

Penerapan Pohon Merentang Minimum dalam Perencanaan Pembangunan Titik Akses Wi-Fi Gratis Guna Mendukung Pembangunan Kota Cerdas

Maharani Ayu Putri Irawan - 13520019¹

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

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

¹13520019@std.stei.itb.ac.id

Abstract— Connectivity via the internet is the most fundamental aspect of human's life during the Industrial Revolution 4.0 era when the use of the Internet of Things (IoT) is rampant, causing many cities in various countries seeking transformation into smart cities. Thus, in the process of transformation, the concept of minimum spanning tree can be used to determine the best path for Wireless Fidelity (Wi-Fi)—a type of Local Area Network (LAN) commonly used in communication between devices integrated via IoT concept—cable installation.

Keywords—Cable, Internet of Things, Minimum Spanning Tree, Smart City, Wi-Fi.

I. PENDAHULUAN

Pada era Revolusi Industri keempat ini, berbagai bidang berkaitan dengan teknologi berkembang. Salah satu yang paling marak digunakan adalah *Internet of Things* (IoT). Patel, dkk (2016) mendefinisikan IoT sebagai jenis jaringan untuk mengintegrasikan berbagai perangkat yang terhubung melalui internet berdasarkan protokol yang ditetapkan agar dapat saling berkomunikasi dan bertukar data untuk mencapai pengenalan, pemosisian, penelusuran, pemantauan, dan administrasi yang cerdas. Teknologi IoT mentransformasi berbagai bidang dan aspek kehidupan, seperti hadirnya *digital twin* dan *smart city* (kota cerdas). Dalam sebuah kota cerdas, Frost dan Sullivan (2019) mendefinisikan delapan kriteria antara lain: *smart governance, smart energy, smart building, smart mobility, smart infrastructure, smart technology, smart healthcare, dan smart citizen*. Kedelapan kriteria ini memanfaatkan digitalisasi dan otomatisasi, proses yang bertransformasi melalui kehadiran IoT.

Berbagai negara di dunia, tak terkecuali Indonesia, telah menargetkan transformasi berbagai kota menjadi kota cerdas. Indonesia, melalui Kementerian Dalam Negeri dan Peraturan Pemerintah Nomor 28 Tahun 2018 tentang Kerjasama Daerah melalui Ekonomi Cerdas, Masyarakat yang Cerdas, Pemerintahan yang Cerdas, Mobilitas yang Cerdas, Lingkungan yang Cerdas, dan Peningkatan Kualitas Hidup yang Cerdas, turut memiliki target pembangunan Kota Cerdas. Kota Cerdas dinilai dapat menyelesaikan permasalahan kawasan perkotaan yakni urbanisasi. Padatnya populasi perkotaan menyebabkan munculnya berbagai permasalahan, seperti permukiman kumuh

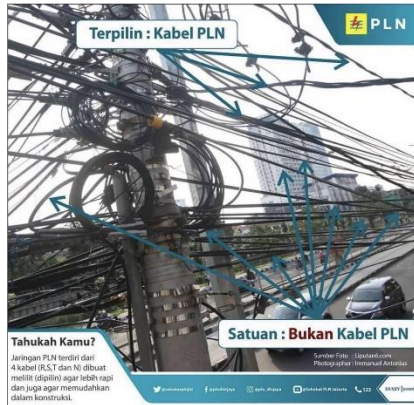
dan lalu lintas macet, yang dapat memiliki implikasi lebih jauh pada permasalahan sosial dan ekonomi masyarakat, menyebabkan terus berputarnya segitiga kemiskinan bagi kelompok masyarakat tertentu. Oleh karena itu, untuk mewujudkan kesejahteraan umum dan menjadikan kota sebagai tempat yang layak untuk dimukimi, berbagai kota di Indonesia ditargetkan transformasinya menuju kota cerdas.

Salah satu aspek kota cerdas yang ditargetkan pemerintah Indonesia adalah peningkatan kualitas hidup yang cerdas. Untuk mencapai target ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah penyediaan fasilitas koneksi internet gratis di lokasi-lokasi publik, seperti taman, halte bis, stasiun, jembatan penyeberangan orang, jalan-jalan protokol, tempat wisata, dan berbagai lokasi publik lainnya. Penyediaan konektivitas internet membantu menciptakan komunitas masyarakat yang lebih luas dan terkoneksi selain diuntungkannya proses bisnis, turisme, edukasi, dan pemerintahan. Hal ini secara tidak langsung juga berdampak pada ekonomi yang cerdas, masyarakat yang cerdas, dan pemerintahan yang cerdas.

Selain itu, berbagai perangkat digital yang mendukung otomatisasi proses dinamika kehidupan perkotaan dalam sebuah kota cerdas terintegrasi melalui internet dengan protokol tertentu. Sensor dalam suatu sistem memerlukan konektivitas dengan sensor gateway. Konektivitas ini lazimnya dicapai dengan menggunakan *Local Area Network* (LAN) atau jenis jaringan lain yang sesuai aplikasi. Untuk sensor-sensor yang bekerja dalam suatu wilayah lokal tertentu, jenis jaringan LAN banyak digunakan. Contoh jaringan yang bekerja dalam area ini adalah *Wireless Fidelity* (Wi-Fi). Sehingga, nampaklah urgensi pengadaan koneksi internet gratis di tempat umum.

