

# Aplikasi Minimum Spanning Tree pada Distribusi Tenaga Listrik Desa di Indonesia

Nigel Sahl - 13521043<sup>1</sup>

Program Studi Teknik Informatika  
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

<sup>1</sup>13521043@std.stei.itb.ac.id

**Abstrak**—Listrik adalah aliran dari partikel yang memiliki muatan. Arus listrik digunakan untuk mengontrol dan mengoperasikan perangkat, contohnya adalah telepon, komputer, dan lampu. Saat ini, listrik berperan penting bagi kehidupan manusia. Di Indonesia masih terdapat banyak daerah-daerah yang sampai saat ini belum terjangkau oleh listrik. Salah satu cara instalasi jaringan listrik adalah dengan menerapkan *minimum spanning tree*. Dengan cara tersebut, distribusi tenaga listrik akan menjadi lebih cepat dan efisien karena jarak yang ditempuh adalah jarak terkecil.

**Kata Kunci**—Minimum Spanning Tree, Tenaga Listrik, Desa, Distribusi, Pohon, Graf.

## I. PENDAHULUAN

Setiap hari, kita dikelilingi dengan salah satu penemuan yang sangat penting dalam sejarah, yaitu listrik. Sekitar 90 persen dari populasi manusia di bumi telah memiliki akses ke listrik pada tahun 2019. Namun, sekitar 759 juta orang masih belum memiliki akses ke listrik.

### IMPRESSIVE PROGRESS IN ELECTRIFICATION

**HAS SLOWED**

DUE TO THE CHALLENGE OF REACHING THOSE HARDEST TO REACH



**Gambar 1.1** Jumlah orang yang tidak memiliki akses ke listrik

Sumber : <https://sdgs.un.org/goals/goal7>

Listrik menjadi sebuah kebutuhan yang penting dalam kehidupan manusia. Hal tersebut didukung pada poin ketujuh *Sustainable Development Goals* atau biasa disebut SDGs. Poin ketujuh SDGs yaitu “*Affordable and Clean Energy*”. SDGs ini adalah salah satu dari 17 *Goals* yang memiliki tujuan untuk menjamin akses ke energi yang terjangkau dari segi kemudahan mendapatkan energinya dan keterjangkauan

harganya, dapat diandalkan, berkelanjutan, dan modern. Poin ketujuh tersebut menjadi hak bagi setiap manusia.



**Gambar 1.2** Sebaran desa yang belum teraliri listrik pada tahun 2021

Sumber: <https://dataindonesia.id/sector-riil/detail/mayoritas-des-a-di-papua-belum-teraliri-listrik-pada-2021>

Badan Pusat Statistik (BPS) mencatat, ada 19.565 desa atau kelurahan yang tidak memiliki akses ke listrik pada tahun 2021. Pada tahun 2022, melalui situs [bps.go.id](https://bps.go.id), masih banyak terdapat rumah tangga yang belum mendapatkan sumber penerangan listrik PLN.

Provinsi	Persentase		
	2020	2021	2022
Papua	43.14	43.92	43.04
Papua Barat	83.09	81.08	83.49
Kalimantan Tengah	85.73	83.52	85.36
Nusa Tenggara Timur	74.05	81.12	85.58
Kalimantan Barat	86.48	86.92	89.99

**Tabel 1.1** Persentase Rumah tangga dengan Sumber Penerangan Listrik PLN di bawah 90 persen

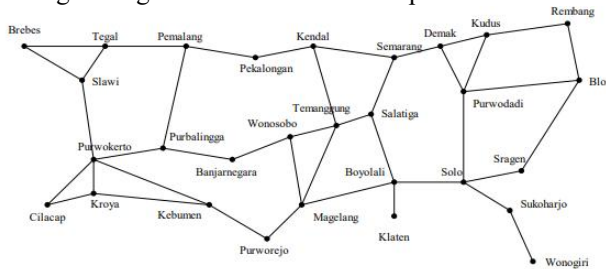
Sumber:

<https://www.bps.go.id/indicator/29/87/1/persentase-rumah-tangga-dengan-sumber-penerangan-listrik-pln.html>

## II. LANDASAN TEORI

### A. Graf

Graf adalah sekumpulan simpul-simpul (*nodes*) dan sisi-sisi (*edges*). Graf dapat dilambangkan dengan  $G = (V, E)$  yaitu sebuah Graf  $G$  yang memiliki pasangan *vertices/nodes*  $V$  dan *edges*  $E$ . *Edge* atau sisi pada suatu graf menghubungkan antara dua buah simpul.



