



Efektivitas Algoritma Kruskal dalam Mengoptimalkan Jalur Terpendek pada Jaringan Intranet

(The Effectiveness of the Kruskal's Algorithm in Optimizing the Shortest Path on An Intranet Network)

Qurrota A'yuni Ar Ruhimat^{a*}, Slamini^b, Alvira Malinda^{c*}

- a. Program Studi Informatika, Universitas Jember, Indonesia. Email: qurrotaaar@unej.ac.id
b. Program Studi Informatika, Universitas Jember, Indonesia. Email: slamin@unej.ac.id
c. Program Studi Informatika, Universitas Jember, Indonesia. Email: alviramalinda225@gmail.com

ABSTRACT

This research takes a case study at the Communication and Information Service, Bondowoso Regency, which is one of the media for conveying information and connecting interactive communication between the government and the community. In the process of conveying information to the public, they utilize information technology, the Intranet Network. The problem found was that there were obstacles in ineffective cable installation. This relates to non-optimality in determining the shortest path between two points in an intranet network, and how to determine the correct wiring position, so that the amount used is minimal but can still function optimally and be connected to all computers. To overcome the problems above, in this research the Kruskal Algorithm will be applied which is one of the network optimization methods in Graph Theory. Graph Theory is one of fields in Mathematics that studies the relationships between objects and how these objects interact with each other. Meanwhile, the Kruskal algorithm is an algorithm used to find the shortest path between two points in a graph. It is hoped that this research can optimize the amount of cabling used in designing intranet network topologies so that we can design optimal intranet routes with minimal costs.

Keywords: Kruskal's Algorithm; Optimization; Intranet Network; Shortest Path Problem

ABSTRAK

Penelitian ini mengambil studi kasus di Dinas Komunikasi dan Informatika Kabupaten bondowoso yang merupakan salah satu media penyampai informasi dan penghubung komunikasi interaktif antara pemerintah dengan masyarakat. Dalam proses penyampaian informasi pada masyarakat, mereka memanfaatkan teknologi informasi yaitu Jaringan Intranet. Permasalahan yang ditemukan adalah bahwa terdapat kendala dalam pemasangan kabel yang tidak efektif. Hal ini berkaitan dengan ketidakefektifan dalam menentukan jalur terpendek antara dua titik dalam suatu jaringan intranet, dan bagaimana menentukan posisi pengkabelan yang tepat, sehingga jumlah yang digunakan minimum namun tetap dapat berfungsi maksimal dan terhubung pada semua komputer. Untuk mengatasi permasalahan di atas, dalam penelitian ini akan diterapkan Algoritma Kruskal yang merupakan salah satu metode optimasi jaringan dalam Bidang Teori Graf. Teori graph merupakan sebuah teori matematika yang mengkaji tentang hubungan antar objek dan bagaimana objek-objek tersebut saling berinteraksi. Sementara itu algoritma kruskal adalah algoritma yang digunakan untuk menemukan jalur terpendek antara dua titik dalam graph. Diharapkan dengan adanya penelitian ini dapat mengoptimalkan jumlah pengkabelan yang digunakan

* Corresponding author
e-mail: qurrotaaar@unej.ac.id



dalam perancangan topologi jaringan intranet sehingga dapat merancang jalur intranet dengan lebih maksimal dengan biaya minimal.

Keywords: Algoritma Kruskal; Optimasi; Jaringan Intranet; Permasalahan Jalur Terpendek

DOI: <https://doi.org/10.35746/jsn.v2i3.546>

1. Pendahuluan

Jaringan komputer adalah faktor kunci dalam operasional suatu instansi. Keberhasilan dan kemampuan instansi dalam mengelola data internal, aktivitas pemasaran, dan layanan pelanggan sangat tergantung pada penerapan jaringan komputer yang sesuai. Perancangan jaringan yang kurang tepat dapat secara signifikan mempengaruhi produktivitas dan berpotensi merugikan secara finansial. Oleh karena itu, penting bagi sebuah instansi untuk merancang jaringan dengan baik guna menjamin efisiensi dan efektivitas aktivitas bisnis. (Fajrillah, dkk., 2018). Beberapa Instansi memiliki jaringan internet yang berfungsi untuk mendukung aliran data dan informasi yang berlangsung dalam Instansi, salah satu instansi yang memiliki jaringan internet adalah Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Kabupaten Bondowoso. DISKOMINFO (Dinas Komunikasi dan Informatika) adalah salah satu media penyampai informasi sekaligus penghubung komunikasi interaktif antara pemerintah dengan masyarakat dalam penyampaian informasi pada masyarakat DISKOMINFO memanfaatkan teknologi informasi salah satunya Jaringan Intranet. Intranet atau disebut sebagai LAN (*Local Area Network*) Intranet adalah LAN yang menggunakan standar komunikasi dan segala fasilitas Internet, sehingga diibaratkan berinternet dalam lingkungan lokal. Umumnya juga terkoneksi ke Internet sehingga memungkinkan pertukaran informasi dan data dengan jaringan Intranet lainnya (*Internetworking*) melalui *backbone Internet* (Arafat et al., 2022). Berdasarkan observasi yang dilakukan, ditemukan permasalahan yakni terdapat kendala dalam pemasangan kabel yang tidak efektif. Hal ini berkaitan dengan ketidakefektifan dalam menentukan jalur terpendek antara dua titik dalam suatu jaringan intranet, dan bagaimana menentukan posisi pengkabelan yang tepat, sehingga jumlah yang digunakan minimum namun tetap dapat berfungsi maksimal dan terhubung pada semua komputer (*Client*).