Implementasi Wi-Fi memerlukan router dan/atau *access point* (titik akses). Instalasi router dan/atau titik akses membutuhkan kabel yang biasanya terpasang pada tiang-tiang beton di sepanjang jalan. Pada beberapa kota dan daerah di Indonesia yang terpopulasi, sudah terdapat sangat banyak kabel *Internet Service Provider* (ISP) tergantung pada tiang-tiang beton. Oleh karena itu, dalam implementasi kebijakan ini, diperlukan implementasi Minimum Spanning Tree untuk mengoptimasi biaya instalasi seraya mempertimbangkan peletakan kabel yang diperlukan agar tidak memerlukan instalasi tiang beton baru dan tidak menambah kesemrawutan kabel pada tiang-tiang beton

yang telah ada.



Gambar 1.1 Gambaran semrawutnya kabel ISP

Sumber: <https://qph.fs.quoracdn.net/main-qimg-2930a66257d0058cfb67b00ddeb2f6b6>

II. LANDASAN TEORI

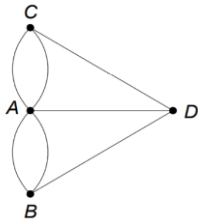
Pohon merentang minimum merupakan salah satu jenis pohon. Pohon sendiri merupakan salah satu jenis graf. Oleh karena itu, berikut akan dibahas mengenai teori graf dan pohon serta *framework Geographic Information System (GIS)* sebagai media pengumpulan dan pengolahan data.

A. Graf

Graf merupakan kumpulan pasangan simpul (*vertex*) yang dihubungkan oleh sisi (*edge*). Simpul merupakan representasi visual objek diskrit sedangkan sisi merupakan representasi hubungan antar objek-objek diskrit. Secara matematis, graf didefinisikan dengan notasi

$$G = (V, E)$$

dimana G merupakan graf dengan himpunan tak kosong simpul V dan himpunan sisi E yang menghubungkan sepasang simpul.



Gambar 2.1 Contoh graf persoalan Jembatan Königsberg

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

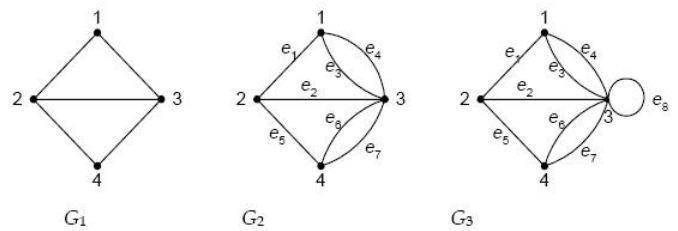
Simpul pada graf dapat diidentifikasi dengan alfabet, angka, atau gabungan dari keduanya. Sisi dari graf dapat diidentifikasi dengan notasi

$$e = (a, b)$$

dimana e merupakan sisi yang menghubungkan simpul a dan b .

Graf dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan keberadaan *loop* (gelang) dan sisi ganda, yakni graf sederhana dan graf tak sederhana. Graf sederhana adalah graf yang tidak mengandung *loop* (gelang) ataupun sisi ganda. Graf tak sederhana merupakan graf yang dapat mengandung gelang atau sisi ganda. Graf tak sederhana dibagi menjadi dua, yakni graf semu dan graf ganda. Graf semu merupakan graf yang mengandung gelang,

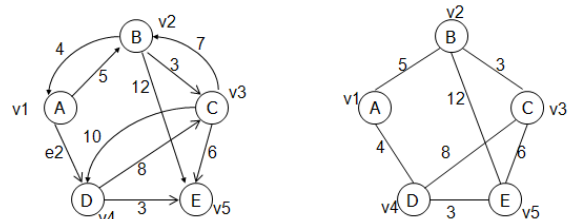
sedangkan graf ganda merupakan graf yang mengandung sisi ganda.



Gambar 2.2 Jenis Graf Berdasarkan Keberadaan Gelang dan Sisi Ganda: graf sederhana G_1 , graf ganda G_2 , graf semu G_3

Sumber: <http://athayaniimtinan.blogspot.com/2017/12/pewaranaan-graf.html>

Berdasarkan orientasi arah sisi, graf dibagi menjadi 2, yakni graf tak berarah dan graf berarah. Graf tak berarah merupakan graf dengan sisi tanpa arah. Graf berarah merupakan graf dengan sisi yang memiliki orientasi arah. Pada graf berarah, sisi biasa disebut dengan busur, simpul awal biasa disebut dengan simpul asal, sedangkan simpul akhir biasa disebut dengan simpul terminal.



Gambar 2.3 Jenis Graf Berdasarkan Orientasi Arah Sisi: (kiri) graf berarah, (kanan) graf tak berarah

Sumber: <https://aerfanpratomo95.wordpress.com/2014/06/26/graph/>

Terdapat beberapa terminologi dalam teori graf, antara lain:

1. Bertetangga
Dua simpul dikatakan bertetangga jika dihubungkan oleh sebuah/beberapa buah sisi.
2. Bersisian
Sebuah sisi dikatakan bersisian dengan dua buah simpul jika sisi tersebut menghubungkan dua buah simpul yang bersangkutan.
3. Simpul terpercil
Sebuah simpul dikatakan terpercil bila simpul tersebut tidak terhubung dengan simpul manapun melalui sisi manapun.
4. Graf kosong
Sebuah graf dikatakan sebagai graf kosong (N_n) apabila terdiri atas n simpul dan tidak memiliki sisi apapun.
5. Derajat
Derajat sebuah simpul adalah jumlah sisi yang terhubung secara langsung dengan simpul tersebut. Pada graf tak berarah semu, sisi gelang dihitung berderajat dua. Pada graf berarah, derajat dibagi dua, yakni derajat masuk (d_{in}) dan derajat keluar (d_{out}).
6. Lintasan
Lintasan adalah barisan simpul yang terhubung secara langsung oleh sisi-sisi yang menghubungkan dua simpul yang berurutan, atau dapat pula dikatakan bertetangga dengan simpul sebelum dan setelahnya.