**Gambar 2.1** Sebuah graf yang menaggambarkan peta jaringan jalan raya yang menghubungkan sejumlah kota di Jawa Tengah

Sumber :

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>

Graf memiliki berbagai jenis di antaranya adalah graf sederhana, graf ganda, graf semu, graf berarah, dan graf-ganda berarah. Dalam terminologi graf, graf memiliki banyak istilah-istilah yaitu:

- 1. Ketetanggaan (Adjacent)**  
Dua buah simpul bertetangga jika kedua buah simpul tersebut terhubung langsung satu sama lainnya.
- 2. Beririsan (Incidency)**  
Sebuah sisi  $e$  dengan simpul  $a$  dan  $b$  atau dilambangkan dengan  $e = (a, b)$  memiliki irisan dengan  $a$  dan sisi  $e$  juga memiliki irisan dengan  $b$ .
- 3. Simpul Terpencil**  
Sebuah simpul yang sama sekali tidak memiliki sisi yang beririsan dengannya atau tidak bertetangga sama sekali dikatakan simpul terpencil.
- 4. Graf Kosong**  
Sebuah graf yang hanya terdiri dari simpul terpencil atau tidak memiliki sisi disebut graf kosong.
- 5. Derajat**  
Derajat sebuah simpul adalah jumlah sisi-sisi yang memiliki irisan dengan simpul tersebut.
- 6. Lintasan**  
Lintasan atau *path* yang memiliki panjang  $n$  dari suatu simpul awal  $v_0$  ke simpul tujuan  $v_n$  dalam graf  $G$  adalah barisan yang berselang-seling dari simpul-simpul dan sisi-sisi yang berbentuk  $v_0, e_1, v_1, e_2, v_{n-1}, e_n, v_n$  sedemikian sehingga  $e_n = (v_{n-1}, v_n)$  merupakan *edges* pada graf  $G$ . Panjang lintasan merupakan jumlah sisi-sisi yang berada pada lintasan tersebut.
- 7. Siklus**  
Siklus atau sirkuit adalah lintasan dari suatu graf yang memiliki awal dan akhir pada simpul yang sama. Panjang sebuah sirkuit adalah jumlah *edges* pada sirkuit tersebut.

### 8. Keterhubungan

Simpul  $a$  dan simpul  $b$  disebut terhubung jika terdapat paling sedikit satu buah lintasan dari  $a$  ke  $b$ . Graf dikatakan terhubung jika untuk semua simpul terhubung antara satu dengan yang lain. Dua simpul  $a$  dan  $b$  terhubung kuat jika terdapat lintasan dari  $a$  ke  $b$  dan sebaliknya.

### 9. Upagraf

Upagraf dari graf  $G = (V, E)$  adalah  $G_1 = (V_1, E_1)$  dengan  $V_1$  adalah subset dari  $V$  dan  $E_1$  adalah subset dari  $E$ . Sebuah upagraf  $G_1 = (V_1, E_1)$  disebut dengan upagraf merentang ketika  $V_1 = V$  atau upagraf  $G_1$  memiliki semua simpul graf  $G$ .

