

Analisis Implementasi Graf pada Penjaluran Kabel Udara di Daerah Cisitu Indah, Kota Bandung

Muhammad Naufal Aulia - 13522074¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

13522074@std.stei.itb.ac.id

Abstract—Kabel udara menjadi salah satu kebutuhan utama dalam membentuk jaringan listrik khususnya di daerah perkotaan pada masa kini. Sebagai penyokong distribusi listrik, keberadaan kabel udara sangat krusial untuk menjamin tercukupinya pasokan listrik yang merata ke setiap daerah. Dalam penelitian ini, akan dibahas analisis kabel udara yang terpasang di daerah Cisitu Indah, Bandung dan implementasi teori graf khususnya pada subtopik pohon merentang minimum dengan algoritma Kruskal untuk menentukan jalur kabel udara terpendek. Dengan implementasi ini, akan didapat optimalisasi panjang kabel yang cukup untuk mendistribusikan listrik dengan keuntungan berupa hemat secara ekonomis dan kerapian/estetika visual pada lingkungan.

Keywords—Kabel Udara, Graf, Pohon Merentang Minimum, Algoritma Kruskal.

I. PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, tak dapat dipungkiri bahwa listrik menjadi salah satu kebutuhan utama yang menyokong keberjalanan hidup manusia sehari-hari. Sebagai bagian integral dari infrastruktur kota, distribusi listrik memainkan peran krusial untuk menjamin terpenuhinya kebutuhan energi listrik di antara masyarakat. Di Indonesia sendiri, kebutuhan akan pasokan listrik semakin meningkat sejalan dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan industri sehingga penyediaan infrastruktur listrik ini menjadi salah satu tantangan dalam mengikuti perkembangannya.

Distribusi listrik di daerah perkotaan melibatkan perencanaan untuk memastikan penyaluran yang mangkus dan efisien. Terdapat pilihan jenis penghantar listrik dalam distribusinya ke masyarakat. Salah satunya ialah distribusi listrik menggunakan saluran kabel udara. Dengan karakteristik penyaluran di atas permukaan tanah, penyaluran listrik jenis ini membutuhkan tiang listrik sebagai penyangga penghantar (kabel udara) bertegangan. Di banyak kasus, kabel udara telah menjadi pilihan yang umum digunakan. Walaupun memengaruhi ruang gerak, estetika, dan rentan rusak terhadap cuaca, saluran udara lebih ekonomis dalam pengembangan dan pemeliharaan, serta lebih mudah dalam penyesuaian dengan topografi dan kondisi lingkungan sekitar. [1]

Daerah Cisitu di Kota Bandung sebagai contoh mikokosmos perkotaan, menjadi subjek penelitian dalam konteks ini. Berkembangnya daerah ini menjadi wilayah yang multifungsi, mencakup perumahan, bisnis, gedung aparatur, fasilitas pendidikan, hingga kos-kosan menuntut peningkatan dan

pemerataan saluran listrik. Di daerah ini, terpasang kabel udara sebagai saluran distribusi untuk menyediakan konektivitas listrik dari gardu listrik ke berbagai tempat. Dengan semakin bertumbuhnya daerah ini, dibutuhkan analisis untuk mengoptimalkan kebutuhan terhadap penggunaan kabel udara yang akan penulis lakukan melalui pendekatan teori graf dan pohon merentang minimum. Dengan demikian, diharapkan dapat tercapai efisiensi dan keandalan penyaluran listrik yang besar keterkaitannya dengan kesejahteraan dan produktivitas masyarakat di daerah Cisitu, Kota Bandung.