7. Siklus atau Sirkuit

Siklus atau sirkuit adalah lintasan yang memiliki simpul awal dan akhir yang sama.

8. Terhubung

Dua simpul dikatakan terhubung satu dengan yang lain jika terdapat lintasan dari simpul satu ke simpul lainnya.

9. Upagraf/Subgraf dan komplemen upagraf/subgraf

Upagraf/subgraf adalah graf yang terdiri atas sebagian simpul dan sisi yang terdapat dalam graf utuh. Komplemen upagraf adalah graf yang mengandung sebagian simpul dan sisi yang terdapat pada graf utuh namun tidak terdapat pada upagraf.

10. Upagraf merentang

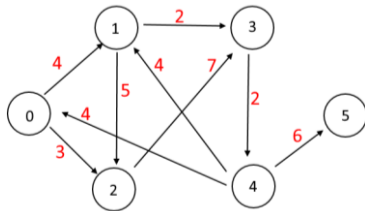
Upagraf merentang adalah upagraf yang mengandung seluruh simpul dan sebagian (bukan seluruh) sisi yang terdapat pada graf utuh. Seluruh simpul dan sisi yang terdapat dalam upagraf harus merupakan simpul dan sisi yang terdapat pada graf utuh.

11. Cut-set

Cut-set adalah himpunan sisi yang jika dihilangkan dari suatu graf dapat menyebabkan graf tersebut tidak terhubung.

12. Graf berbobot

Graf berbobot adalah graf yang sisi-sisinya memiliki bobot tertentu (dalam angka).

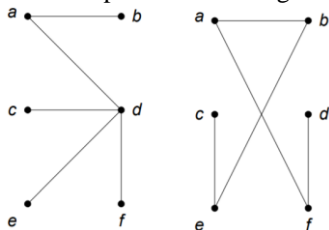


Gambar 2.4 Graf Berbobot

Sumber: <https://algorithms.tutorialhorizon.com/weighted-graph-implementation-java/>

B. Pohon

Pohon merupakan salah satu jenis graf, tetapi tidak semua graf merupakan pohon. Pohon bebas merupakan graf yang tak berarah, terhubung, dan tidak mengandung sirkuit. Pohon berakar merupakan pohon dimana salah satu simpulnya diperlakukan sebagai akar dan selalu terdapat lintasan dari akar ke seluruh simpul lainnya. Pohon merentang merupakan upagraf merentang yang dibentuk dengan cara menghapus sisi dari seluruh sirkuit yang terdapat dalam sebuah graf. Setiap graf terhubung pasti memiliki pohon merentang.

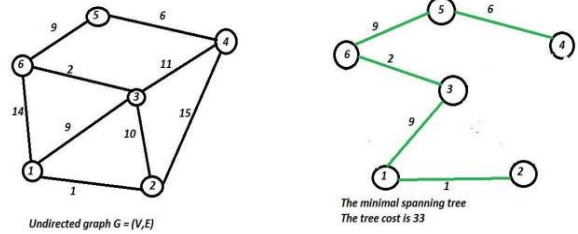


Gambar 2.5 Pohon

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

C. Pohon Merentang Minimum

Pohon merentang minimum merupakan pohon merentang dari sebuah graf berbobot yang jumlah dari bobot seluruh sisi pada pohon merentang tersebut minimum.



Gambar 2.6 Graf Berbobot (kiri) dan Pohon Merentang Minimumnya (kanan)

Sumber: https://www.researchgate.net/figure/Example-of-Minimum-spanning-tree-11_fig2_330778836

D. Pencarian Pohon Merentang Minimum dengan Algoritma Prim

Algoritma Prim adalah algoritma pencarian pohon merentang minimum pada graf terhubung. Berikut merupakan tahapan algoritma prim:

1. Pilih sembarang simpul untuk memulai. Pilih satu sisi berbobot minimum yang terhubung dengan simpul tersebut dan simpan pada pohon yang dibuat, misal bernama T.
2. Pilih sebuah sisi yang salah satu simpulnya terhubung dengan simpul pada T dan berbobot minimum, simpan pada pohon T.
3. Ulangi langkah 2 hingga seluruh simpul yang terdapat pada pohon awal terkandung pada T

E. Geographical Information System (GIS)

Guna mengumpulkan dan mengolah data spasial akan digunakan pula *framework Geographic Information System (GIS)*. GIS merupakan teknologi komputer yang digunakan untuk menyimpan, mengolah, menampilkan, dan menganalisis data spasial. GIS dapat menampilkan kenampakan bumi melalui berbagai lapisan data. Lapisan-lapisan data yang dipilih dapat digunakan untuk membuat peta dari kenampakan alam tertentu. Contoh lapisan data yang biasa digunakan adalah jalanan, bangunan, kabel listrik, jaringan telekomunikasi, kenampakan alam, dan sebagainya. Jenis data yang dapat diolah dengan GIS hanya data yang berkaitan dengan lokasi di permukaan bumi yang direpresentasikan dalam berbagai satuan yang valid, seperti contohnya garis lintang dan bujur, alamat, kode pos, dan lain-lain.

Teknologi GIS banyak dimanfaatkan untuk perencanaan pembangunan, navigasi, manajemen sumber daya alam, dan visualisasi. Oleh karena itu, pada makalah ini, GIS digunakan untuk perencanaan instalasi perangkat Wi-Fi di jalan dan tempat umum dan memvisualisasikan perencanaan ini dalam bentuk graf dan pohon merentang minimum.

