

**PERBANDINGAN ALGORITMA PRIM, KRUSKAL, DIJKSTRA, DAN FLOYD-WARSHALL UNTUK MEMECAHKAN MASALAH MINIMUM SPANNING TRESS: PERANCANGAN PEMASANGAN PIPA SALURAN AIR BERSIH*****Comparison Of Prim, Kruskal, Dijkstra, And Floyd-Warshall Algorithms To Solve Minimum Spanning Tree Problems: Design Of Clean Water Pipeline Installation*****<sup>1</sup>Ni Putu Diah Untari Ningsih dan <sup>2</sup>Muhammad Noor Fitriyanto**<sup>1</sup>STKIP Agama Hindu Amlapura, Bali, Indonesia.<sup>2</sup>Universitas Muhammadiyah Palangkaraya, Kalimantan Tengah, Indonesia.**ARTIKEL INFO**Diterima  
Agustus 2021Dipublikasi  
September 2021**ABSTRAK**

Kehidupan sehari-hari terdapat permasalahan mengenai optimasi yang dapat diselesaikan menggunakan pohon rentang minimum, atau dikenal dengan istilah Minimum Spanning Tree (MST), misalnya masalah mencari biaya termurah dalam perancangan pemasangan pipa saluran air bersih. Ilmu perancangan pipa termasuk dalam ilmu plumbing yang merupakan bagian dari ilmu teknik sipil. Peneliti tertarik untuk menggunakan algoritma Prim, Kruskal, Dijkstra, dan Floyd-Warshall untuk menyelesaikan masalah pohon merentang minimum pada pemasangan pipa saluran air dengan meneliti biaya minimumnya.

Hasil penelitian pohon rentang minimum dari jalur distribusi pipa saluran air bersih di Perumahan "X" dengan menggunakan algoritma Prim, Kruskal, dan Floyd-Warshall diperoleh total biaya minimum yang sama yaitu sebesar Rp. 5.600.000,-. Sedangkan algoritma Dijkstra memperoleh total biaya sebesar Rp. 7.200.000,-. Ini berarti bila ingin mendapatkan biaya yang paling murah dalam merancang instalasi pipa untuk air bersih, seorang estimator bisa menggunakan algoritma prim, kruskal, ataupun Floyd-Warshall.

Kata Kunci: Plumbing, Algoritma Prim, Kruskal, Dijkstra, Floyd-Warshall

**ABSTRACT**

Everyday life there are problems regarding optimization that can be solved using a minimum span tree, or known as the Minimum Spanning Tree (MST), for example the problem of finding the lowest cost in the design of a clean water pipe installation. The science of pipe design is included in the science of plumbing which is part of civil engineering. Researchers are interested in using Prim, Kruskal, Dijkstra, and Floyd-Warshall algorithms to solve the problem of minimum spanning trees in the installation of water pipes by examining the minimum cost.

The results of the study of the minimum span trees of the distribution pipeline in the "X" Housing using Prim, Kruskal, and Floyd-Warshall algorithms obtained the same minimum total cost of Rp. 5,600,000. While the Dijkstra algorithm obtains a total cost of Rp. 7,200,000. This means that if you want to get the lowest cost in designing a pipe installation for clean water, an estimator can use the prim, crucial or Floyd-Warshall algorithm.

Keywords: Plumbing, Prim Algorithm, Kruskal, Dijkstra, Floyd-Warshall

\*e-mail :