Untuk meminimumkan jumlah pengkabelan dalam masalah pengkabelan tersebut akan digunakan salah satu metode optimasi jaringan dalam Teori Graf, yakni Algoritma Kruskal. Teori graph merupakan sebuah teori matematika yang mengkaji tentang hubungan antar objek dan bagaimana objek-objek tersebut saling berinteraksi. Sementara itu algoritma kruskal adalah algoritma yang digunakan untuk menemukan jalur terpendek antara dua titik dalam suatu graf. Graf memiliki banyak manfaat dalam proses optimasi pembangunan infrastruktur, seperti rel kereta api, jalan raya dan desain jaringan komunikasi. Telah banyak penelitian terdahulu yang membahas implementasi Teori Graf untuk menyelesaikan permasalahan optimasi rute dan jaringan. Sebagai contoh, untuk membangun sebuah jalan raya yang menghubungkan beberapa kota, graf dapat digunakan untuk merancang rute terbaik dengan biaya minimal. Hal ini memungkinkan pengembangan infrastruktur yang lebih efektif dan efisien sehingga dapat memberikan manfaat yang lebih maksimal (Rizki, 2012). (Ruhimat et al., 2019) juga membahas berbagai macam topologi graf yang dapat diimplementasikan untuk meningkatkan optimasi jaringan. Penelitian lainnya (Debby, Nurhayati tahun 2022) juga melakukan pencarian rute terpendek dimana peneliti membuat aplikasi pemasangan distribusi listrik berbasis *website* menggunakan metode Algoritma Kruskal. Hasil penelitian menunjukkan dengan menggunakan algoritma Kruskal penggunaan kabel untuk jalur distribusi listrik menjadi lebih hemat 91 meter dibanding sebelum menggunakan algoritma Kruskal.

Dari penelitian-penelitian di atas dapat disimpulkan bahwa dalam menentukan jalur terpendek menggunakan Algoritma Kruskal tidak perlu menggunakan parameter yang banyak seperti pada algoritma lainnya. Algoritma kruskal menunjukkan bahwa metode ini dapat meminimalisir bobot pengkabelan atau jalur pada jaringan. Dalam penelitian ini dipilih Algoritma Kruskal untuk diterapkan pada pencarian jalur terpendek pada pemasangan kabel untuk menghubungkan perangkat satu dengan perangkat lainnya. Penelitian yang dilakukan hanya

sampai pada uji coba hasil perancangan jaringan intranet di DISKOMINFO Bondowoso. Batasan Jaringan yang diteliti adalah koneksi intranet di DISKOMINFO Bondowoso.

1.1. Teori Graf

Teori graf pertama kali diperkenalkan oleh Leonhard Euler, seorang pelopor dalam matematika dan fisika pada tahun 1736, ketika ia berhasil memecahkan permasalahan tujuh jembatan di Königsberg. Jembatan-jembatan ini menghubungkan dua pulau kecil, yaitu pulau Lomse dan Kneiphof (Wamiliana, 2022). Teori graf adalah cabang matematika yang membantu dalam pemecahan masalah dengan cara yang lebih sistematis dan jelas. Graf didefinisikan sebagai sepasang himpunan $G = (V, E)$, di mana V merupakan himpunan simpul (*node*) yang direpresentasikan sebagai titik, dan E adalah himpunan sisi (*edge*) yang menghubungkan pasangan simpul tersebut (Nugroho & Didit, 2008).

1.2. Minimum Spanning Tree (MST)

Minimum Spanning Tree dan Desain Jaringan (MST) adalah salah satu masalah yang muncul sebagai suatu bentuk terapan dari teori graf. *Minimum Spanning Tree* umumnya digunakan dalam desain jaringan (*Network*). Masalah dasarnya adalah: jika diberikan suatu graf $G = (V, E)$ dengan bobot setiap garis e_{ij} adalah c_{ij} , $c_{ij} \geq 0$, maka yang diinginkan adalah mengkonstruksikan atau mendapatkan suatu jaringan yang mempunyai bobot terkecil, dan ini disebut dengan *Minimum Spanning Tree* (MST) (Pettie, and Ramachandran, 2002). Misalkan diberikan suatu graf terhubung G . *Tree* T disebut *spanning tree* dari G jika T adalah subgraf dari G yang memuat semua titiknya (Deo, 1989). Misalkan $G = (V, E)$ merupakan graf tak berarah yang sisinya tidak memiliki orientasi, artinya pada G terdapat *Sirkuit*. G dapat diubah menjadi pohon $T = (V, E)$ dengan cara memutuskan sirkuit-sirkuit yang ada, yakni dengan memutuskan salah satu sisi pada sirkuit hingga tidak ada sirkuit pada G . Jika di G tidak ada lagi sirkuit maka pohon ini disebut dengan pohon merentang (*spanning tree*). Disebut merentang karena semua simpul pada pohon T sama dengan simpul pada graf G , dan sisi pada $T \subseteq$ sisi pada G dengan kata lain $V_1 = V$ dan $E_1 \subseteq E$ (Munir, 2001). Permasalahan umum *Minimum Spanning Tree* adalah menemukan kumpulan sisi graf yang menghubungkan semua titik dalam graf tersebut tanpa membentuk siklus atau sirkuit, dengan total bobot sisi-sisi tersebut haruslah minimal. Solusi yang diinginkan adalah memilih subset sisi yang memenuhi kriteria optimasi untuk mencapai jarak minimum. Dengan demikian, dalam konteks *Minimum Spanning Tree*, tujuan utama yang harus dicapai adalah (Wamiliana, 2022):