### 10. Cut-Set

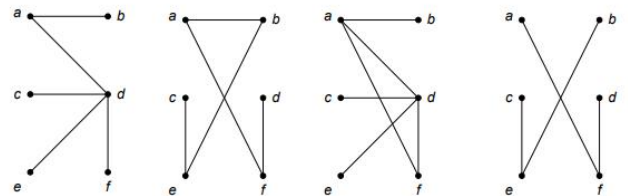
Cut-set dari sebuah graf  $G$  merupakan himpunan dari sisi-sisi graf  $G$  yang ketika dihilangkan dari  $G$  akan menyebabkan  $G$  tidak terhubung.

### 11. Graf Berbobot

Suatu graf  $G$  disebut sebagai graf berbobot jika masing-masing sisi dari  $G$  diberikan nilai atau bobot.

### B. Pohon

Pohon adalah suatu graf yang tidak memiliki arah dan tidak mengandung sirkuit atau siklus. Hutan atau *forest* merupakan pohon-pohon yang saling lepas atau graf yang tidak terhubung dan tidak memiliki sirkuit.



pohon

pohon

bukan pohon

bukan pohon

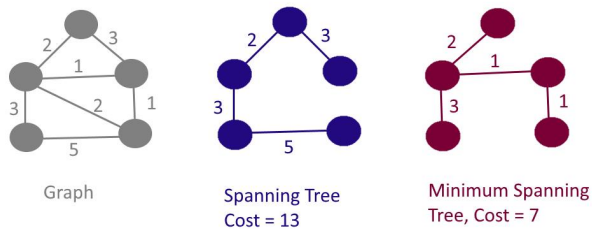
**Gambar 2.2** Contoh gambar pohon dan bukan pohon

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf>

Pohon dapat dilambangkan sebagai  $G = (V, E)$  dengan simpul sebanyak  $n$  dan memiliki properti diantaranya:

- 1.**  $G$  merupakan sebuah pohon.
- 2.** Masing-masing simpul dalam  $G$  saling terhubung dengan lintasan yang tunggal.
- 3.**  $G$  terhubung dan memiliki sisi sebanyak  $n-1$ .
- 4.**  $G$  tidak memiliki sirkuit.
- 5.** Penambahan satu buah sisi pada pohon  $G$  hanya akan menghasilkan satu buah sirkuit.
- 6.** Semua sisi dalam pohon  $G$  adalah jembatan.



**Gambar 2.3** Pohon merentang dari sebuah graf

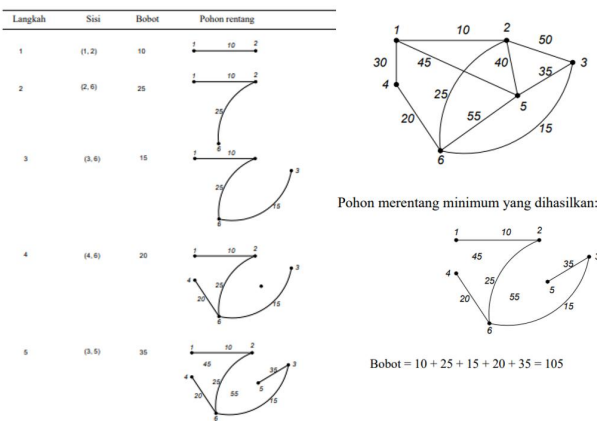
Sumber:

<https://algorithms.tutorialhorizon.com/introduction-to-minimum-spanning-tree-mst/>

Pohon merentang dari sebuah graf yang terhubung merupakan sebuah upagraf merentang berupa pohon. Pohon merentang dihasilkan dari pemutusan sirkuit dalam sebuah graf. Setiap graf yang terhubung pasti memiliki pohon merentang, paling sedikitnya adalah satu pohon merentang. Graf yang tidak terhubung dengan  $n$  buah komponen memiliki  $n$  buah hutan yang merentang. Graf yang terhubung dan berbobot bisa memiliki lebih dari satu pohon merentang.

Pohon merentang yang memiliki bobot minimum pada sisi-sisinya merupakan pohon merentang minimum atau *minimum spanning tree* (MST). Pohon merentang minimum dapat diperoleh dari suatu graf berbobot yang dilakukan pemutusan satu atau lebih sirkuit yang berada dalam sebuah graf tersebut menjadi sebuah pohon merentang dan memiliki total bobot yang terkecil. Terdapat algoritma dalam membentuk pohon merentang minimum yakni algoritma Prim dan algoritma Kruskal.