Ada beberapa perangkat lunak berbasis GIS yang beredar saat ini. Beberapa di antaranya termasuk ArcGIS, QGIS, WebGIS, dan Maptitude. Guna penulisan makalah ini, digunakan QGIS dengan pertimbangan bahwa QGIS merupakan perangkat lunak yang bersifat *open-source* dengan dukungan komunitas yang besar dan dokumentasi yang baik.

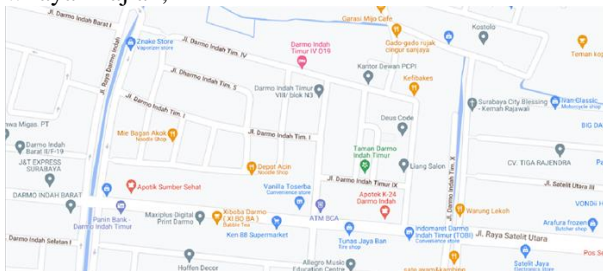
III. PEMBAHASAN

A. Data

Data yang digunakan di dalam paper ini bersumber dari pengamatan secara langsung dan data yang diambil dari pencitraan satelit melalui Google Street View dan Google Maps. Sebagai sampel, lokasi yang diambil dalam *paper* ini adalah daerah Darmo Indah Timur, Tandes, Surabaya. Proses pengambilan dan pengolahan data dilakukan dengan bantuan kaskas *Graphical Information System* (GIS) dengan *plugin* Google Maps. Aplikasi GIS yang digunakan penulis dalam penulisan makalah ini adalah QGIS v3.22.

Berikut merupakan proses pengolahan data yang telah dilakukan:

1. Menginstal QGIS v3.22 melalui pranala <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>,
2. Memasang *plugin* Google Maps dengan membuat *new connection* dengan URL “<https://mt1.google.com/vt/lyrs=r&x={x}&y={y}&z={z}>” dan menyesuaikan perbesaran kenampakan tampilan wilayah kajian,



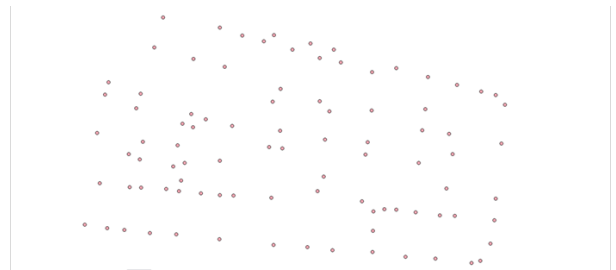
Gambar 3.1 Peta wilayah sampel ditampilkan dengan QGIS dan *plugin* Google Maps

3. Dengan menggunakan Google Street View dan pengamatan secara langsung, lokasi-lokasi tiang beton yang telah terpancang ditandai pada layer baru dengan memasukkan id unik dan keterangan lokasi di aplikasi QGIS. Point yang ditandai ada sebanyak 91 buah. Berikut merupakan tangkapan layer QGIS,



Gambar 3.2 Peta dengan titik-titik letak tiang beton

4. Menghilangkan layer tampilan peta untuk menandai point-point yang telah dibuat dengan id unik yang dimasukkan untuk setiap point, lalu menghubungkan point yang ada untuk membentuk graf berbobot.



Gambar 3.3 Graf kosong N_{91} dengan simpul berupa letak tiang beton di wilayah sampel



Gambar 3.4 Graf kosong N_{91} dengan keterangan nama simpul

5. Menduplikasi layer point yang telah dibuat,
6. Mengukur jarak antara setiap point dengan seluruh point selain point itu sendiri dengan kaskas *Distance Matrix* dan menyimpannya dalam ekstensi *Comma Separated Values* (.csv). File yang dihasilkan berupa matriks ketetanggaan. Baris pertama dan kolom pertama memuat id point yang ada, yakni 1-91. Satuan yang digunakan adalah meter.

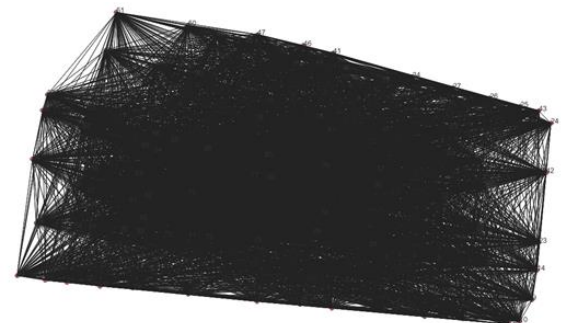


Gambar 3.5 Matriks ketetanggaan pada graf lengkap dengan 91 simpul

Guna efisiensi ruang, pada makalah ini, data sisi, simpul, dan bobot setiap sisi tidak ditampilkan.

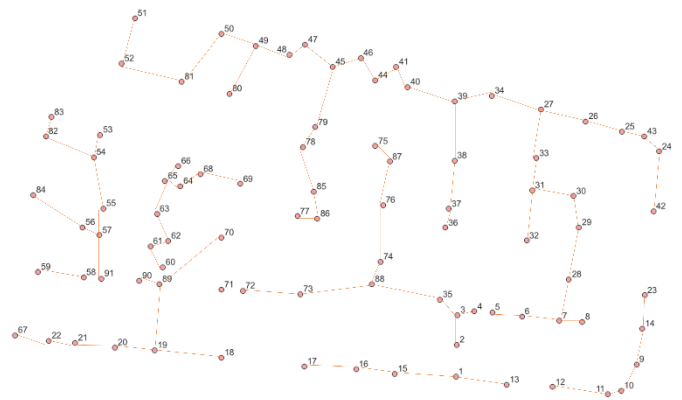
B. Representasi Graf dan Pohon Merentang Minimum