<sup>1</sup>niputudiahun@gmail.com<sup>2</sup>riyan.umpalangkaraya@gmail.com

## PENDAHULUAN

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi sampai saat ini terus mengalami peningkatan yang signifikan, salah satunya adalah Ilmu Teknik Sipil khususnya Ilmu Plumbing, yaitu ilmu yang membahas tentang teknologi pemipaan beserta peralatannya untuk menyediakan air bersih, baik dalam sisi kualitas maupun kuantitas (kontinuitas) yang memenuhi kriteria tertentu dan juga meliputi sistem pembuangan air bekas atau kotor dari suatu tempat tertentu untuk mencapai sebuah kondisi yang higienis dan nyaman. Metode instalasi plumbing adalah suatu hal yang wajib seorang kontraktor ketahui, karena plumbing merupakan salah satu unsur terpenting dalam sebuah bangunan. Para peneliti terus melakukan penelitian untuk selalu memunculkan penemuan-penemuan baru yang dapat memberikan sumbangan ilmu pengetahuannya sebagai penunjang berkembangnya ilmu-ilmu lain. Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Swaditya Rizki dengan judul penelitian Penerapan Teori Graf untuk Menyelesaikan Masalah Minimum Spanning Tree (MST) Menggunakan Algoritma Kruskal, di dalam penelitian tersebut peneliti memberikan suatu solusi untuk mendeskripsikan permasalahan transportasi dan desain jaringan komunikasi ke dalam suatu graf lengkap dengan menggunakan Algoritma Kruskal [1].

Metode algoritma yang dapat digunakan dalam pemecahan masalah yang berkaitan dengan bidang teknik sipil tidak hanya menggunakan kruskal, tetapi algoritma prim, djikstra, atau algoritma yang lain. Tetapi dalam penggunaannya di lapangan sedikit, perencana tidak tertarik menggunakan algoritma tersebut. Padahal dalam menentukan suatu perencanaan pelaksanaan pembuatan suatu proyek, utamanya pada perencanaan pemasangan pipa saluran air atau proyek lainnya dalam bidang teknik sipil diperlukan rencana yang baik, agar dalam

menentukan biaya operasional atau estimasi biaya perencanaan proyek tersebut tidak hanya ditentukan begitu saja, namun dapat ditentukan dengan baik. Hal ini dimaksudkan karena estimasi biaya suatu proyek merupakan hal yang penting, karena bila terjadi masalah dalam estimasi biaya maka dapat memberikan efek negatif pada seluruh proses konstruksi dan semua pihak yang terlibat dalam proyek tersebut. Sehingga perlu menggunakan studi yang lebih mendalam lagi tentang penggunaan algoritma tersebut.

Maka dalam hal ini peneliti tertarik untuk menggunakan algoritma Prim, Kruskal, Dijkstra, dan Floyd-Warshall untuk menyelesaikan masalah pohon merentang minimum pada pemasangan pipa saluran air dengan meneliti biaya minimumnya. Sehingga peneliti bisa mengetahui algoritma mana dari ke-empat algoritma tersebut yang menghasilkan biaya terendah, sebagai tujuan akhir dari penelitian ini adalah penerapannya di lapangan dari salah satu algoritma yang menghasilkan biaya minimum. Sehingga pemasangan pipa saluran air dilakukan secara sistematis dan cermat agar kebutuhan penghuni bangunan atas air dapat terpenuhi dengan baik secara kontinu. Berikut ini penjelasan dari beberapa jenis algoritma yang akan digunakan, yaitu:

### a. Algoritma Prim

Algoritma Prim adalah suatu algoritma di dalam teori graf yang bertujuan menemukan Minimum Spanning Tree untuk menghubungkan graf berbobot. Ini berarti algoritma ini menemukan subset dari sebuah tepi yang membentuk sebuah Tree yang meliputi setiap titik nya. Dimana total beban dari setiap tepi di Tree diminimalkan. Jika Graf tidak terhubung, maka ini hanya akan menemukan sebuah Minimum Spanning Tree menjadi satu jalur untuk komponen yang terhubung. Algoritma ini ditemukan pada tahun 1930 oleh seorang ahli matematika Vojtech Jarnik, dan kemudian dipublikasikan

oleh seorang computer scientist Robert C. Prim pada tahun 1957 dan ditemukan kembali oleh Dijkstra pada tahun 1959. Oleh karena itu terkadang Algoritma ini juga disebut DJP algorithm atau algoritma Jarnik [2].