Algoritma Prim memiliki tiga buah langkah utama. Pertama, pilih sisi dari sebuah graf  $G$  yang memiliki bobot terkecil atau minimum, kemudian masukkan ke dalam  $T$ . Kedua, Pilih sisi dari graf misalkan  $(u,v)$  yang memiliki bobot minimum dan memiliki irisan dengan simpul di  $T$ , tapi tidak akan membentuk sirkuit di  $T$ , dan masukkan sisi tersebut ke dalam  $T$ . Langkah ketiga adalah mengulangi langkah kedua sebanyak total simpul dalam graf dikurangi dua  $(n-2)$ .



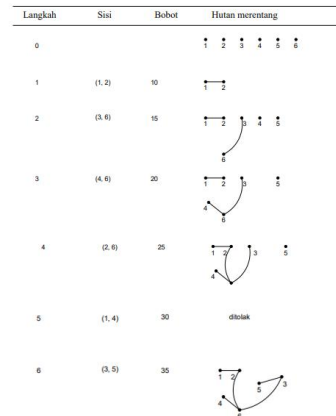
**Gambar 2.4** Contoh penerapan algoritma Prim

Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf>

Algoritma Kruskal memiliki tiga buah langkah utama dengan kondisi awal langkah nol. Langkah nol yaitu sisi-sisi dalam graf telah diurutkan menaik berdasarkan bobotnya (dari bobot terkecil sampai terbesar). Langkah pertama yaitu kondisi  $T$  yang masih kosong. Kedua, pilih sisi dalam graf misalkan  $(u,v)$  dengan bobot yang terkecil atau minimum dan tidak membentuk sirkuit pada  $T$ . Tambahkan sisi  $(u,v)$  ke dalam  $T$ . Langkah ketiga adalah mengulangi langkah kedua sebanyak total simpul dalam graf dikurangi 1  $(n-1)$ .

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 2.5** Contoh penerapan algoritma Kruskal

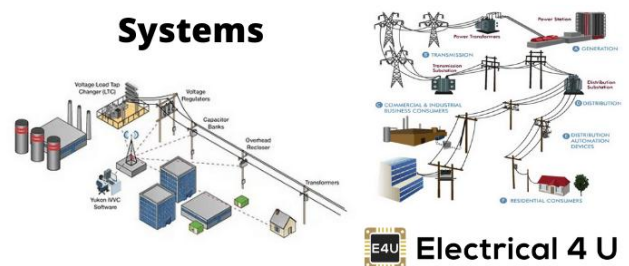
Sumber:

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/20-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf>

### III. PEMBAHASAN

Jaringan listrik merupakan salah satu sistem yang paling sulit dan besar. Namun, jaringan listrik adalah suatu sistem yang paling canggih di dunia. Jaringan Oleh karena itu, jaringan listrik harus dapat menangani ribuan generator dengan berbagai macam teknologi dan ukuran serta dapat mendistribusikan listrik kepada jutaan pengguna dengan efektif, efisien, dan berkelanjutan. Pada pembahasan ini, akan dibahas salah satu cara mendistribusikan listrik ke rumah-rumah dengan menggunakan minimum spanning tree menggunakan QGIS (*Open Source Quantum Geographic Information System*).

## Power Distribution Systems



**E4U Electrical 4 U**

**Gambar 3.1** Power distribution system

Sumber: <https://www.electrical4u.com/electrical-power-distribution-system-radial-ring-main-electrical-power-distribution-system/>

Hal-hal yang diperlukan dalam membuat *spanning minimum tree* dari lokasi tertentu di peta adalah :

1. QGIS Version 3.28.1

Software utama dalam pembuatan MST pada pembahasan di malakah ini adalah dengan menggunakan QGIS yang diunduh dari laman <https://qgis.org/en/site/>.