- Graf terhubung;
- Tidak memuat Sirkuit;
- Total bobot/jarak terkecil (minimum).

1.3. Algoritma Kruskal

Algoritma merupakan serangkaian langkah instruksi sistematis yang digunakan untuk menyelesaikan masalah. Algoritma Kruskal termasuk dalam kategori algoritma greedy yang digunakan untuk mencari *Minimum Spanning Tree* dalam graf berbobot yang terhubung (Marsudi, 2016). Joseph Kruskal adalah penemu pertama yang mendokumentasikan Algoritma Kruskal pada tahun 1956 (Putra, 2016). Konsep graf pohon sangat penting dalam teori graf, terutama dalam konteks aplikasi teori graf. Pohon (*tree*) memainkan peran krusial dalam analisis dan desain jaringan, sering kali menjadi tulang punggung (*backbone*) dari jaringan yang terhubung (Didi Haryono & Soraya, 2018).

Dalam praktiknya, Algoritma Kruskal dilakukan dengan mengurutkan semua sisi graf terlebih dahulu, kemudian mengaplikasikannya satu persatu untuk membentuk pohon merentang yang terdiri dari $n - 1$ sisi (dengan n adalah jumlah simpul pada graf). Algoritma Kruskal sering digunakan dalam permasalahan mencari rute terpendek karena telah terbukti efektif dalam menyelesaikan berbagai masalah, termasuk dalam optimasi penentuan panjang pipa di perumahan Maumere (Buol, 2019). Algoritma Kruskal adalah metode dalam teori graf yang diterapkan untuk mencari *Minimum Spanning Tree* (MST) dari graf berbobot dengan bobot pada setiap sisi. Algoritma ini mengurutkan sisi-sisi berdasarkan bobotnya dari yang terkecil

hingga yang terbesar. Kemudian, algoritma memilih sisi dengan bobot terkecil, memasukkannya ke dalam himpunan pohon T , dan terus memilih sisi dengan bobot minimum berikutnya untuk dimasukkan ke T , dengan syarat tidak membentuk siklus dalam T .

1.4. Jaringan Intranet

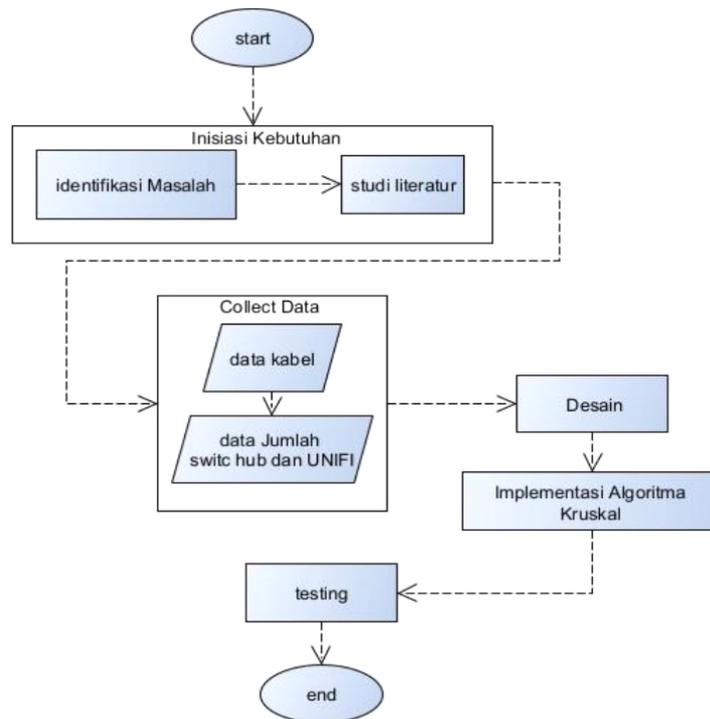
Intranet adalah jaringan internet tertutup yang memiliki cakupan terbatas dan menggunakan protokol internet TCP/IP untuk mengirim informasi rahasia serta memfasilitasi komunikasi dalam lingkup internal. Biasanya dimiliki oleh perusahaan atau instansi tertentu yang tidak terbuka untuk akses dari pihak luar secara bebas. Untuk membangun intranet, suatu instansi memerlukan komponen-komponen seperti server, hub, switch, komputer klien, dan berbagai protokol internet seperti HTTP, FTP, POP3, SMTP, dan lainnya, baik dalam bentuk perangkat lunak (*software*) maupun perangkat keras (*hardware*).