Langkah-langkah algoritma Prim:

- (1) Ambil sisi dari graf yang berbobot minimum, kemudian masukkan ke dalam pohon.
- (2) Pilihlah sisi yang mempunyai bobot minimum dan bersisian dengan pohon. Namun sisi tersebut tidak membentuk sirkuit di dalam pohon. Masukkan sisi tersebut ke dalam pohon.
- (3) Ulangi langkah 2 sampai pohon merentang minimum terbentuk, pohon merentang minimum terbentuk setelah mengalami penggulungan sebanyak  $n-2$  kali. ( $n$  adalah jumlah simpul graf).

b. Algoritma Kruskal

Algoritma Kruskal pertama kali dipopulaerkan oleh Joseph Kruskal pada tahun 1956. Algoritma Kruskal adalah sebuah algoritma dalam teori graf yang mencari sebuah Minimum Spanning Tree untuk sebuah graf berbobot yang terhubung. Ini berarti mencari subset dari sisi yang membentuk sebuah Tree yang menampung setiap vertex, dimana total bobot dari semua sisi dalam Tree adalah minimum. Jika graf tidak terhubung, kemudian ini mencari sebuah Minimum Spanning Forest (sebuah Minimum Spanning Tree untuk tiap komponen yang terhubung). Algoritma Kruskal adalah suatu contoh dari Algoritma Greedy [2].

Langkah-langkah algoritma Kruskal:

- (1) Lakukan pengurutan terhadap setiap sisi di graf mulai dari sisi dari bobot terkecil hingga bobot terbesar.
- (2) Pilih sisi yang mempunyai bobot minimum yang tidak membentuk sirkuit pada pohon, kemudian tambahkan sisi tersebut ke dalam pohon.
- (3) Ulangi langkah kedua sampai pohon minimum merentang terbentuk, pohon

merentang minimum terbentuk setelah mengalami penggulungan sebanyak  $n-1$  kali. ( $n$  adalah jumlah simpul graf).

c. Algoritma Dijkstra

Algoritma ini dinamakan sesuai dengan nama penemunya, yaitu seorang ilmuwan komputer berkebangsaan Belanda yang bernama Edsger Dijkstra. Algoritma Dijkstra merupakan salah satu algoritma yang efektif dalam memberikan lintasan terpendek dari suatu lokasi ke lokasi yang lain. Prinsip dari algoritma Dijkstra adalah dengan pencarian dua lintasan yang paling kecil. Algoritma Dijkstra memiliki iterasi untuk mencari titik yang jaraknya dari titik awal adalah paling pendek. Pada setiap iterasi, jarak titik yang diketahui (dari titik awal) diperbarui bila ternyata didapat titik yang baru yang memberikan jarak terpendek. Syarat algoritma ini adalah bobot sisinya yang harus non-negatif [3].

Pada algoritma dijkstra pemecahan masalah diperuntukkan untuk sebuah Graph  $G=(V,E)$  yang berbobot non negatif. Diasumsikan  $w(i,j) \geq 0$  untuk masing-masing edge  $(i,j) \in E$ .

Langkah-langkah algoritma Dijkstra:

1) Inisialisasi  $s$  (sumber)

- (a) Pilih salah satu vertex sebagai sumber
- (b) Maka  $d(s) = 0$
- (c) Beri label 0 pada vertex  $s$ .

2) Untuk masing-masing edge  $e \in E$

Jika  $i$  adalah endpoint dari  $e$  yang sudah diberi label dan  $j$  adalah endpoint yang belum diberi label maka  $p(i,j)$  adalah  $= d(i) + w(i,j)$

3)  $e$  adalah edge untuk  $T$  yang mempunyai nilai  $P$  terkecil.