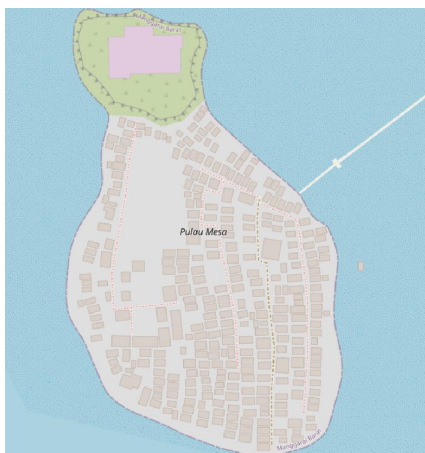
2. *Plugin Minimum Spanning Tree*

Metode yang digunakan dalam pembuatan skema jaringan listrik adalah MST yang berupa sebuah *plugin* atau komponen perangkat lunak yang akan diintegrasikan ke dalam software QGIS. *Plugin* tersebut diunduh dari laman [https://plugins.qgis.org/plugins/minimum\\_spanning\\_tree/](https://plugins.qgis.org/plugins/minimum_spanning_tree/).

3. Integrasi *plugin* MST

*Plugin* yang telah diunduh, diintegrasikan ke dalam QGIS dengan menambahkan dengan menginstall *plugin* tersebut pada opsi *plugins* dalam aplikasi dan memilih install dari file zip.

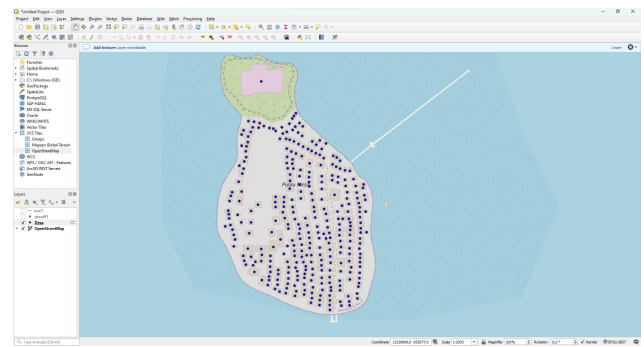
Desa yang akan dijadikan sebagai studi kasus adalah Desa Mesa yang sudah memiliki PLTS di tempat terbuka di ujung pulau. Desa ini terletak di Pasir Putih, Kecamatan Komodo, Kabupaten Manggarai Barat, Provinsi Nusa Tenggara Timur. Di bawah ini merupakan tampilan awal Desa Mesa pada *OpenStreetMap* dalam QGIS.



**Gambar 3.2 Pulau Mesa**

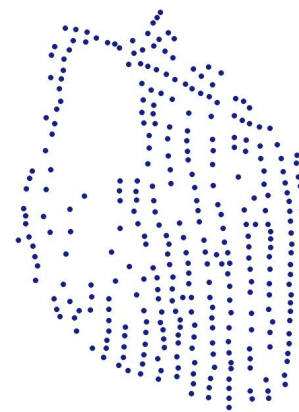
Sumber: *OpenStreetMap* dalam aplikasi QGIS

Selanjutnya pembuatan layer baru dengan tipe *shapefile* dengan nama *Desa\_Mesa*. *Layer* tersebut digunakan sebagai penempatan titik-titik distribusi listrik yang juga sebagai representasi simpul dalam graf. Penempatan titik-titik disesuaikan dengan lokasi rumah-rumah dan PLTS pada pulau Mesa. Total simpul-simpul yang terbentuk adalah 317 simpul. Simpul-simpul pada *layer* ini akan digunakan sebagai masukan dari komponen perangkat lunak *Minimum Spanning Tree* dalam QGIS.