Intranet telah meraih banyak keuntungan berkat suksesnya *World Wide Web* yang memungkinkan penggunaan luas oleh masyarakat internet. Akses informasi menjadi lebih cepat, lebih ekonomis, dan lebih efisien. Penggunaan Intranet memudahkan integrasi grafik, audio, dan video (*hypermedia*) dengan lancar, melalui pembuatan situs web. Seiring dengan meningkatnya penggunaan internet secara umum, penggunaan Intranet pun semakin menjadi lebih mudah. Pentingnya Intranet dalam konteks organisasi bisnis terlihat dalam penyampaian informasi yang efektif. Intranet dianggap sebagai media informasi yang efisien dibandingkan dengan media lainnya. Menurut (Tung, 1997), Kebutuhan akan Intranet didorong oleh tekanan teknologi, termasuk sebagai alat bantu untuk mempercepat pengembangan produk dan pertumbuhan industri. Organisasi bisnis semakin menjadi *Knowledge Enterprise* yang mengandalkan informasi.

Selain itu, Intranet juga meningkatkan respons terhadap masukan dan kebutuhan pelanggan, yang merupakan layanan yang lebih mendalam dan responsif. Secara teknologi informasi, Intranet dapat mengurangi biaya kolaborasi informasi, alur kerja, dan konektivitas perusahaan, menghasilkan penghematan signifikan dari segi cetak, kertas, perangkat lunak, distribusi, pos, dan proses pesanan. Dengan kompatibilitas dan keterhubungannya dengan Internet, Intranet menjanjikan teknologi informasi yang terus berkembang, meningkatkan fleksibilitas dan kapabilitas secara berkelanjutan.

2. Metode

Jenis penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian terapan (*applied research*). Lokasi pengambilan data bertempat di Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Kabupaten Bondowoso. Tahapan penelitian mengacu pada tahapan Algoritma Kruskal. Alur tahapan penelitian digambarkan sebagai berikut:



Gambar 1. Alur Tahapan Penelitian

2.1. Inisiasi Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan penggalian data dengan melakukan wawancara pada pihak terkait dan observasi dengan melihat langsung Sistem kerja Jaringan Intranet pada DISKOMINFO Bondowoso, dengan memperhatikan pula komponen-komponen pendukung lain, baik berupa *Hardware* maupun *Software* yang mendukung kinerja Sistem Jaringan agar dapat berjalan dengan baik dan lancar. Dari tahapan tersebut kemudian dilakukan studi literatur untuk mencari solusi yang tepat, yakni dengan menggunakan Algoritma Kruskal untuk mengatasi permasalahan yang ditemukan.

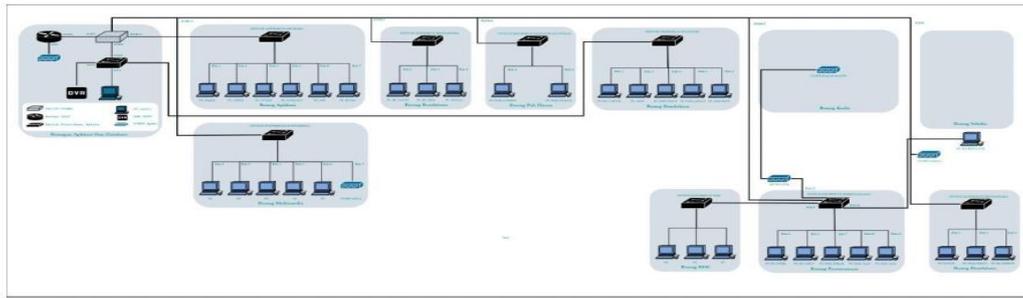
2.2. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini dilakukan pendataan terhadap komponen yang berhubungan dengan topologi jaringan intranet di Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Kabupaten Bondowoso, antara lain:

- Data Kabel. Kabel yang digunakan adalah kabel UTP cat 5e
- Data Jumlah *Switch*, *Router*, dan *Unifi*. Desain topologi Jaringan Intranet yang dibangun menggunakan 10 *Switch* (D-Link Dgs-1016c 16 port gigabit), 1 *Router* (rb2011) dan 4 *ap (unifi ac)*

2.3. Desain

Pada tahapan ini, dilakukan pendesainan terhadap denah asli topologi jaringan intranet Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Bondowoso, sebagai berikut:



Gambar 2. Topologi awal Jaringan Intranet DISKOMINFO sebelum pelabelan

2.4. Implementasi Algoritma Kruskal

Langkah-langkah implementasi algoritma kruskal sebagai berikut:

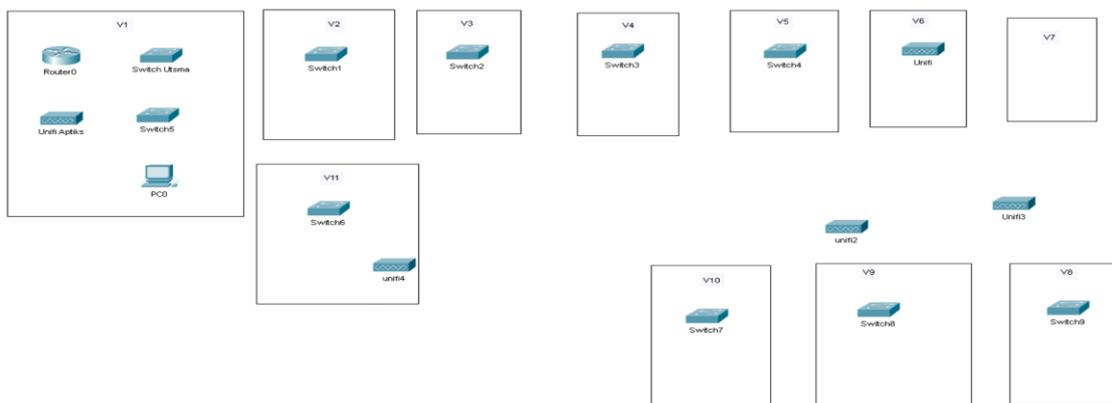
- Menentukan desain awal topologi Jaringan Intranet
- Menentukan *node* pada label setiap node berdasarkan desain yang sudah ditentukan.
- Mengukur jarak antar *node*, yakni dengan cara: mengatur jarak awal *node*; menetapkan simpul awal sebagai simpul aktif, menghitung jarak semua *node* yang bertetangga dengan *node* menjumlahkannya dengan panjang *edge*

2.5. Testing

Pengujian (*Testing*) ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana hasil pengoptimalan jaringan setelah diterapkan metode Algoritma Kruskal. Pengujian sistem dilakukan dengan menggunakan Cisco Packet Tracer. Melalui pengujian ini akan dilihat seberapa efektif biaya setelah dilakukan minimalisasi bobot pengkabelan menggunakan Algoritma Kruskal.

3. Hasil dan Pembahasan

Setelah melakukan inisiasi kebutuhan, menghimpun data terkait yang dibutuhkan, serta mendesain denah asli topologi sebelum dilakukan implementasi Algoritma kruskal, maka langkah berikutnya adalah melabeli setiap ruangan sebagai node (V_1, V_2, \dots, V_n).



Gambar 3. Topologi Jaringan Intranet DISKOMINFO setelah pelabelan

Keterangan:

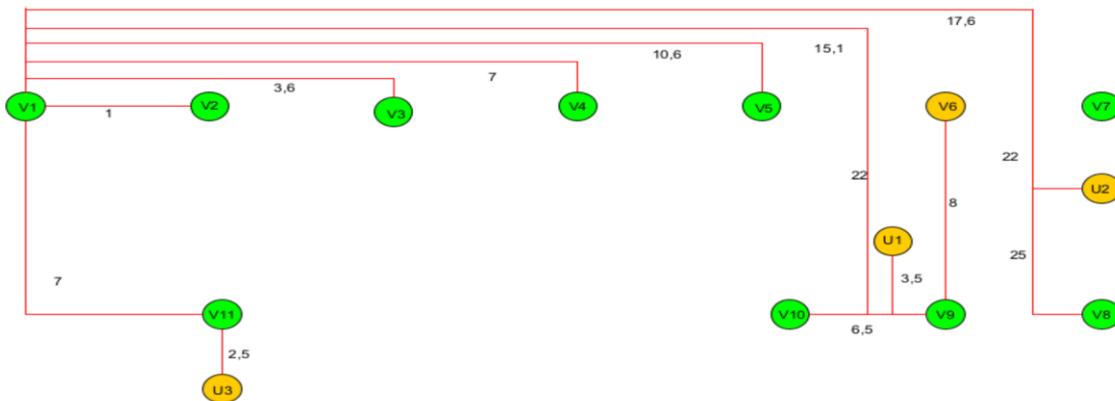
V_1 = Ruang aplikasi dan Database
 V_2 = Ruang Aplikasi
 V_3 = Ruang Bendahara
 V_4 = Ruang pak hasan
 V_5 = Ruang Bendahara

V_7 = Ruang sekdin
 V_8 = Ruang Bendahara
 V_9 = Ruang perencanaan
 V_{10} = Ruang KIM
 V_{11} = Ruang Multimedia

V_6 = Ruang kadis

V_{12} = ap Unif

Dengan menambahkan bobot sebagai jarak antar node, diperoleh:



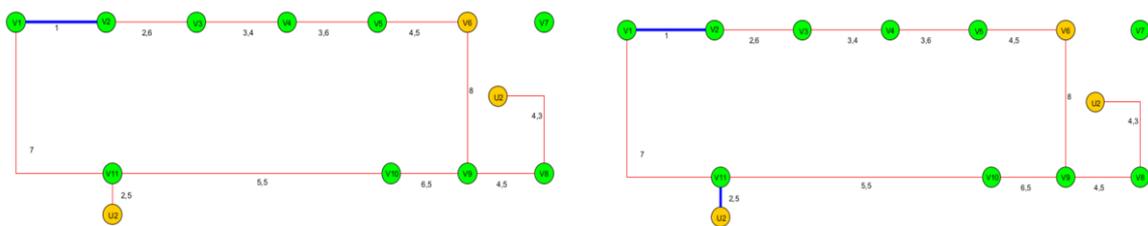
Gambar 4. Topologi jaringan intranet sebelum menggunakan Algoritma Kruskal