Berdasarkan matriks ketetanggaan yang telah terbentuk pada perolehan dan pengolahan data yang telah dilakukan, dibentuk graf lengkap yang ditunjukkan sebagai berikut,

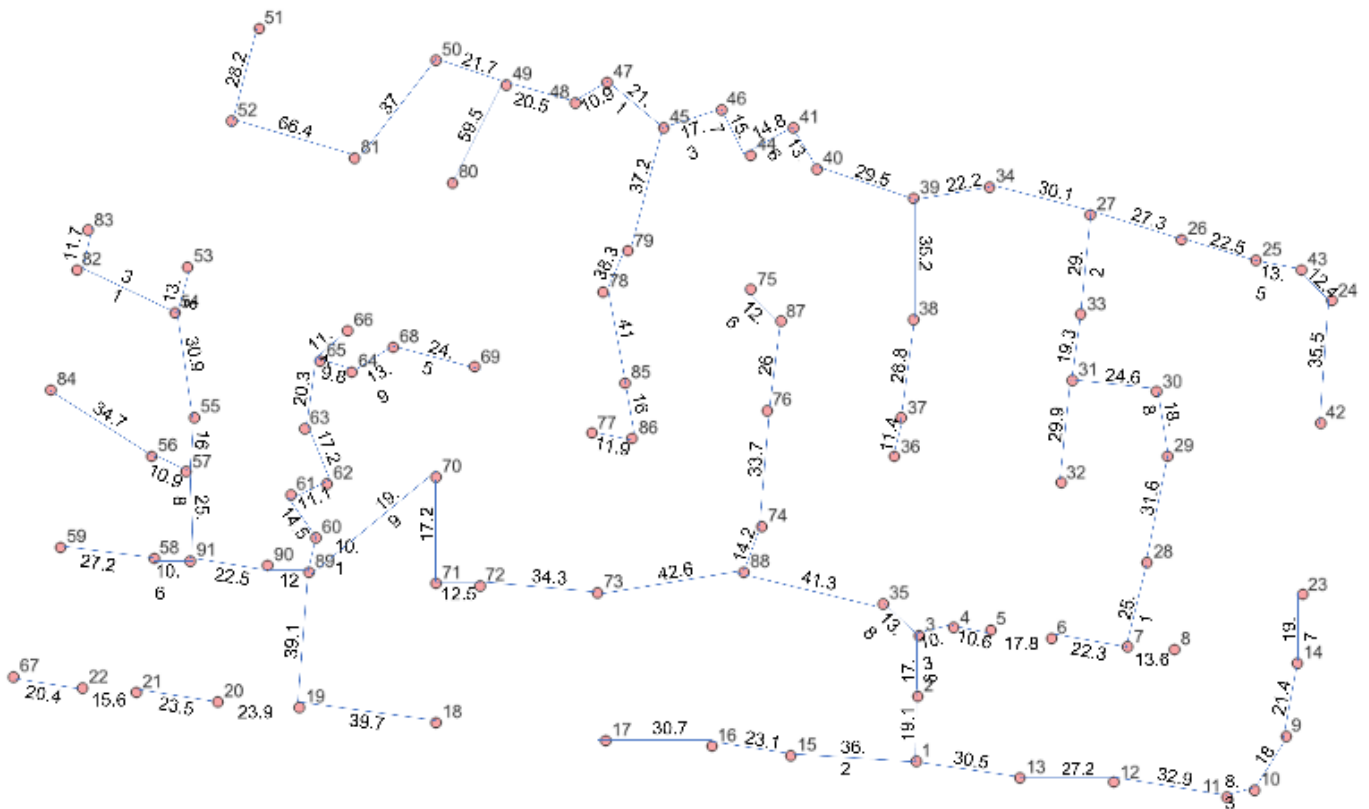


Gambar 3.6 Graf lengkap dengan simpul merepresentasikan titik-titik letak tiang beton dan sisi merepresentasikan jarak antara dua simpul

Dari graf lengkap yang terbentuk, digunakan kakas Python dan QGIS untuk membentuk pohon merentang minimum. Sebagai perbandingan dan koreksi, dibuat pula pohon merentang minimum secara manual (tanpa bantuan kakas). Berikut merupakan hasil pembentukan pohon merentang minimum dengan dan tanpa kakas menggunakan algoritma Prim,



Gambar 3.7 Pohon merentang minimum dibuat dengan algoritma Prim dari graf lengkap pada Gambar 3.6 dengan kakas Python dan QGIS



Gambar 3.8 Pohon merentang minimum dibuat dengan algoritma Prim dari graf lengkap pada Gambar 3.6 tanpa kakas

Pohon merentang minimum yang dibuat menggunakan algoritma Prim, baik dengan kakas maupun tanpa kakas, memiliki bentuk yang sama. Sebagai perbandingan, bobot pohon merentang minimum yang dibuat dengan kakas Python dan QGIS adalah 2008,2807578042273 sedangkan bobot pohon merentang minimum yang dibuat tanpa kakas adalah 2074 (dalam meter). Perbedaan ini disebabkan oleh pembulatan hingga 1 desimal pada pembuatan pohon merentang minimum tanpa menggunakan kakas.