**Gambar 3.3 Titik-titik distribusi listrik Pulau Mesa**

Sumber: *OpenStreetMap* dalam aplikasi QGIS



**Gambar 3.4 Representasi simpul-simpul dalam graf**

Sumber: *Shapefile Layer* dalam aplikasi QGIS

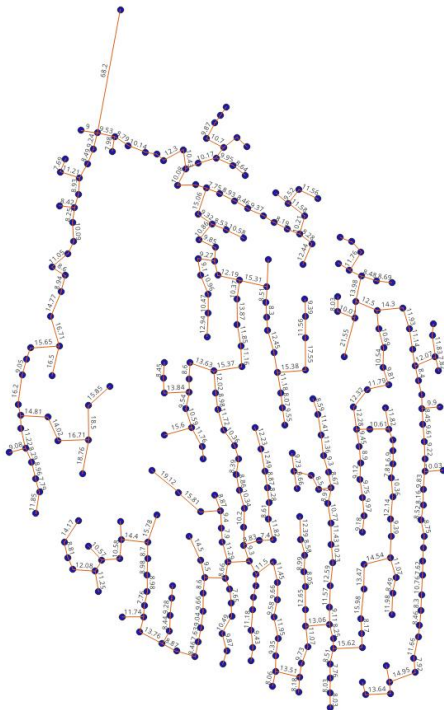
Sebuah graf lengkap akan memiliki sisi sebanyak  $n(n-1)/2$  sisi dengan  $n$  merupakan banyak simpul pada graf. Dari simpul-simpul tersebut, dapat dibentuk sebuah graf lengkap  $G$  dengan sisi sebanyak 50.086 sisi ( $n=317, 317(317-1)/2$ ).

Menurut Carley's *theorem*, jika sebuah graf merupakan graf lengkap (*complete graph*), maka terdapat sebanyak  $n^{n-2}$  pohon merentang yang dapat dibentuk dengan  $n$  merupakan banyak simpul pada graf tersebut. Dari graf  $G$  yang memiliki sebanyak 317 simpul, dapat dibentuk sebanyak  $317^{317-2}$  atau setara dengan  $6,8181664383684842913816686487313e+787$  pohon merentang. Angka tersebut sangat besar jika harus dicari satuper satu pohon merentang mana yang paling minimum.

Algoritma yang digunakan dalam pembahasan ini adalah algoritma Prim dengan menggunakan *plugin* MST yang telah diunduh dalam QGIS. Pada opsi *plugin* MST, terdapat beberapa pilihan masukan yaitu *vector* dengan masukan *vector layer* dan *barrier layer (optional)*, *automatic* dengan masukan yang sama, dan terakhir adalah raster dengan masukan *vector layer*, *raster layer*, dan *barrier layer (optional)*. Dalam pembahasan ini, digunakan opsi *automatic* dengan file masukan berupa *shapefile (vector layer)*.

*File* keluaran dari hasil pembuatan *Minimum Spanning Tree* pada QGIS diberi nama MST dengan tipe yang sama dengan masukannya yaitu *shapefile*. Selanjutnya adalah memasangkan *label* jarak kepada setiap sisi-sisi dari pohon merentang tersebut. *Label* jarak yang diberikan dibulatkan dengan dua angka di belakang koma agar dapat dilihat dengan jelas. *Label* jarak pada aplikasi QGIS menggunakan satuan meter. Total

sisi yang terbentuk dari sebuah pohon merentang minimum adalah  $n-1$  sisi dengan  $n$  adalah simpul. Dari hasil pembuatan pohon merentang minimum, sisi yang terbentuk dalam pohon merentang adalah sebanyak 316 sisi.