Dengan mengasumsikan jarak antar *node* sebagai bobot sisi graf diperoleh jumlah akumulasi bobot sisi graf antar *node* pada gambar di atas (sebelum menggunakan Algoritma Kruskal) adalah 118,7 meter. Selanjutnya, dilakukan perhitungan perkiraan biaya pada topologi jaringan Intranet yang ada tersebut, sebagai berikut:

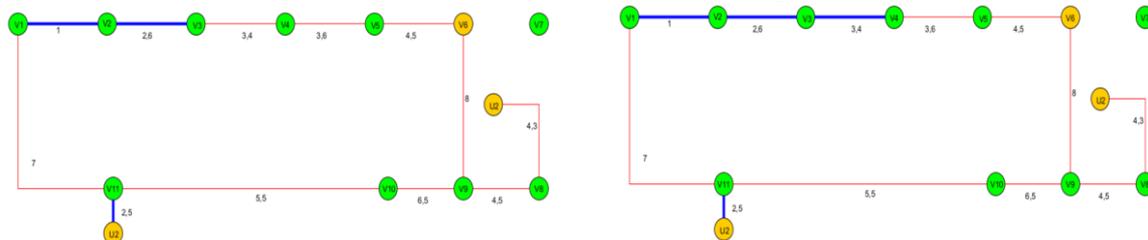
Tabel 1. Biaya sebelum menggunakan Algoritma Kruskal

Nama	Type	Harga	Jumlah	Total
Switch	D-link Dsg 1016c 16 port GB	Rp 785.000	10	Rp 7.850.000
Router	Rb2011	Rp 1.950.000	1	Rp 1.950.000
Access point	Unifi Ac Lr	Rp 2.200.000	4	Rp 8.800.000
Kabel UTP 5e	Cat 5e	Rp 4.000	118,7	Rp 474.800
JUMLAH				Rp 19.074.800

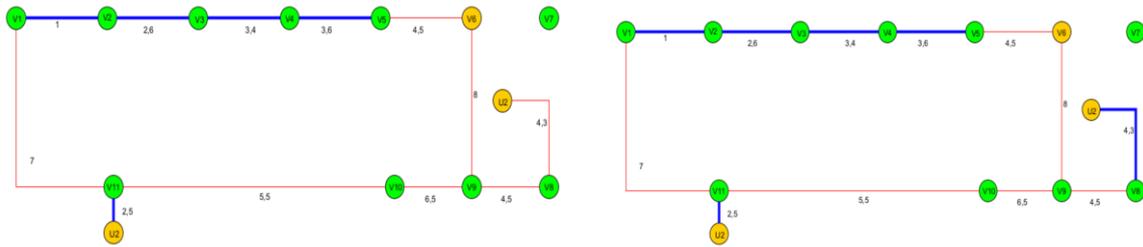
Tahapan implementasi Algoritma Kruskal ditunjukkan pada rangkaian gambar berikut



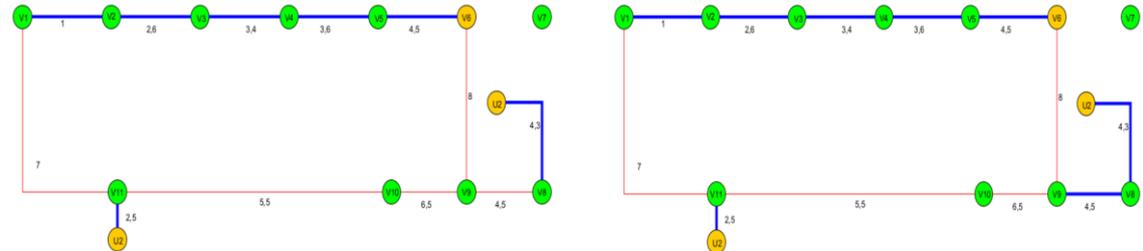
Gambar 5. Langkah 1 dan 2 pada Implementasi Algoritma Kruskal



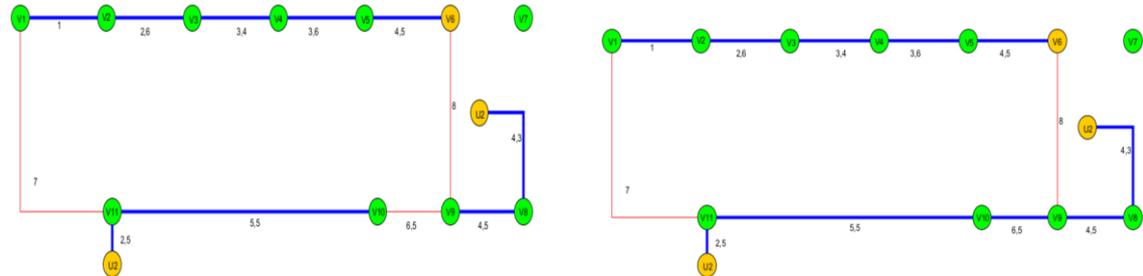
Gambar 6. Langkah 3 dan 4 pada Implementasi Algoritma Kruskal