C. Perencanaan Instalasi Titik Akses Wi-Fi

Setelah didapatkan pohon merentang minimum untuk menginstal kabel yang diperlukan seminimum mungkin, dalam instalasi titik akses Wi-Fi, perlu dipertimbangkan pula jarak jangkauan maksimum Wi-Fi yang digunakan. Menurut standar IEEE, saat ini terdapat beberapa standar koneksi nirkabel yang umum digunakan, antara lain 802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11n, 802.11ac, dan yang terbaru adalah 802.11ax. Berikut merupakan tabel yang menerangkan jarak jangkauan per jenis koneksi nirkabel yang dapat diinstal,

Standar IEEE	802.11a	802.11b	802.11g	802.11n	802.11ac
Frekuensi	5 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4/5 GHz	5 GHz
Kecepatan Data Maksimum	54 Mbps	11 Mbps	54 Mbps	600 Mbps	1 Gbps
Jarak jangkauan (dalam ruangan)	100 ft ≈ 30,48 m	100 ft ≈ 30,48 m	125 ft ≈ 38,1 m	225 ft ≈ 68,58 m	90 ft ≈ 27,432 m
Jarak jangkauan (luar ruangan)	400 ft ≈ 121,92 m	450 ft ≈ 137,16 m	450 ft ≈ 137,16 m	825 ft ≈ 251,46 m	1000 ft ≈ 304,8 m

Tabel 3.1 Jenis dan perbedaan standar koneksi nirkabel menurut IEEE

Sumber: <https://wirelessdmx.com/wp-content/uploads/2016/07/802.11-Wireless-Standards.png>

Pada makalah ini, akan digunakan standar 802.11ac sebagai acuan karena standar inilah yang paling lazim digunakan saat ini. Dengan mengacu pada standar 802.11ac, diketahui bahwa jarak jangkauan tipikal di dalam ruangan adalah 27,432 m. Digunakan jarak jangkauan tipikal di dalam ruangan karena pertimbangan kemungkinan terhalangnya jaringan oleh objek-objek yang berada di jalan, seperti pohon dan dinding. Oleh karena itu, seluruh sisi pada pohon merentang minimum yang telah dibentuk pasti digunakan untuk menggantung kabel optik namun tidak semua tiang beton perlu digunakan untuk menginstal router/titik akses Wi-Fi. Titik akses hanya perlu dipasang sekali dalam jarak 27,432 m.

Oleh karena itu, untuk menentukan tiang beton mana sajakah yang akan diutilisasi dalam instalasi ini, diperlukan langkah/algorithm tambahan. Untuk simplifikasi, diasumsikan bahwa router/titik akses diinstal tidak jauh dari tiang beton yang terpilih dan oleh karenanya jaraknya dapat diabaikan.

Guna menentukan tiang beton yang paling optimal digunakan, digunakan algoritma sebagai berikut:

1. Mulai dengan 1 simpul, tandai sebagai *current_node*. Simpan simpul ini sebagai salah satu simpul yang akan dipasang titik akses Wi-Fi.
2. Cek seluruh simpul yang bertetangga dengan simpul

current_node. Simpan bobot sisi yang menghubungkan *current_node* dengan sisi tetangga yang sedang diproses sebagai total. Apabila total lebih dari tiga kali jarak jangkauan tipikal Wi-Fi standar 802.11ac, ulangi langkah pertama pada node sebelumnya sebagai *current_node*. Bila total lebih dari dua kali jarak jangkauan tipikal Wi-Fi standar 802.11ac namun tidak sampai tiga kali lipatannya, ulangi langkah pertama pada node ini sebagai *current_node*. Namun, apabila total masih kurang dari dua kali jarak jangkauan tipikal Wi-Fi standar 802.11ac, yakni 54,864 meter, ulangi langkah kedua dengan merevisi nilai total sebagai jarak antara *current_node* dengan node ini. Langkah ini dilakukan dengan catatan, apabila sebuah simpul dilewati dan oleh karenanya sisi yang menghubungkan simpul tersebut dan simpul sebelumnya merupakan *cut-set*, kembali ke simpul sebelumnya dan ulangi langkah pertama dari simpul tersebut.

3. Setelah seluruh node diproses, didapatkan daftar simpul yang dapat digunakan sebagai titik pemasangan router/titik akses.

Dalam algoritma ini, diasumsikan bahwa jarak pemasangan yang dapat digunakan adalah dua kali jarak jangkauan tipikal jaringan, divisualisasikan dengan contoh berikut.



