

Aplikasi Graf Berbobot untuk Menghubungkan Kabel Internet Antar-Ibu Kota Negara di Asia Tenggara

Saddam Annais Shaquille - 13521121¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia

¹13521121@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Menghubungkan antar negara dengan kabel internet merupakan topik yang mendapat perhatian besar dalam beberapa dekade terakhir. Kemajuan teknologi memungkinkan untuk menghubungkan daerah-daerah terpencil dengan jaringan internet melalui penggunaan kabel bawah laut. Kabel ini mampu mentransmisikan data dalam jumlah besar dengan kecepatan tinggi sehingga orang-orang di daerah tersebut dapat mengakses informasi yang sebelumnya tidak terjangkau. Dengan menghubungkan antar negara dengan kabel internet, akses ke pendidikan, kesehatan, dan layanan vital lainnya dapat ditingkatkan. Selain itu, juga dapat memperkuat pembangunan ekonomi dan koneksi sosial. Namun, untuk menghubungkan tiap negara menggunakan kabel bawah laut memakan biaya yang besar. Perlu ditentukan rute yang paling singkat untuk menghemat biaya pemasangan kabel. Dengan memanfaatkan aplikasi dari graf berbobot, kita dapat menentukan lintasan kabel bawah laut yang paling optimal.

Keywords—Graf, Kabel Internet, Algoritma Kruskal, Pohon Merentang Minimum, Asia Tenggara.

I. PENDAHULUAN

Asia Tenggara adalah sebuah wilayah yang terletak di bagian tenggara benua Asia. Wilayah ini terdiri dari 11 negara, yaitu Brunei, Kamboja, Indonesia, Laos, Malaysia, Myanmar, Filipina, Singapura, Thailand, Timor Leste, dan Vietnam. Wilayah ini dikenal dengan keberagaman budaya, keindahan alam, dan pertumbuhan ekonomi yang pesat. Asia Tenggara adalah memiliki berbagai macam pemandangan, dari kota yang ramai, hutan yang lebat, pantai yang indah, dan gunung yang tinggi. Wilayah ini juga memiliki sejarah dan warisan budaya yang kaya yang dipengaruhi berbagai tradisi Asia dan Eropa.

Meski memiliki banyak kelebihan, Asia Tenggara masih dianggap sebagai wilayah terpencil karena geografi wilayahnya. Sebagian besar wilayah yang ada di Asia Tenggara terisolasi dari dunia luar, sehingga pengaruh tradisi, adat budaya, dan juga informasi sulit untuk sampai di daerah-daerah yang sulit dijangkau ini.

Namun, dalam beberapa tahun terakhir, banyak upaya yang telah dilakukan untuk menghubungkan Asia Tenggara dengan jaringan kabel internet. Upaya ini memiliki potensi untuk meningkatkan komunikasi global, akses informasi, pertukaran budaya dan peningkatan ekonomi di kawasan yang sulit dijangkau ini. Dengan menyediakan akses internet ke daerah-daerah terpencil, penduduk di daerah ini memiliki kemungkinan

untuk dapat meningkatkan konektivitas individu dan komunitas, dan menyediakan akses ke kekayaan informasi dan sumber daya yang tersedia di internet. Selain itu, terdapat banyak manfaat sosial dan ekonomi yang bisa digunakan oleh penduduk setempat. Yaitu seperti memberikan ilmu pengetahuan secara gratis dan membuka peluang untuk meningkatkan ekonomi di sektor perdagangan global.

Namun, pemasangan kabel internet untuk menjangkau daerah-daerah tersebut tidaklah murah. Perlu dicari rute paling optimal dalam pemasangan kabel internet ini supaya biaya pemasangannya menjadi minimal. Pada makalah ini, penulis akan membahas rute optimal untuk menghubungkan Asia Tenggara menggunakan pendekatan teori graf dan pohon.