II. LANDASAN TEORI

A. Graf

Graf merupakan himpunan objek-objek yang terdiri atas simpul (vertex) dan sisi atau busur (edge) yang menjadi penghubung antara pasangan simpul. Graf digunakan untuk merepresentasikan hubungan atau keterkaitan antara objek-objek diskrit. Graf $G = (V, E)$ didefinisikan dengan [2]:

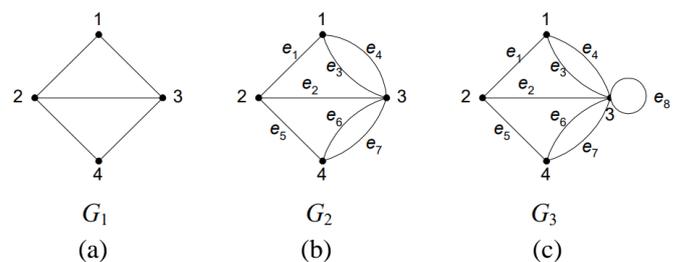
V = himpunan tidak kosong dari simpul (vertices)

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

E = himpunan sisi (edges) yang menghubungkan dua simpul

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

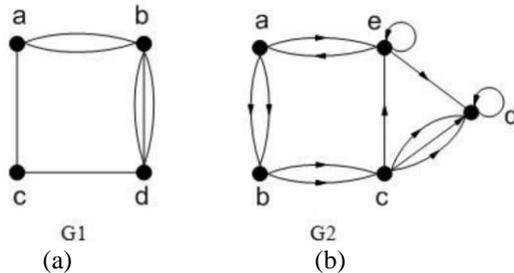
Graf dapat digolongkan menjadi beberapa jenis berdasarkan ada tidaknya sisi ganda atau gelang pada graf. Graf sederhana (*simple graph*) adalah graf yang tidak mempunyai sisi ganda maupun gelang. Graf tak sederhana (*unsimple-graph*) adalah graf yang mempunyai sisi ganda atau gelang. Graf tak sederhana yang memiliki sisi ganda sering disebut graf ganda, sementara yang memiliki gelang atau kalang (*loop*) disebut juga sebagai graf semu.



Gambar 1. (a) Graf Sederhana, (b) Graf Tak Sederhana (Ganda), (c) Graf Tak Sederhana (Semu)

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>)

Berdasarkan arah dan orientasi pada sisinya, terdapat dua jenis graf, yakni graf berarah (*directed graph* atau *digraph*) dan graf tak berarah (*undirected graph*). Graf berarah mempunyai orientasi arah (panah) pada sisinya, sementara graf tak berarah tidak.

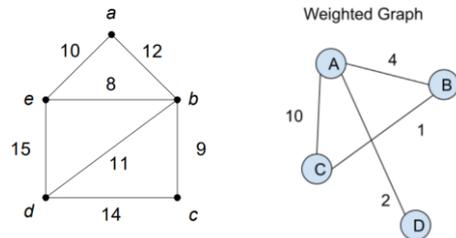


Gambar 2. (a) Graf Tak Berarah, (b) Graf Berarah

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>)

9. Graf Berbobot (*weighted graph*)

Graf berbobot merupakan jenis graf yang setiap sisinya memiliki nilai atau harga, dinamakan bobot. Bobot ini merepresentasikan ukuran atau nilai yang terkait dengan hubungan antara dua simpul dari sisi tersebut, seperti representasi jarak fisik, waktu, biaya, dan hal lain yang relevan dengan konteks persoalan. Jenis graf ini yang umumnya dimanfaatkan untuk menyelesaikan persoalan optimasi suatu rute.



Gambar 3. Graf Berbobot

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>)

B. Terminologi dalam Graf

Ada beberapa terminologi penting dari graf yang memudahkan dalam pembahasan selanjutnya, yaitu sebagai berikut.

1. Bertetangga (*Adjacency*)

Sebutan bertetangga diberikan pada dua simpul yang terhubung langsung oleh sebuah sisi sehingga melahirkan hubungan “tetangga”.

2. Bersisian (*Incidency*)

Hubungan antara simpul dan sisi, jika suatu sisi e menghubungkan simpul v_j dan v_k , maka e bersisian dengan v_j dan v_k .

3. Derajat (*Degree*)

Derajat didefinisikan sebagai jumlah sisi yang terhubung ke suatu simpul, yakni jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut.

4. Lintasan (*Path*)

Lintasan adalah urutan atau rute berupa sisi-sisi yang menghubungkan simpul awal v_0 ke simpul tujuan v_n . Panjang lintasan ialah jumlah sisi dalam lintasan tersebut, yakni n .