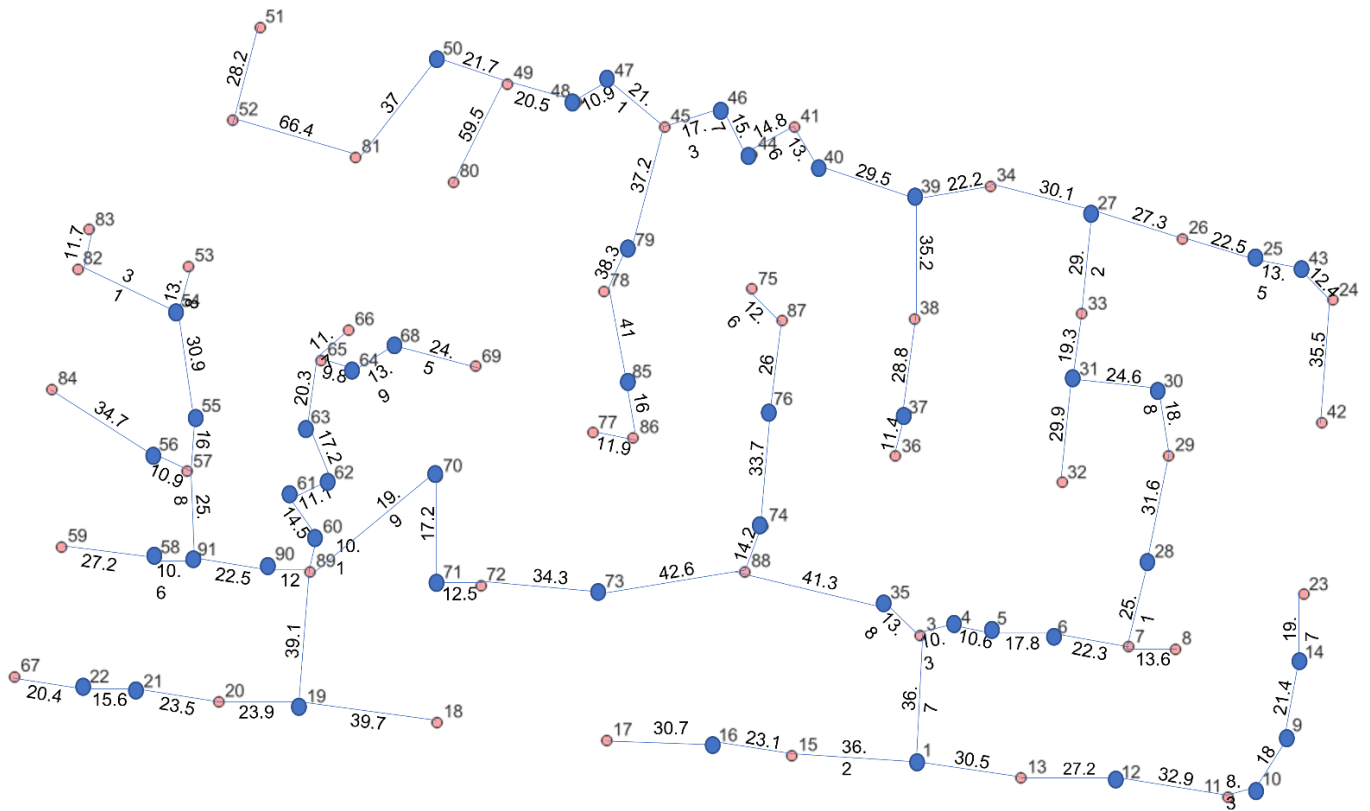
Gambar 3.9 Jarak antara 2 titik akses merupakan 2 kali jarak jangkauan tipikal jaringan

Sementara itu, jarak jangkauan yang ditoleransi sebesar jarak jangkauan tipikal jaringan itu sendiri, divisualisasikan dengan gambar berikut.



Gambar 3.10 Jarak toleransi antara 2 titik akses

Dengan menggunakan algoritma ini pada pohon merentang minimum yang dibuat dengan algoritma Prim tanpa kacas dan memulai dari simpul 17, didapatkan graf sebagai berikut.

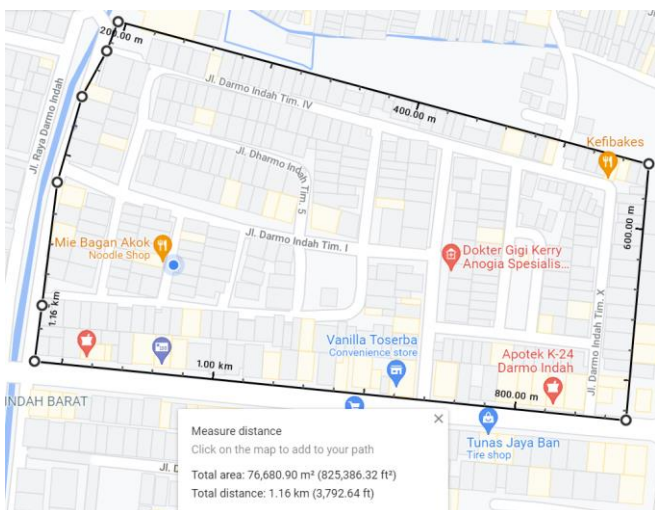


Gambar 3.11 Pohon merentang minimum dengan simpul berwarna merah muda merupakan simpul yang digunakan untuk instalasi titik akses dan simpul berwarna biru hanya dilewati kabel

Graf hasil penerapan algoritma diatas mengandung 47 titik tiang beton yang hanya dilalui kabel dan 44 titik tiang beton yang digunakan untuk instalasi router/titik akses.

$$\text{jumlah titik akses} = \frac{76.680,9}{27,743^2\pi} = 31,7285 \approx 32 \text{ titik akses}$$

Dengan demikian, dapat dilihat bahwa instalasi fasilitas Wi-Fi gratis di jalanan dan ruang publik tanpa menggunakan tiang beton yang telah ada membutuhkan 32 titik akses untuk menjangkau wilayah dengan luas area 76.680,9 dengan tanpa mempertimbangkan peletakan tiang beton (tiang beton dapat saja berada di letak rumah warga). Untuk wilayah yang sama, dengan menggunakan tiang beton yang telah ada dan mempertimbangkan peletakan tiang beton untuk tidak menggunakan wilayah perumahan warga, dibutuhkan 44 titik akses. Namun demikian, dalam kedua kondisi perhitungan ini, peletakan titik akses sama-sama tidak mempertimbangkan halangan jaringan oleh pohon/dinding/media lain yang berpotensi menghalangi sinyal jaringan.



Gambar 3.12 Pengukuran luas area wilayah kajian dengan Google Maps

Luas area wilayah kajian adalah 76.680,9 meter persegi. Berdasarkan kalkulasi yang telah dilakukan, diperlukan 44 titik akses untuk menjangkau seluruh wilayah ini. Guna perbandingan, berikut dihitung jumlah titik akses minimum yang diperlukan apabila diasumsikan wilayah jangkauan titik akses berbentuk lingkaran.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Pemodelan peta menggunakan *Geographic Information System* (GIS) dapat membantu menganalisis berbagai persoalan graf yang berkaitan dengan kenampakan muka bumi. Teori graf dan pohon memiliki pemanfaatan yang luas dalam kehidupan sehari-hari sehingga perlu diutilisasi secara maksimal terutama dalam era Revolusi Industri ke-4 dimana terjadi transformasi besar-besaran di seluruh belahan dunia yang diinisiasi oleh keberadaan internet dan konektivitas.