II. LANDASAN TEORI

A. Graf

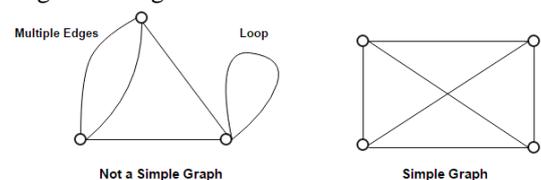
Graf adalah suatu struktur yang terbentuk dari simpul dan sisi. Graf didefinisikan sebagai $G = (V, E)$, dengan V adalah himpunan yang berisi simpul (*vertices*) dan E adalah himpunan yang berisi sisi (*edges*). Sisi merepresentasikan hubungan antara simpul-simpul pada graf [1]

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

$$E = \{e_1, e_2, e_3, \dots, e_n\}$$

Graf dapat dibagi menjadi dua berdasarkan ada atau tidak adanya gelang pada suatu sisi, yaitu

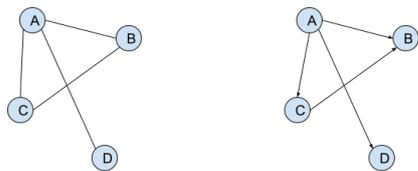
1. Graf sederhana (*simple graph*): graf yang tidak memiliki gelang dan sisi ganda.
2. Graf tak sederhana (*unsimple graph*): graf yang memiliki gelang atau sisi ganda.



Gambar 1 (a) Graf tak sederhana (b) Graf sederhana
(Sumber : <https://www.javatpoint.com/graph-theory-types-of-graphs>
diakses pada 9 Desember 2022 pukul 10.08)

Berdasarkan orientasi arah pada sisinya, graf dapat dibagi menjadi dua, yaitu

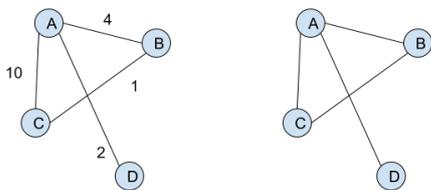
1. Graf tak berarah (*undirected graph*): graf yang tidak memiliki orientasi arah pada sisinya.
2. Graf berarah (*directed graph*): graf yang memiliki orientasi arah pada sisinya.



Gambar 2 (a) Graf tak berarah (b) Graf berarah
(Sumber : <https://nycomdorics.com/intro-to-graphs/>
diakses pada 9 Desember 2022 pukul 10.15)

Berdasarkan ada atau tidaknya bobot pada sisinya, graf dapat dibagi menjadi dua, yaitu

1. Graf tak berbobot (*unweighted graph*): graf yang tidak memiliki bobot pada sisinya.
2. Graf berbobot (*weighted graph*): graf yang memiliki bobot pada sisinya.



Gambar 3 (a) Graf berbobot (b) Graf tak berbobot
(Sumber : <https://nycomdorics.com/intro-to-graphs/>
diakses pada 9 Desember 2022 pukul 10.25)

B. Terminologi pada Graf

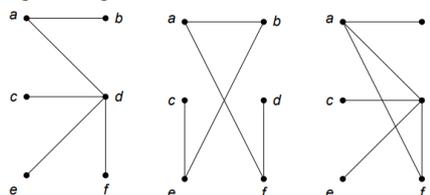
1. Ketetangaan (Adjacent): Dua buah simpul disebut bertetangga jika dihubungkan oleh setidaknya satu sisi.
2. Bersisian (Incidency): Sisi berisikan dengan suatu simpul yang berhubungan dengan sisi tersebut.
3. Simpul Terpencil (Isolated Vertex) : Simpul yang tidak memiliki sisi yang berisikan.
4. Graf Kosong (null graph atau empty graph) : Graf yang tidak memiliki sisi.
5. Derajat (Degree) : Jumlah sisi yang berisikan dengan suatu simpul
6. Lintasan (Path) : Lintasan yang terdiri dari sisi dan simpul. Sisi-sisi saling menyambung panjang dan terdapat simpul di antara sisi-sisi tersebut.
7. Siklus (Cycle) atau Sirkuit (Circuit) : Lintasan yang berawal dan berakhir di simpul yang sama
8. Keterhubungan (Connected) : Dua buah simpul disebut terhubung jika terdapat suatu lintasan yang menghubungkan kedua simpul
9. Upagraf (Subgraph) dan Komplemen Upagraf : Upagraf adalah bagian dari graf lain yang lebih

lengkap. Komplemen upagraf adalah upagraf lain yang melengkapi upagraf yang telah ada sehingga dapat terbentuk graf yang lebih lengkap.

10. Upagraf Merentang (Spanning Subgraph) : Upagraf yang memiliki semua simpul dari graf yang lebih lengkap.
11. Cut-set : Himpunan sisi yang dipotong dari suatu graf yang menyebabkan terbentuknya dua komponen.