**Gambar 3.5 Hasil pohon merentang minimum**

Sumber: MST shapefile layer dalam aplikasi QGIS dengan menggunakan plugin MST

Sisi dengan jarak terpanjang sebesar 68,200 meter dan sisi dengan jarak terpendek sebesar 5,071 meter. Selanjutnya, dilakukan proses perhitungan jarak total yang dibentuk dari hasil pohon merentang minimum. Perhitungan jarak menggunakan opsi *open attribute table* pada layer MST. Tabel tersebut berisi id graf yang berupa angka dari 0 sampai 315 dan *cost* atau harga sisi-sisi dalam graf. Selanjutnya adalah penambahan *field* baru dengan nama *length\_m*. field baru tersebut dibuat agar semua sisi dalam satuan meter dan tidak ada pembulatan.

id	cost	length_m
0	0,000143655356...	15,848
1	0,000167263577...	18,499
2	8,488885045e-05	9,389
3	0,000104535704...	11,562
4	0,000158641897...	17,546
5	6,2921359914e-05	6,954
6	7,9687420922e-05	8,811
7	0,00010967560773	12,075
8	6,4529261042e-05	7,128
9	8,8461124198e-05	9,739
10	9,5701623676e-05	10,584
11	8,9986185833e-05	9,952
12	9,5765315489e-05	10,569
13	0,000101724598...	11,249
14	0,000128336121...	14,174

**Gambar 3.7 Attribute table pada layer MST**

Sumber: Attribute table pada MST layer pada aplikasi QGIS



**Gambar 3.6 Hasil pohon merentang minimum dengan layer openstreetmap**

Sumber: MST shapefile layer dan openstreetmap pada aplikasi QGIS dengan menggunakan plugin MST

Perhitungan total jarak dihitung dengan *Basic Statistic for Fields* pada opsi *vector* dalam aplikasi QGIS. Selanjutnya, memilih *layer* yang akan diperiksa yaitu *layer* MST dan *field* yang akan dilihat statistiknya adalah *length\_m*.

```

Execution completed in 0.08 seconds
Results:
'COUNT': 316,
'CV': 0.4160857601801567,
'EMPTY': 0,
'FILLED': 316,
'FIRSTQUARTILE': 8.187000000000001,
'IQR': 3.2889999999999999,
'MAJORITY': 7.534,
'MAX': 68.2,
'MEAN': 10.157287974683546,
'MEDIAN': 9.3615,
'MIN': 5.071,
'MINORITY': 5.071,
'OUTPUT_HTML_FILE': 'C:/Users/Nexbi/Downloads/data_desa.html',
'RANGE': 63.1290000000000005,
'STD_DEV': 4.226302888314968,
'SUM': 3209.7030000000001,
'THIRDQUARTILE': 11.475999999999999,
'UNIQUE': 305}
    
```

**Gambar 3.8 Basic Statistic for Fields pada layer MST**

Sumber: Basic Statistic for Fields pada MST layer dengan field *length\_m* pada aplikasi QGIS

Dari statistik di atas, total jarak dari *minimum spanning tree* dengan 316 sisi adalah 3209,7030000000001 meter atau sekitar 3,2 km.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Kebutuhan manusia akan listrik tidak dihindarkan karena listrik menjadi sebuah kebutuhan yang sangat penting dalam kehidupan manusia saat ini. Sesuai dengan sila kelima dalam Pancasila yaitu “Keadilan Sosial bagi Seluruh Rakyat Indonesia”, sudah seharusnya semua penduduk di Indonesia mendapatkan hak akan kebutuhan energi listrik yang setara.

Dengan menggunakan algoritma Prim dan Kruskal dalam pembuatan pohon merentang minimum dalam konsep graf dan pohon, kita dapat membuat jaringan listrik yang teratur dan dengan panjang kabel minimum. Implementasi dari pembuatan pohon merentang minimum salah satunya adalah dengan menggunakan aplikasi Quantum Geographic Information System atau QGIS dengan *plugin* MST (*Minimum Spanning Tree*).

Pembahasan dalam makalah ini masih banyak kekurangan dari sisi teknologi maupun keefektifan metode yang digunakan. maka dari itu perlu adanya peningkatan dari berbagai sisi agar hasil pohon merentang yang didapat sesuai dengan kebutuhan efektif, dan efisien dalam pendistribusian aliran listrik. Saran dalam makalah ini adalah penentuan pemasangan titik-titik rumah sebagai representasi simpul dalam graf dengan jelas dan sesuai dengan lokasi asli dari tempat disalurkan listrik ke rumah-rumah.