5. Sirkuit (*Circuit*)

Sirkuit merupakan lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama. Panjang sirkuit ialah jumlah sisi dalam sirkuit tersebut.

6. Keterhubungan (*Connected*)

Dua simpul dikatakan terhubung Ketika terdapat lintasan yang menghubungkan setiap pasang simpul dalam graf, jika tidak, maka tidak terhubung.

7. Upagraf (*Subgraph*)

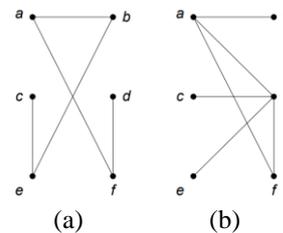
Upagraf dari suatu graf adalah perolehan dari beberapa simpul dan sisi yang dihilangkan dari graf tersebut.

8. Cut-Set

Cut-set dari suatu graf terhubung adalah himpunan sisi yang jika dibuang akan menyebabkan graf tersebut tidak terhubung dan terpisah menjadi dua bagian.

C. Pohon

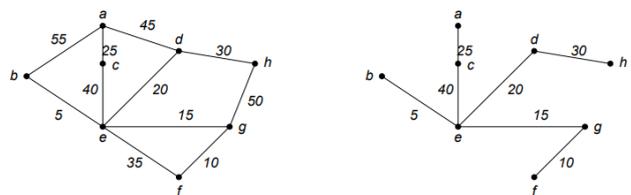
Pohon merupakan jenis graf tak berarah yang terhubung dan tidak mengandung sirkuit. Tidak ada lintasan tertutup dalam pohon. [3]



Gambar 4. (a) Pohon, (b) Bukan Pohon

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>)

Pohon merentang dari suatu graf terhubung adalah upagraf yang menghubungkan pohon dan mengandung semua simpul di dalam graf tersebut. Sedangkan pohon merentang minimum (*minimum spanning tree*) merupakan pohon merentang dari graf berbobot yang memiliki bobot paling sedikit dari semua kemungkinan pohon merentang.



Gambar 5. Graf Berbobot dan Pohon Merentang Minimumnya

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>)

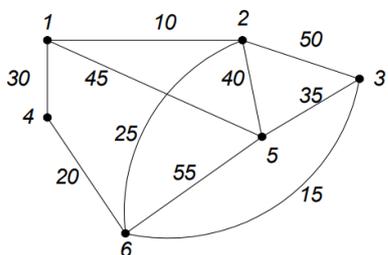
D. Algoritma Kruskal

Untuk menentukan pohon merentang minimum dari semua kemungkinan pohon merentang pada suatu graf berbobot terhubung, algoritma Kruskal menjadi salah satu metode yang dapat digunakan dengan memperhatikan orientasi bobot sisi graf.

Langkah-langkah umum dari algoritma Kruskal adalah sebagai berikut. [4]

1. Urutkan setiap sisi (*edge*) pada graf secara menaik, dari bobot yang paling kecil terurut ke bobot yang paling besar.
2. Pilih sisi (*edge*) dari dua simpul (u,v) yang memiliki bobot paling minimum kemudian masukkan ke dalam himpunan T (pohon merentang minimum).
3. Pilih lagi sisi dari dua simpul (u,v) dengan bobot minimum selanjutnya, tetapi perhatikan ketentuan untuk tidak membentuk sirkuit di T . Tambahkan sisi tersebut ke dalam T .
4. Ulangi langkah 3 sebanyak $n - 1$ kali atau sampai tidak ada lagi sisi yang dapat dimasukkan ke dalam T dengan ketentuan yang sama.

Sebagai ilustrasi yang lebih jelas, berikut adalah contoh penerapan langkah-langkah tersebut.