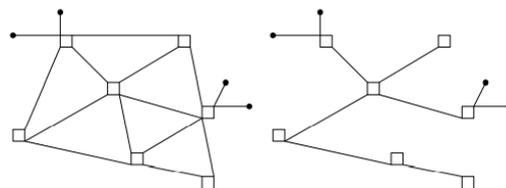
C. Pohon (Tree)

Pohon adalah graf tak berarah terhubung dan tidak mengandung sirkuit [2]



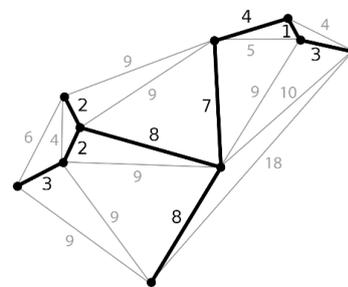
Gambar 4 (a) Pohon (b) Pohon (c) Bukan pohon
(Sumber : Slide perkuliahan)

Pohon Merentang (*spanning tree*) adalah upagraf yang membentuk pohon dari graf yang lebih lengkap dan diperoleh dari memotong sirkuit dalam graf tersebut.



Gambar 5 Pohon merentang dari graf
(Sumber : Slide perkuliahan)

Pohon merentang minimum adalah pohon merentang yang memiliki bobot paling kecil dari graf yang berbobot.



Gambar 6 Pohon merentang minimum
(Sumber : https://kids.kiddle.co/Minimum_spanning_tree
diakses pada 9 Desember 2022 pukul 11.42)

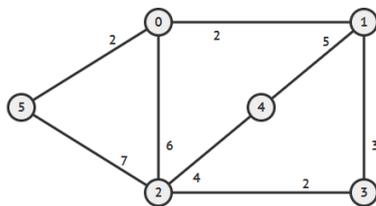
Pohon merentang minimum memiliki banyak kegunaan di bidang informatika dan komunikasi. Contohnya adalah menemukan jalur terpendek antara dua node dalam jaringan. Merancang algoritma yang efisien untuk merutekan data melalui jaringan. Merancang rute terpendek untuk berpindah dari suatu tempat dan masih banyak lagi.

D. Algoritma Kruskal

Algoritma kruskal merupakan algoritma untuk mencari pohon merentang minimum dari suatu graf berbobot. Algoritma ini dibuat oleh dari Joseph Kruskal pada tahun 1956 [3]. Algoritma kruskal merupakan algoritma yang berdasarkan algoritma greedy, yaitu dengan cara memilih sisi dengan weight terkecil dan tidak membuat pohon yang telah terbentuk menjadi sirkuit. Berikut adalah langkah-langkah membuat pohon merentang minimum menggunakan algoritma kruskal:

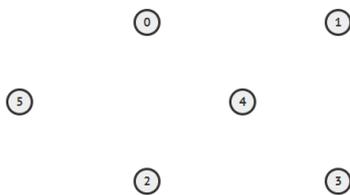
1. Gambar graf kosong dari graf yang akan dibentuk pohon merentang minimumnya.
2. Urutkan sisi graf berdasarkan bobotnya dengan urutan naik.
3. Ambil sisi yang memiliki bobot paling rendah.
4. Cek apakah sisi tersebut akan membentuk sirkuit atau tidak jika dimasukkan ke pohon merentang minimum yang sudah ada.
5. Jika tidak, masukkan sisi tersebut ke pohon merentang minimum yang sudah ada.
6. Ulangi Langkah 1 sampai 4 hingga terbentuk pohon merentang minimum yang lengkap

Misalkan terdapat graf berbobot dan ingin dicari pohon merentang minimumnya.