#### V. UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat rahmat dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan penulisan makalah ini. Ucapan terima kasih saya sampaikan kepada keluarga saya yang telah memberikan dukungan dan do'a kepada saya dalam menjalani pendidikan saya di ITB. Saya juga ucapkan terima kasih kepada dosen pengampu kelas 1 mata kuliah Matematika Diskrit tahun 2022 yaitu Ibu Nur Ulfa Maulidevi atas pengajarannya selama satu semester ini sehingga saya dapat menyelesaikan pembuatan makalah ini dengan baik.

#### REFERENSI

- [1] Bbc. “What is electricity?”. <https://www.bbc.co.uk/bitesize/topics/zgy39j6/articles/z8mxgdm>. Diakses pada 9 Desember 2022.
- [2] Bonaci, Tamara, dan Adrienne Slaughter. 2018. “Lecture 12: Introduction to Graphs and Trees”. [https://course.ccs.neu.edu/cs5002f18-seattle/lects/cs5002\\_lect12\\_fall18\\_slides.pdf](https://course.ccs.neu.edu/cs5002f18-seattle/lects/cs5002_lect12_fall18_slides.pdf). Diakses pada 9 Desember 2022.
- [3] BPS. 2022. “Persentase Rumah tangga dengan Sumber Penerangan Listrik PLN (Persen), 2020-2022”. <https://www.bps.go.id/indicator/29/87/1/persentase-rumah-tangga-dengan-sumber-penerangan-listrik-pln.html>. Diakses pada 10 Desember 2022.
- [4] Department of Economic and Social Affairs. “Ensure access to affordable, reliable, sustainable and modern energy for all”. <https://sdgs.un.org/goals/goal7>. Diakses pada 9 Desember 2022.
- [5] Electrical4U. 2020. “Radial And Ring Main Power Distribution Systems: What Are They?”. <https://www.electrical4u.com/electrical-power-distribution-system-radial-ring-main-electrical-power-distribution-system/>. Diakses pada 11 Desember 2022.
- [6] Geeksforgeeks. 2022. “Total number of Spanning Trees in a Graph”. <https://www.geeksforgeeks.org/total-number-spanning-trees-graph/>. Diakses pada 11 Desember 2022.

- [7] Jain, Sumit. 2018. “Introduction to Minimum Spanning Tree (MST)”. <https://algorithms.tutorialhorizon.com/introduction-to-minimum-spanning-tree-mst/>. Diakses pada 10 Desember 2022.
- [8] Karnadi, Alif. 2022. “Masih Banyak Desa Tanpa Listrik di Papua pada 2021”. <https://dataindonesia.id/ragam/detail/masih-banyak-desa-tanpa-listrik-di-papua-pada-2021>. Diakses pada 10 Desember 2022.
- [9] Munir, Rinaldi. 2022. “Graf (Bag.1) Bahan Kuliah IF2120 Matematika Diskrit”. <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf>. Diakses pada 9 Desember 2022.
- [10] Munir, Rinaldi. 2022. “Pohon (Bag. 1) Bahan Kuliah IF2120 Matematika Diskrit”. <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf>. Diakses pada 10 Desember 2022.
- [11] Qgistutorials. “Calculating Line Lengths and Statistics”. [https://www.qgistutorials.com/en/docs/calculating\\_line\\_lengths.html](https://www.qgistutorials.com/en/docs/calculating_line_lengths.html). Diakses pada 11 Desember 2022.
- [12] Worldbank. 2021. “Report: Universal Access to Sustainable Energy Will Remain Elusive Without Addressing Inequalities”. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2021/06/07/report-universal-access-to-sustainable-energy-will-remain-elusive-without-addressing-inequalities>. Diakses pada 9 Desember 2022.
- [13] Zahedi, Ahmad. 2018. “Application of Smart Grid Technologies”. Elsevier Inc. <https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/electricity-network>. Diakses pada 11 Desember 2022.

#### 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 2022



Nigel Sahl 13521043