Gambar 6. Graf Berbobot Terhubung

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/22-Pohon-Bag1-2023.pdf>)

Misal terdapat sebuah graf berbobot terhubung seperti pada gambar di atas. Urutkan sisi secara menaik berdasarkan bobotnya

Sisi	(1,2)	(3,6)	(4,6)	(2,6)	(1,4)	(3,5)	(2,5)	(1,5)	(2,3)	(5,6)
Bobot	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55

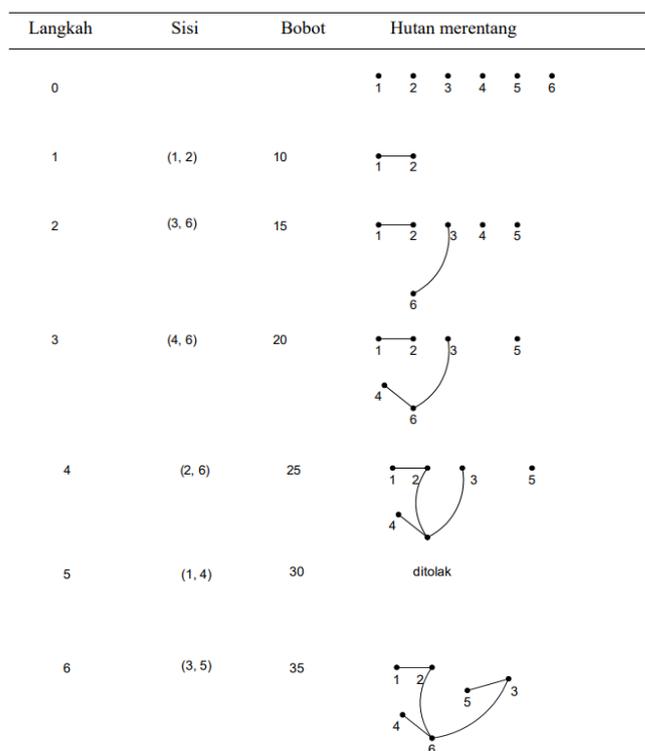
Gambar 7. Tabel Urutan Sisi dari Bobot Terkecil

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/22-Pohon-Bag1-2023.pdf>)

Pilih sisi dengan bobot paling minimum, lalu masukkan ke dalam himpunan T . Pada gambar di atas dapat diketahui sisi dengan bobot terkecil adalah sisi terkecil ($1,2$) dengan bobot 10.

Selanjutnya, pilih sisi dengan bobot minimum berikutnya namun perhatikan untuk tidak memilih simpul yang dapat membuat sirkuit.

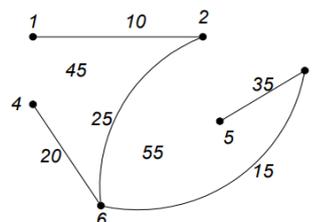
Ikuti langkah sebelumnya dengan ketentuan yang ada, akan didapatkan proses seperti pada gambar di bawah ini.



Gambar 8. Proses Langkah-Langkah Algoritma Kruskal

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/22-Pohon-Bag1-2023.pdf>)

Dengan begitu, akan didapat solusi akhir pohon merentang minimum dengan total bobot sebesar $10 + 25 + 15 + 20 + 35 = 105$.



Gambar 9. Pohon Merentang Minimum yang Dihasilkan

(Sumber : <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/22-Pohon-Bag1-2023.pdf>)

E. Kabel Udara

Kabel udara merupakan jenis kabel listrik yang terpasang di atas permukaan tanah. Kabel ini digunakan untuk mentransmisikan listrik ke berbagai tempat. Pada transmisi listrik dengan kabel udara, tiang listrik menjadi komponen penting untuk menopang posisi kabel di atas tanah.

Sesuai dengan konteks pembahasan, kabel udara pada daerah Cisu Indah akan merepresentasikan graf yang nantinya akan dibuat pohon merentang. Dengan begitu, representasinya adalah sebagai berikut. [5]