Gambar 7 Graf berbobot yang akan dicari pohon merentang minimumnya (Sumber : Arsip Penulis)

1. Graf kosong dari graf yang ingin dibuat pohon merentang minimum



Gambar 8 Graf kosong tanpa sisi (Sumber : Arsip Penulis)

2. Urutkan sisi dari graf yang akan dibuat

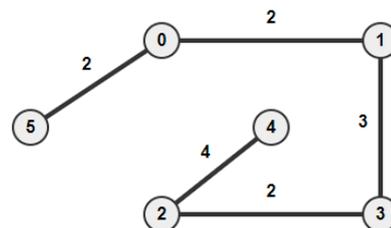
Sisi	(0,1)	(0,5)	(2,3)	(1,3)	(2,4)	(1,4)	(0,2)	(2,5)
Bobot	2	2	2	3	4	5	6	7

Tabel 1 Urutan bobot dari tiap sisi

Langkah	Sisi	Bobot	Pohon Merentang
0	-	0	
1	(0,1)	2	
2	(0,5)	4	
3	(2,3)	6	
4	(1,3)	9	
5	(2,4)	13	

Tabel 2 Langkah-langkah algoritma kruskal

Pohon merentang minimum yang dihasilkan:

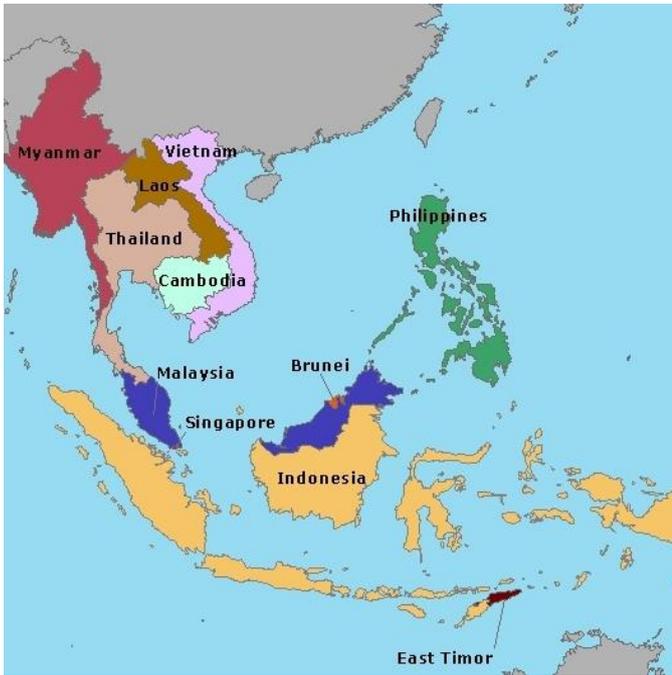


Gambar 9 Pohon merentang minimum (Sumber : Arsip Penulis)

$$\text{Bobot} = 2 + 2 + 2 + 3 + 4 = 13$$

E. Map Asia Tenggara

Untuk membantu penulisan makalah ini, penulis menggunakan map yang banyak tersebar di internet.



Gambar 10 Map Asia Tenggara

(Sumber : <https://seasia.wisc.edu/southeast-asia-country-information-and-resources/> diakses pada 2 Desember 2022 pukul 12.33)

Untuk menentukan jarak antara Ibu Kota tiap negara yang ada di Asia Tenggara, penulis memanfaatkan laman situs yang telah menyediakan jarak antar Ibu Kota. Setelah itu, penulis membuat datanya menjadi berbentuk tabel dan mengurutkannya berdasarkan dari jarak yang paling pendek. Sisi dari tiap negara direpresentasikan sebagai bilangan bulat 0-10 [4].

Nama Negara	Representasi Angka
Brunei	0
Filipina	1
Indonesia	2
Kamboja	3
Laos	4
Malaysia	5
Myanmar	6
Singapura	7
Thailand	8
Timor Leste	9
Vietnam	10

Tabel 3 Representasi angka setiap Ibu Kota Negara di Asia Tenggara

No	(Ibu Kota A, Ibu Kota B)	Jarak (km)
1.	(5, 7)	297
2.	(4, 10)	477
3.	(3, 8)	504
4.	(4, 8)	515
5.	(4, 6)	717
6.	(3, 4)	754
7.	(6, 8)	812
8.	(2, 7)	908
9.	(6, 10)	948
10.	(8, 10)	992
11.	(3, 5)	1033
12.	(3, 10)	1076