Dengan mengimplementasikan teori graf dan pohon merentang minimum dalam merancang jalur kabel, didapatkan

beberapa keuntungan yakni optimasi biaya yang diperlukan untuk instalasi perangkat dan peletakan yang lebih baik, berdampak pada estetika wilayah. Implementasi lebih lanjut untuk menentukan lokasi instalasi titik akses dapat sangat membantu dalam memaksimalkan keterjangkauan dan meminimumkan biaya instalasi fasilitas.

Penelitian ini masih dapat dikembangkan lebih lanjut dalam hal wilayah penerapan pohon merentang minimum. Dalam makalah ini, karena keterbatasan waktu dan sumber daya yang ada, analisis dengan pohon merentang minimum hanya dilakukan pada wilayah yang relatif sempit. Untuk mengembangkan penelitian ini, perlu digunakan pula data yang lebih akurat dan sumber data yang lebih lengkap. Salah satu saran yang dapat diberikan adalah pembentukan database letak tiang beton, tiang listrik, serta jalur kabel yang terdapat pada daerah di wilayah penelitian, baik melalui database lazimnya maupun terintegrasi dalam proyek Open Street Map (OSM). Dapat pula dilakukan pengembangan jenis lapisan yang dapat diolah menggunakan GIS yakni jalur kabel jaringan dan letak tiang beton.

V. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya hendak saya sampaikan pada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat-Nya lah saya berhasil menyelesaikan penulisan makalah ini. Tidak lupa ucapan terima kasih saya sampaikan kepada keluarga saya yang telah mendukung dalam proses pendidikan dan perkuliahan yang mana makalah ini merupakan salah satu bagian dari proses tersebut. Tentu saja makalah ini tak dapat selesai tanpa pengajaran dan dedikasi dari dosen pengampu mata kuliah Matematika Diskrit Semester 1 2021/2022 Kelas 01, Bapak Rinaldi Munir. Akhir kata, saya sampaikan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dan mendukung selesainya makalah ini, tak terkecuali para pengembang perangkat lunak *open-source* QGIS dan dokumentasi yang diperlukan.

REFERENSI

- [1] Ali, Ershad. 2020. Geographic Information System (GIS): Definition, Development, Applications & Components. Halaman 1, 5-7. Diakses melalui https://www.researchgate.net/publication/340182760_Geographic_Information_System_GIS_Definition_Development_Applications_Components pada 10 Desember 2021.
- [2] Anonim. "Basic Graph Theory." Diakses melalui <http://www.people.vcu.edu/~gasmerom/MAT131/graphs.html> pada 4 Desember 2021.
- [3] Carnegie Mellon University. 2012. Recitation 10—Graph Contraction. Halaman 1. Diakses melalui <http://www.cs.cmu.edu/afs/cs/academic/class/15210-f12/www/recis/rec10.pdf> pada 13 Desember 2021.
- [4] Download QGIS v3.22.1 melalui <https://qgis.org/en/site/forusers/download.html>.
- [5] Frost, Sullivan. 2019. Smart Cities. Halaman 4. Diakses melalui <https://www.frost.com/wp-content/uploads/2019/01/SmartCities.pdf> pada 3 Desember 2021.
- [6] Gandhi, Ujaval. 2021. QGIS Tutorials and Tips. Diakses melalui <http://www.qgistutorials.com/en/> pada 5 Desember 2021.
- [7] Imthinan, Athayani. "Pewarnaan Graf." Diakses melalui <http://athayaniimtinan.blogspot.com/2017/12/pewarnaan-graf.html> pada 3 Desember 2021.

- [8] Munir, Rinaldi. 2016. Matematika Diskrit (Revisi Keenam). Bandung: Penerbit Informatika.
- [9] Munir, Rinaldi. 2020. Graf (bag.1) Bahan Kuliah IF2120 Matematika Diskrit. Diakses melalui <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Graf-2020-Bagian1.pdf> pada 13 Desember 2021.
- [10] Munir, Rinaldi. 2020. Pohon (bag.1) Bahan Kuliah IF2120 Matematika Diskrit. Diakses melalui <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2020-2021/Pohon-2020-Bag1.pdf> pada 13 Desember 2021.
- [11] Patel, Sunil dan Patel, Keyur. 2016. Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. *International Journal of Engineering Science and Computing*. 6(5): 6122, 6124. Diakses melalui https://www.researchgate.net/publication/330425585_Internet_of_Things_-_IOT_Definition_Characteristics_Architecture_Enabling_Technologies_Application_Future_Challenges pada 3 Desember 2021.
- [12] Pratomo, Erfan. "GRAPH (Graf)." Diakses melalui <https://aerfanpratomo95.wordpress.com/2014/06/26/graph/> pada 3 Desember 2021.
- [13] Puspen Kemendagri. 2019. Mendagri: Kota Cerdas (Smart City) Jadi Solusi Permasalahan Perkotaan. Diakses melalui <https://www.kemendagri.go.id/berita/baca/20865/Mendagri-Kota-Cerdas-Smart-City-Jadi-Solusi-Permasalahan-Perkotaan> pada 3 Desember 2021.

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.

Surabaya, 13 Desember 2021



Maharani Ayu Putri Irawan 13520019