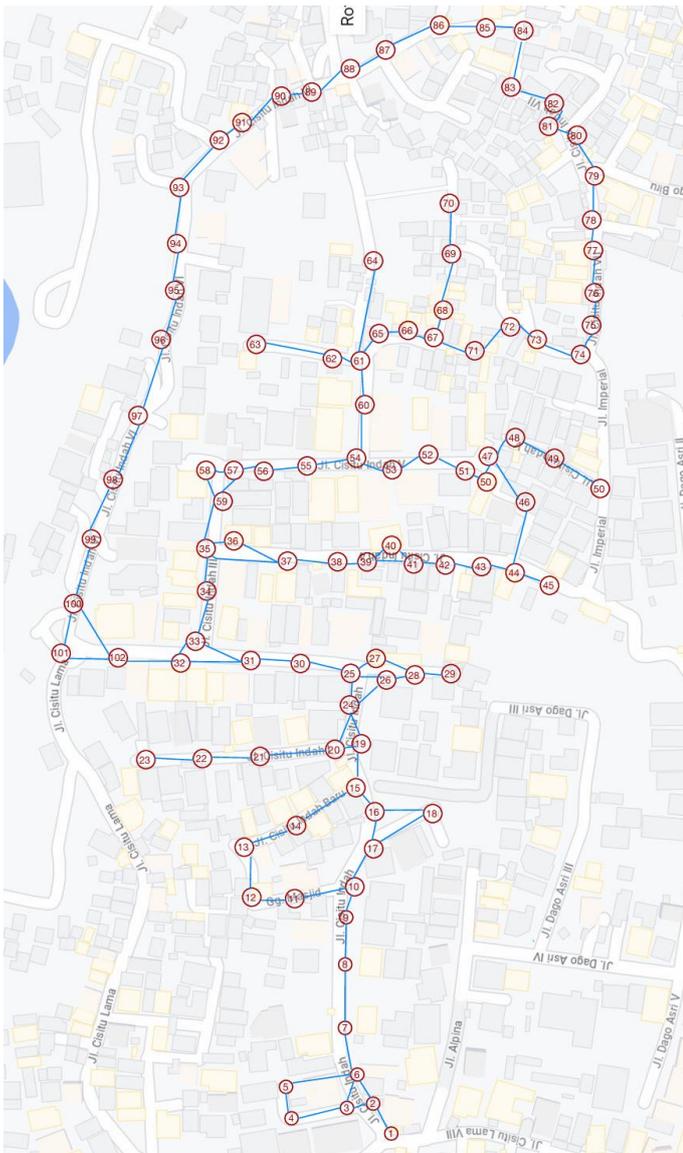
- a. Simpul: tiang listrik di sepanjang jaringan mewakili simpul-simpul di mana terjadi pemberhentian atau perubahan arah rute jalur listrik.
- b. Sisi: kabel udara yang terhubung dari dua tiang listrik mewakili sisi yang berbobot, dengan bobotnya adalah jarak antara dua tiang listrik tersebut.

III. PEMBAHASAN

A. Pemodelan Denah Lokasi

Pertama-tama, penulis memetakan semua tiang listrik sebagai penyangga kabel udara yang tersebar di daerah Cisu Indah. Simpul akan merepresentasikan tiang listrik sedangkan sisi akan merepresentasikan kabel udara yang terhubung pada setiap tiang listrik. Dalam pengumpulan data ini, penulis menggunakan metode observasi langsung untuk memetakan titik tiang listrik di lapangan dan melakukan pengukuran dengan memanfaatkan Google Maps untuk mendapat panjang sisi (kabel udara) dengan pembulatan dalam satuan meter.

Gambar di bawah ini, merupakan hasil graf awal dari kondisi aktual jaringan listrik dengan kabel udara di daerah Cisu Indah ketika penulis melakukan observasi.



Gambar 10. Model Denah Lokasi dan Graf Hasil Observasi
(Sumber : Arsip Pribadi)

Selanjutnya, dilakukan pengurutan bobot pada graf. Bobot dalam konteks ini adalah hasil pengukuran jarak antara dua simpul, yakni antara tiang A dan B.