13.	(2, 5)	1125
14.	(3, 7)	1132
15.	(5, 8)	1214
16.	(0, 1)	1264
17.	(0, 7)	1278
18.	(2, 9)	1293
19.	(3, 6)	1310
20.	(0, 3)	1331
21.	(7, 8)	1410
22.	(0, 5)	1484
23.	(0, 2)	1531
24.	(4, 5)	1689
25.	(1, 10)	1753
26.	(1, 3)	1770
27.	(0, 8)	1832
28.	(4, 7)	1847
29.	(0, 9)	1905
30.	(2, 3)	1965
31.	(5, 6)	1970
32.	(0, 4)	1977
33.	(1, 4)	1992
34.	(0, 10)	2053
35.	(5, 10)	2092
36.	(6, 7)	2167
37.	(7, 10)	2207
38.	(1, 8)	2208
39.	(2, 8)	2286
40.	(1, 7)	2391
41.	(1, 5)	2465
42.	(1, 9)	2622
43.	(0, 6)	2628
44.	(7, 9)	2628
45.	(1, 6)	2703
46.	(2, 4)	2728
47.	(1, 2)	2788
48.	(5, 9)	2924
49.	(2, 10)	3026
50.	(2, 6)	3118
51.	(3, 9)	3190
52.	(8, 9)	3710
53.	(4, 9)	3880
54.	(9, 10)	3936
55.	(6, 9)	4454

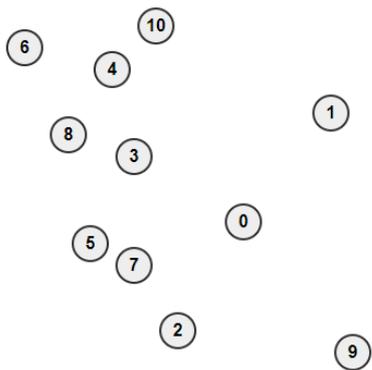
Tabel 4 Jarak antar-Ibu Kota Negara

III. PEMBAHASAN

Dalam menentukan rute yang paling optimal untuk menaruh kabel internet penghubung ibu kota negara di Asia Tenggara. teori graf, khususnya pohon merentang minimum, dapat digunakan. Objektif yang ingin dicapai adalah menentukan rute yang paling pendek sehingga tiap ibu kota negara di Asia Tenggara dapat terhubung.

Untuk mendapatkan pohon merentang minimum, peta dari Asia Tenggara dan jaraknya antar ibu kotanya perlu diubah menjadi graf berbobot terlebih dahulu. Dalam kasus ini, letak ibu kota negara dianggap sebagai simpul dan jarak antar ibu kota dianggap sebagai sisi yang memiliki bobot. Untuk

mempermudah pembuatan pohon merentang minimumnya, peta yang telah didapat akan dibentuk ulang menjadi bentuk graf supaya lebih mudah untuk dibaca.

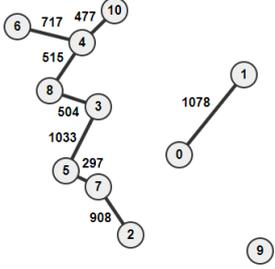
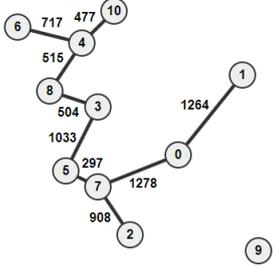
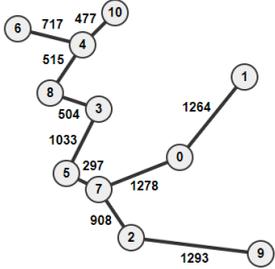


Gambar 11 Graf kosong dari peta Asia Tenggara
(Sumber : Arsip Penulis)

Setelah mengubah data menjadi bentuk representasi dari graf, pohon merentang minimum dapat dibuat dengan menggunakan algoritma kruskal.