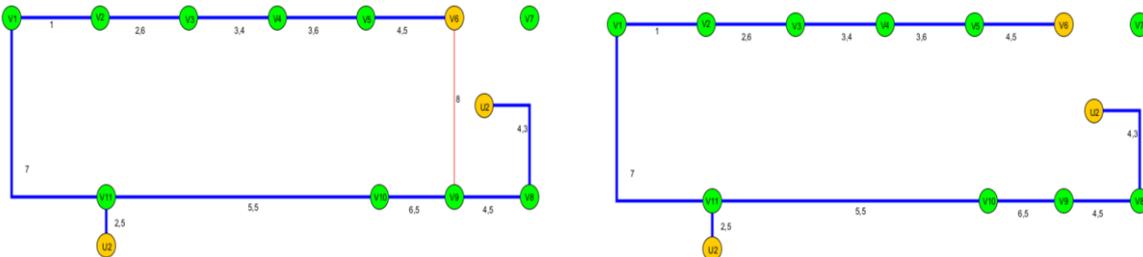
Gambar 7. Langkah 5 dan 6 pada Implementasi Algoritma Kruskal



Gambar 8. Langkah 7 dan 8 pada Implementasi Algoritma Kruskal



Gambar 9. Langkah 9 dan 10 pada Implementasi Algoritma Kruskal



Gambar 10. Langkah 11 dan 12 pada Implementasi Algoritma Kruskal

Gambar terakhir dari rangkaian gambar di atas merupakan hasil implementasi Algoritma Kruskal. Selanjutnya dilakukan perhitungan kembali terhadap jarak antar ruangan (bobot sisi graf) setelah dilakukan implementasi Algoritma Kruskal, sebagai berikut:

Tabel 2. Bobot setelah menggunakan Algoritma Kruskal

Sisi	Bobot (meter)
$V_1 - V_2$	1
$V_{11} - V_3$	2,5
$V_2 - V_3$	2,6
$V_3 - V_4$	3,4
$V_4 - V_5$	3,6
$V_8 - V_2$	4,3
$V_5 - V_6$	4,5
$V_9 - V_8$	4,5
$V_{11} - V_{10}$	5,5
$V_{10} - V_9$	6,5
$V_1 - V_{11}$	7

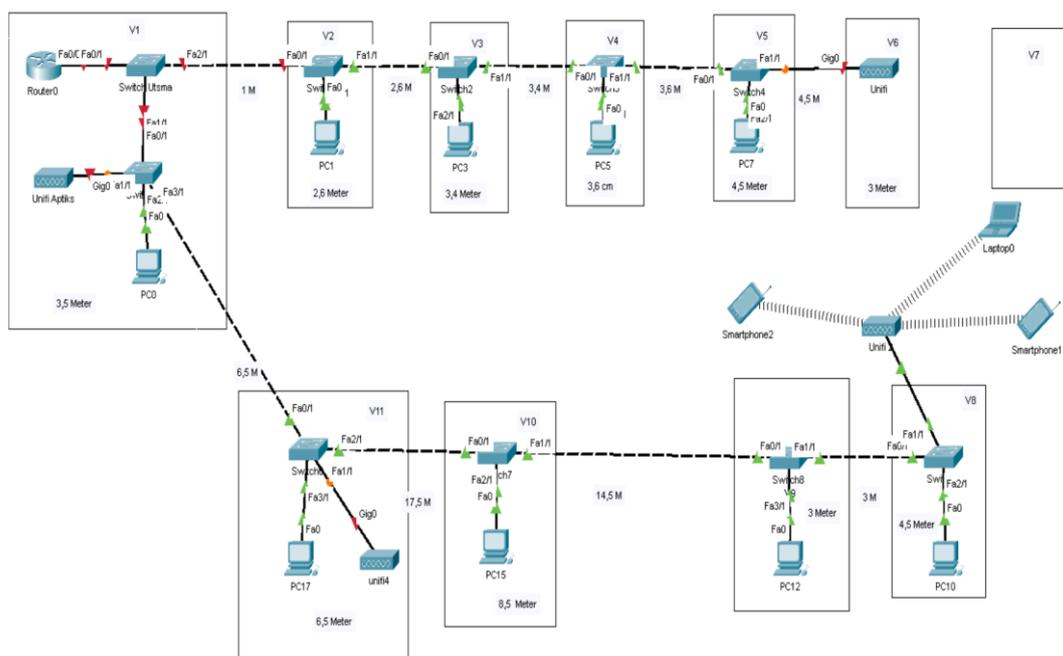
Total	45,4
-------	------

Berdasarkan hasil penelitian maka dapat disimpulkan untuk perkiraan biaya pada topologi Jaringan Intranet di DISKOMINFO setelah menggunakan algoritma kruskal adalah:

Tabel 3. Biaya sesudah menggunakan Algoritma Kruskal

Nama	Type	Harga	Jumlah	Total
Switch	D-link Dsg 1016c 16 port GB	Rp 785.000	10	Rp 7.850.000
Router	Rb2011	Rp 1.950.000	1	Rp 1.950.000
Access point	Unifi Ac Lr	Rp 2.200.000	3	Rp 6.600.000
Kabel UTP 5e	Cat 5e	Rp 4.000	45,4	Rp 181.600
JUMLAH				Rp 16.581.600

Selanjutnya, dilakukan testing menggunakan *Cisco Packet Tracer*, untuk mengetahui hasil pengoptimalan topologi jaringan setelah diterapkan Algoritma Kruskal.