Tabel 1. Simpul (Tiang Listrik) dan Sisi (Jarak Antartiang)

(Tiang A, Tiang B)	Jarak Tiang (m)	(Tiang A, Tiang B)	Jarak Tiang (m)
(47, 50)	5	(3, 6)	19
(50, 51)	6	(15, 16)	19
(57, 58)	6	(24, 25)	19
(35, 36)	7	(40, 41)	19
(81, 82)	7	(53, 54)	19
(2, 3)	9	(2, 6)	20
(39, 40)	9	(9, 10)	20
(19, 20)	10	(67, 68)	20
(77, 78)	10	(75, 76)	20
(25, 27)	11	(71, 72)	21
(32, 33)	11	(16, 17)	22
(57, 59)	12	(15, 19)	22
(25, 26)	13	(41, 42)	22
(74, 75)	13	(80, 82)	22
(61, 62)	14	(87, 88)	22
(66, 67)	14	(89, 90)	22
(72, 73)	14	(11, 12)	23
(42, 43)	15	(24, 26)	23
(65, 66)	15	(43, 44)	23
(91, 92)	15	(51, 52)	23
(58, 59)	17	(55, 56)	23
(80, 81)	17	(19, 24)	24
(26, 28)	18	(52, 53)	24
(38, 39)	18	(1, 2)	25
(44, 45)	18	(8, 9)	25
(47, 48)	18	(56, 57)	25
(61, 65)	18	(27, 28)	26
(79, 80)	18	(60, 61)	26
(84, 85)	18	(6, 7)	27
(4, 5)	19	(20, 24)	27

(37, 38)	27	(101, 102)	34
(39, 41)	27	(16, 18)	35
(90, 91)	27	(22, 23)	35
(96, 95)	27	(46, 47)	35
(28, 29)	28	(92, 93)	35
(31, 33)	28	(100, 101)	35
(48, 49)	28	(21, 22)	36
(76, 77)	28	(3, 4)	37
(82, 83)	28	(16, 19)	37
(88, 89)	28	(68, 69)	37
(10, 11)	29	(31, 32)	38
(10, 17)	29	(5, 6)	39
(35, 59)	29	(7, 8)	39
(69, 70)	29	(83, 84)	39
(33, 34)	30	(32, 102)	39
(12, 13)	31	(27, 30)	40
(30, 31)	31	(44, 46)	41
(67, 71)	31	(100, 102)	41
(34, 35)	32	(98, 99)	42
(54, 60)	32	(17, 18)	44
(73, 74)	32	(36, 37)	44
(25, 30)	33	(14, 15)	45

(54, 55)	33	(35, 37)	49
(85, 86)	33	(20, 21)	50
(96, 97)	33	(97, 98)	50
(13, 14)	34	(62, 63)	53
(78, 79)	34	(61, 64)	64
(86, 87)	34		
(93, 94)	34		
(99, 100)	34		

B. Optimasi dengan Algoritma Kruskal

Untuk mengoptimalkan jalur kabel udara yang ada, digunakan algoritma Kruskal yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya. Pada tabel di bawah ini, tidak seluruh langkah pada algoritma akan ditampilkan dan *cropping* pada gambar dilakukan untuk memudahkan pembacaan.

Tabel 2. Implementasi Algoritma Kruskal dalam Menentukan Jalur Kabel Udara Minimum

Langkah	Sisi	Bobot	Hutan Merentang
0	-	-	
1	(47, 50)	5	
2	(50, 51)	6	

3	(58, 57)	6	
4	(35, 36)	7	
5	(81, 82)	7	
6	(2, 3)	9	
7-11	(39, 40) (19, 20) (77, 78) (25, 27) (32, 33)	9 10 10 11 11	
12-16	(57, 59) (25, 26) (74, 75) (61, 62) (66, 67)	12 13 13 14 14	