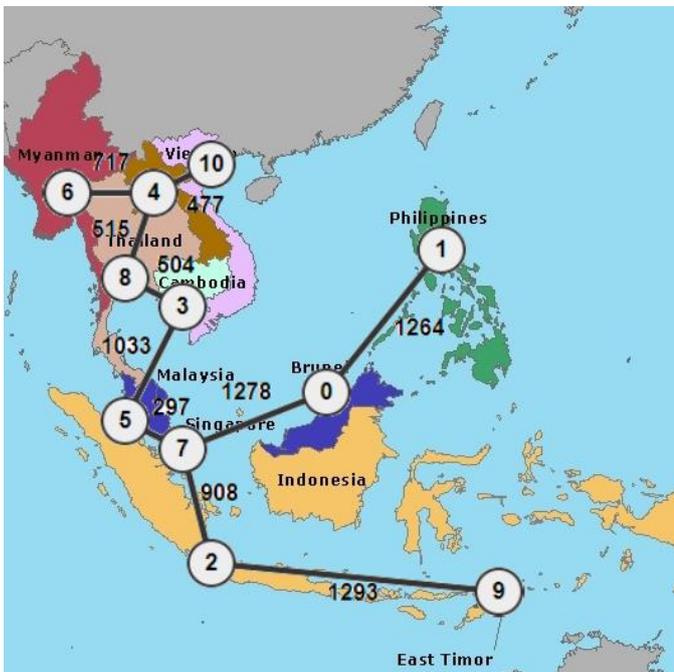
Langkah	Sisi	Bobot	Pohon Merentang
0	-	0	
1	(5,7)	$= 0 + 297$ $= 297$	
2	(4,10)	$= 297 + 477$ $= 774$	

3	(3,8)	$= 774 + 504$ $= 1278$	
4	(4,8)	$= 1278 + 515$ $= 1793$	
5	(4,6)	$= 1793 + 717$ $= 2510$	
6	(3,4)	-	Ditolak
7	(6,8)	-	Ditolak
8	(2,7)	$= 2510 + 908$ $= 3418$	
9	(6,10)	-	Ditolak
10	(8,10)	-	Ditolak
11	(3,5)	$= 3418 + 1033$ $= 4451$	
12	(3,10)	-	Ditolak
13	(2,5)	-	Ditolak
14	(3,7)	-	Ditolak
15	(5,8)	-	Ditolak

16	(0,1)	$= 4451 + 1264$ $= 5715$	
17	(0,7)	$= 5715 + 1278$ $= 6993$	
18	(2, 9)	$= 6993 + 1293$ $= 8286$	

Tabel 5 penerapan algoritma kruskal untuk menentukan rute kabel internet

Setelah menerapkan algoritma kruskal, didapatkan rute terpendek untuk menghubungkan semua ibu kota negara di Asia Tenggara dengan kabel internet, yaitu dengan 8286 km dengan gambar sebagai berikut.



Gambar 12 Kabel internet terpendek yang menghubungkan ibu kota negara di Asia Tenggara (Sumber : Arsip Pribadi)

IV. KESIMPULAN

Ilmu yang didapat dari matematika diskrit memiliki banyak manfaat yang dapat diterapkan di kehidupan sehari-hari. Mulai dari hal yang simpel sampai yang kompleks dapat dimodelkan sebagai salah satu dari ilmu di matematika diskrit. Pada makalah ini, teori graf dan pohon dipilih untuk menunjukkan kegunaan dari ilmu yang selama ini telah dipelajari

Teori graf dan pohon memiliki banyak kegunaan dan manfaat di berbagai bidang. Mulai dari bidang telekomunikasi sampai pengiriman surat. Dengan menggunakan kedua hal tersebut, ditambah dengan algoritma kruskal, dapat ditentukan pohon merentang minimum. Lokasi tiap ibu kota direpresentasikan sebagai simpul dan jarak antar ibu kota direpresentasikan sebagai sisi yang kemudian diaplikasikan pada pemodelan mencari rute terpendek. Dengan dapat ditentukannya rute terpendek ini, panjang kabel internet yang perlu dipasang menjadi minimum sehingga biaya pemasangannya menjadi lebih murah. Dengan menggunakan rute yang telah ditentukan, dibutuhkan 8286 km kabel internet untuk menghubungkan semua ibu kota negara di Asia Tenggara.

REFERENSI

- [1] Rinaldi Munir. 2022. Graf (Bag.1). Diakses pada 9 Desember 2022 pukul 09.37 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>
- [2] Rinaldi Munir. 2022. Pohon (Bag.1). Diakses pada 9 Desember 2022 pukul 13.38 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf>
- [3] S. I. Akbar, S. Islam. Minimum Spanning Tree Algorithm and Techniques. Diakses pada 9 Desember 2022 pukul 13.57 dari <http://www.ijciras.com/PublishedPaper/IJCIRAS1101.pdf>
- [4] Situs data jarak antar-ibu kota. Diakses pada 2 Desember 2022 pukul 13.27 dari <https://www.airmilescalculator.com/>

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, 9 Desember 2022

Saddam Annais Shaquille
13521121