Wisata
Berdasarkan data dari Google Maps, didapat graf berbobot dengan bobot merupakan jarak antar objek wisata (dalam kilometer). Graf dibuat dalam bentuk matriks ketetangaan dengan penomoran:
 1. Asakusa Shrine
 2. Nakamise Shopping Street
 3. Meiji Shrine
 4. Imperial Palace
 5. Tsukiji Fish Market
 6. Tokyo Skytree
 7. Kabukicho
 8. Akihabara
 9. Tokyo Tower
 10. Shibuya Crossing
 11. Harajuku

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0.372	9.87	5.23	6.33	1.32	8.85	2.55	7.85	10.7	9.25
2	0.372	0	9.63	4.94	5.97	1.3	8.68	2.28	7.51	10.4	8.99
3	9.87	9.63	0	4.93	6.58	10.7	2.11	7.36	4.6	1.85	1.1
4	5.23	4.94	4.93	0	2.96	5.92	4.65	2.71	3.03	5.52	4.13
5	6.33	5.97	6.58	2.96	0	6.42	7.07	4.42	2.29	6.31	5.52
6	1.32	1.3	10.7	5.92	6.42	0	9.9	3.42	8.22	11.4	10
7	8.85	8.68	2.11	4.65	7.07	9.9	0	6.5	5.58	3.94	2.67
8	2.55	2.28	7.36	2.71	4.42	3.42	6.5	0	5.51	8.18	6.7
9	7.85	7.51	4.6	3.03	2.29	8.22	5.58	5.51	0	4.06	3.5
10	10.7	10.4	1.85	5.52	6.31	11.4	3.94	8.18	4.06	0	1.61
11	9.25	8.99	1.1	4.13	5.52	10	2.67	6.7	3.5	1.61	0

Tabel 1. Matriks ketetangaan objek wisata

B. Pembentukan Rute Efisien dengan Algoritma Prim

Dari Gambar 9 yang merupakan gambar peta kota Tokyo dengan letak objek wisatanya dan Tabel 1 yang merupakan graf berbobot objek wisata dan jarak antar objek wisata, dapat digunakan algoritma Prim untuk menjadi pohon merentang minimumnya.

Langkah-langkah membuat pohon merentang minimum sebagai berikut pada Tabel 2:

Langkah	Sisi	Bobot (Km)	Pohon Merentang
1	(1,2)	0.372	
2	(2,6)	1.3	
3	(2,8)	2.28	
4	(4,8)	2.71	
5	(4,5)	2.96	

6	(5,9)	2.29	
7	(9,11)	3.5	
8	(3,11)	1.1	
9	(10,11)	1.61	
10	(3,7)	2.11	

Tabel 2. Penerapan Algoritma Prim

Pohon merentang minimum yang telah didapat pada Tabel 2 dapat dilihat pada Gambar 10.

Pohon merentang minimum seperti pada Gambar 10 merupakan rute kunjungan terpendek ke objek-objek wisata di Jepang. Bobot total pohon merentang minimum yang telah didapat adalah 20.372 Km. Terhitung dari jumlah bobot semua sisi pada pohon merentang minimum.



Gambar 10. Pohon merentang minimum hasil algoritma prim untuk objek wisata di Tokyo.

V. KESIMPULAN

Teori graf, pohon, dan algoritma Prim dapat berguna digunakan untuk menentukan rute kunjungan objek-objek wisata terpendek suatu tempat.

Meskipun panjang lintasan yang dapat ditempuh oleh setiap wisatawan akan berbeda tergantung pada objek wisata yang ingin dilalui, pendekatan ini akan sangat membantu mencari lintasan terpendek untuk mengunjungi beberapa objek wisata populer. Wisatawan dapat langsung memilih lintasan terpendek untuk objek wisata yang ingin dilalui setiap harinya dengan melihat pohon merentang minimum yang telah didapatkan

REFERENCES

- [1] Munir, Rinaldi. 2005. Matematika Diskrit, edisi 3. Bandung: Informatika Bandung.
- [2] <http://travel.kompas.com/read/2017/01/25/192500127/kunjungan.wisata.wan.indonesia.ke.jepang.melonjak.tajam>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2017
- [3] <https://hubjapan.io/articles/20-must-see-sightseeing-spots-in-tokyo>. Diakses pada tanggal 3 Desember 2017
- [4] https://www.tripadvisor.com/Attractions-g298184-Activities-c47-Tokyo_Tokyo_Prefecture_Kanto.html. Diakses pada tanggal 3 Desember 2017

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

Abner Adhiwijana 13516033