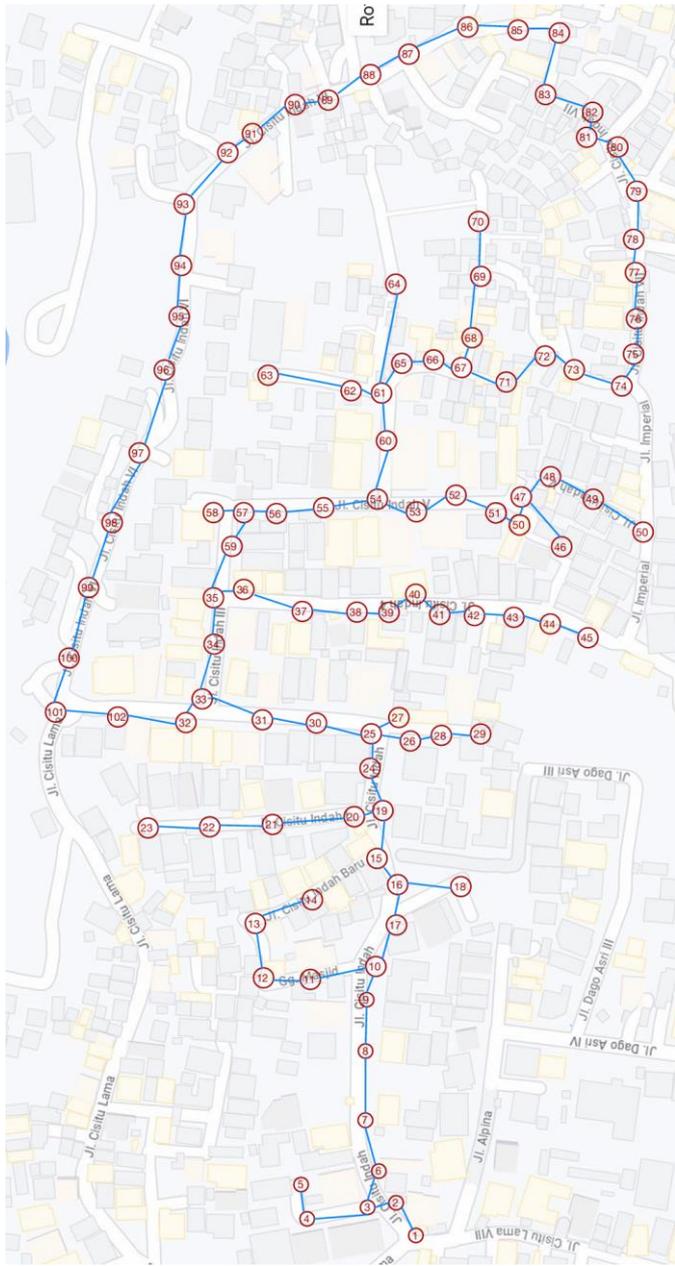
17-21	(72, 73) (42, 43) (65, 66) (91, 92) (58, 59)	14 15 15 15 ditolak	
22-26	(80, 81) (26, 28) (38, 39) (44, 45) (47, 48)	17 18 18 18 18	
27-31	(61, 65) (79, 80) (84, 85) (4, 5) (3, 6)	18 18 18 19 19	

32-36	(15, 16) (24, 25) (40, 41) (53, 54) (2, 6)	19 19 19 19 ditolak	
37-41	(9, 10) (67, 68) (75, 76) (71, 72) (16, 17)	20 20 20 21 22	
42-46	(15, 19) (41, 42) (80, 82) (87, 88) (89, 90)	22 22 ditolak 22 22	

47-51	(11, 12) (24, 26) (43, 44) (51, 52) (55, 56)	23 23 23 23 23	
52-56	(19, 24) (52, 53) (1, 2) (8, 9) (56, 57)	24 24 25 25 25	
57-61	(27, 28) (60, 61) (6, 7) (20, 24) (37, 38)	ditolak 26 ditolak 27 27	

...
117	(61, 64)	64	

Dengan terselesainya seluruh langkah dari algoritma Kruskal, didapat hasil pohon merentang minimum pada peta daerah Cisitu Indah sebagai berikut.



Gambar 11. Pohon Merentang Minimum pada Kabel Udara di Cisitu Indah (Sumber : Arsip Pribadi)

Dari hasil tersebut, didapat total bobot yang diperoleh adalah sebesar 2663 m yang menyatakan total jarak terpendek untuk menghubungkan semua tiang di daerah Cisitu Indah. Hal ini terbilang cukup baik dilihat dari pengurangan yang signifikan, yaitu dari total jarak awal sebesar 3158 m. Tentunya hal ini dapat berdampak positif secara ekonomis dan menambah kerapihan visual di lingkungan.