Gambar 11. Testing jaringan intranet menggunakan *Cisco Packet Tracer*

Berdasarkan hasil *testing* menggunakan *cisco* setelah diterapkan Algoritma Kruskal diatas dapat disimpulkan bahwa Algoritma Kruskal dapat meningkatkan efektifitas penggunaan kabel pada perancangan topologi jaringan intranet DISKOMINFO Bondowoso. Selain itu, jaringan intranet yang menerapkan algoritma kruskal tidak akan mempengaruhi kecepatan internet, karena kabel LAN memiliki panjang kabel maksimal 100 meter. Namun ketika panjang kabel melebihi 100 meter akan berisiko menurunkan kekuatan sinyal. Dalam hal ini penerapan Algoritma Kruskal akan mempengaruhi efektifitas pada biaya dan bobot pengkabelan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat disimpulkan panjang kabel yang dibutuhkan untuk membangun topologi jaringan internet setelah dilakukan implementasi Algoritma Kruskal jauh lebih minimum dengan selisih sebanyak 73,3 meter, sehingga dapat disimpulkan bahwa Algoritma Kruskal dapat meminimalisir pengkabelan pada jaringan. Selain itu, dari segi biaya, topologi jaringan intranet yang dibangun dengan mengimplementasikan Algoritma Kruskal juga terbukti lebih efektif menekan biaya dengan selisih sebanyak Rp 2.493.200 sehingga dapat disimpulkan bahwa penerapan Algoritma Kruskal dapat mengefisienkan biaya pada Jaringan Intranet.

Ucapan Terima Kasih

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Dinas Komunikasi dan Informatika (DISKOMINFO) Kabupaten Bondowoso yang telah mendukung dan membantu dalam memberikan data maupun informasi untuk tujuan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Arafat, Y., Atmojo, T. B., & Faisal, F. (2022). Rancang Bangun Jaringan Internet Dan Intranet Untuk Mendukung Layanan Administrasi Dan Informasi Masyarakat. *Jurnal ELIT*, 3(1), 48-57. <https://doi.org/10.31573/elit.v3i1.408>
- Buol, A. A. S. O., Rumba, M. F. R., & Wara, F. A. W. (2019). Penentuan Panjang Optimal Pipa Air Optimal Di Perumnas Maumere Menggunakan Algoritma Kruskal. *Increate-Inovasi dan Kreasi dalam Teknologi Informasi*, 6(1). DOI: 10.11591/ijeecs.v16.i1.pp1-8
- Coastera, F. F. (2016). Penerapan Openstreetmap untuk Mencari Lokasi ATM Terdekat dengan Algoritma Kruskal Berbasis Smartphone Android (Studi Kasus: Lokasi ATM di Kota Bengkulu). *Rekursif: Jurnal Informatika*, 4(2). <https://doi.org/10.33369/rekursif.v4i2.820>
- Deo, N. 1989. *Graph Theory with Applications to Engineering and Computer Science*. Prentice Hall, Inc. Englewood Cliffs, New Jersey.
- Didiharyono, D., & Soraya, S. (2018). Penerapan Algoritma Greedy Dalam Menentukan Minimum Spanning Trees Pada Optimisasi Jaringan Listrik Jala. *Jurnal Varian*, 1(2), 1-10. <https://doi.org/10.30812/varian.v1i2.66>
- Dwiyanto, D. K., & Nurhayati, S. (2014). Implementasi Algoritma Kruskal Untuk Distribusi Listrik (Studi Kasus PT. PLN Cabang UPJ. Jatibarang). *UNIKOM Repos*.
- Fajrillah, F., Triaga, F., & Kaban, R. (2018). Desain Jaringan Komputer pada Perusahaan yang Sering Berubah Letak Meja Kerja atau Berpindah-Pindah Lokasi Kantor dengan Wifi Direct. *Jurnal Ilmiah Informatika*, 3(1), 176-182. <https://doi.org/10.5281/jimi.v3i1.59>
- Marsudi. 2016. *Teori Graf*. Malang: Universitas Brawijaya Press.
- Munir, R. 2001. *Matematika Diskrit*. Informatika, Bandung. Informatika Bandung.
- Nugroho, Dan D. Budi. 2008. *Pengantar Teori Graf*. Universitas Kristen Satya Wacana
- Pettie, S., & Ramachandran, V. (2002). An Optimal Minimum Spanning Tree Algorithm. *Journal of the ACM (JACM)*, 49(1), 16-34. <https://doi.org/10.1145/505241.505243>
- Rizki, S. (2012). Penerapan Teori Graf untuk Menyelesaikan Masalah Minimum Spanning Tree (MST) Menggunakan Algoritma Kruskal. *AKSIOMA: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika*, 1(2). <http://dx.doi.org/10.24127/ajpm.v1i2.68>
- Ruhimat, Q. A. A., Fajariyanto, G. W., & Firmansyah, D. M. (2019, April). Optimal computer network based on graph topology model. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 1211, No. 1, p. 012007). IOP Publishing. DOI 10.1088/1742-6596/1211/1/012007
- Tung, Khue You. 1997. *Teknologi Jaringan Intranet*. Yogyakarta: ANDI
- Wamiliana, W. (2022). *Minimum Spanning Tree dan Desain Jaringan*. Bandar Lampung: Pusaka media Anggota IKAPI.