C. Analisis Tambahan: Cut-Set pada Kabel Udara

Pada bagian sebelumnya, telah disebutkan mengenai *cut-set* pada suatu graf terhubung, yakni ketika terdapat himpunan sisi yang dibuang/diputus dari graf tersebut yang menyebabkan graf

menjadi tidak terhubung dan menghasilkan dua komponen terpisah. Dalam kasus kabel udara, *cut-set* sendiri pernah terjadi di daerah Cisitu Indah yang berkaitan dengan pembahasan ini.

Pada Rabu malam, 25 Oktober 2023, kejadian nahas menimpa salah satu rumah makan cepat saji di Jalan Cisitu Indah. Arus pendek pada listrik bangunan tersebut diduga menyebabkan berkobarnya api besar yang secara langsung juga turut membakar kabel udara di atas bangunan hingga terputus. Kejadian ini dapat direpresentasikan dengan *cut-set* pada graf di awal pembahasan, tepatnya terjadi *cut-set* oleh sisi (7, 8).



Gambar 12. Cut-Set pada Kasus Nyata Kabel Udara Terbakar (Sumber : Arsip Pribadi)

Oleh karena sisi tersebut terbuang dari graf, maka graf awal menjadi tidak terhubung yang dalam kasus nyata, hal ini berdampak pada putusnya transmisi listrik ke jalur bagian atas (dimulai pada simpul 8). Akibatnya padam listrik terjadi selama hampir satu hari hingga kabel udara pada sisi tersebut berhasil diperbaiki.

IV. KESIMPULAN

Teori graf sebagai bagian dari ilmu matematika diskrit sangat relevan dan bermanfaat bagi kehidupan sehari-hari. Implementasi teori ini dalam konteks penjaluran kabel udara, khususnya di daerah Cisitu Indah, telah memberikan hasil yang cukup signifikan. Pemetaan tiang listrik sebagai simpul dan kabel udara sebagai sisi menciptakan representasi graf berbobot sebagai gambaran struktur jaringan listrik di daerah tersebut.

Pemanfaatan algoritma Kruskal dalam mencari pohon merentang minimum telah membuka peluang optimasi penjaluran kabel udara dengan jarak terpendek, memberi dampak positif terhadap efisiensi. Terbukti dari pengurangan jarak dari yang semula berkisar pada 3158 m, menjadi hanya 2663 m secara total. Pendekatan ini menjadi bukti kebermanfaatan penerapan matematika diskrit dalam optimalisasi dan perencanaan infrastruktur listrik yang lebih efisien dan berkelanjutan.

REFERENSI

- [1] Rania, A. Tinjauan Terhadap penyaluran listrik di Indonesia: Menilik Peran saluran Udara Dan Saluran Kabel. Diakses pada 7 Desember 2023 dari <https://ftmm.unair.ac.id/tinjauan-terhadap-penyaluran-listrik-di-indonesia-menilik-peran-saluran-udara-dan-saluran-kabel/>.
- [2] Munir, R. 2023. Graf (Bag.1). Diakses pada 7 Desember 2023 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/19-Graf-Bagian1-2023.pdf>.
- [3] Munir, R. 2023. Pohon (Bag.1). Diakses pada 7 Desember 2023 dari <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2023-2024/22-Pohon-Bag1-2023.pdf>.
- [4] Lubis, H. Algoritma Prim dan Kruskal dalam Mencari Minimum Spanning Tree Pada Bahasa Pemrograman C. Diakses pada 7 Desember 2023 dari <http://repository.ubharajaya.ac.id/9965/1/Jurnal%20Suryadarma%201.pdf>.
- [5] Wahyuni, N. Aplikasi *Minimum Spanning Tree* pada Jaringan Listrik di Perumahan Mutiara Indah Village. Diakses pada 8 Desember 2023 dari <https://journal.uin-alauddin.ac.id/index.php/msa/article/view/37337>.

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, 10 Desember 2023



Muhammad Naufal Aulia 13522074