- (a) Jika  $i$  adalah endpoint dari  $e$  yang sudah diberi label dan  $j$  adalah endpoint yang belum diberi label maka tambahkan  $e$  dan vertex  $j$  ke tree  $T$

- (b)  $d(j) = P(i,j)$
- (c) Beri label  $d(j)$  pada vertex  $j$

4) Kembali ke no 2

d. Floyd-Warshall

Algoritma yang ditemukan oleh Warshall dimana algoritma ini menerapkan pemrograman dinamis yang lebih menjamin keberhasilan penemuan solusi optimum untuk kasus penentuan lintasanterpendek. Algoritmta Floyd-Warshall memiliki input graf yang beberapa titik (V) dan sisi (E). Sisi boleh berbobot negatif, namun tidak diperbolehkan memiliki siklus negatif. Algoritma ini menghitung bobot terkecil dari semua jalur dan melakukan sekaligus untuk semua titik. Metode ini melakukan pemecahan masalah dengan memandang solusi yang akan diperoleh sebagai suatu keputusan yang saling terkait. Maksudnya solusi-solusi dibentuk dari solusi yang berasal dari tahap sebelumnya dan ada kemungkinan solusi lebih dari satu [4].

Dalam usaha untuk mencari lintasan terpendek, algoritma ini memulai iterasi dari titik awalnya kemudian memperpanjang lintasan dengan mengevaluasi titik demi titik hingga mencapai titik tujuan dengan jumlah bobot se-minimum mungkin. Misalkan  $W_0$  adalah matriks hubung graf berlabel mula-mula.  $W^*$  adalah matriks hubung minimal dengan  $w_{ij}^*$  = lintasan terpendek dari titik  $v_i$  ke  $v_j$ . Langkah-langkah algoritma Floyd-Warshall untuk mencari lintasan terpendek sebagai berikut:

- 1)  $W = W_0$
- 2) Untuk  $k = 1$  hingga  $n$ , lakukan:  
 Untuk  $i = 1$  hingga  $n$ , lakukan:  
 Untuk  $j = 1$  hingga  $n$ , lakukan:  
 Jika  $W(i, j) > W(i, k) + W(k, j)$  maka tukar  $W(i, j)$  dengan  $W(i, k) + W(k, j)$
- 3)  $W^* = W$

**METODOLOGI PENELITIAN**

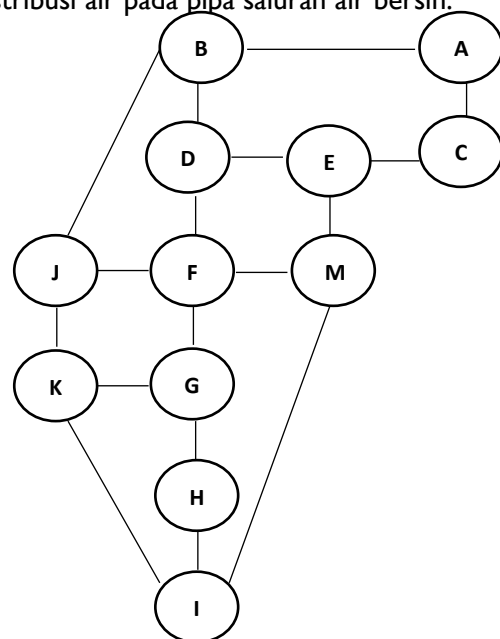
Metode penelitian yang akan digunakan adalah kajian pustaka yakni dengan mengkaji literatur-literatur yang berkaitan dengan teori graf terkhusus pada masalah yang berhubungan pohon rentang minimum dan

Algoritma Prim, Kruskal, Dijkstra dan Floyd-Warshall

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Persoalan pohon merentang minimum yaitu menentukan sisi-sisi yang menghubungkan simpul-simpul yang ada pada sumber sehingga diperoleh panjang sisi total yang minimum. Maka persoalan pohon merentang minimum pertama pada pemasangan pipa air bersih adalah menentukan pola pemasangan pipa air dimana, pipa harus dihubungkan dari sumber air utama (pipa induk) ke pengguna. Namun proses tersebut harus melalui sumber-sumber air.

Dimulai dari sumber air utama (pipa induk) yang dihubungkan ke sumber air, kemudian dari sumbe air tersebut dihubungkan ke rumah-rumah warga atau perumahan, dengan jarak yang minimum dengan menggunakan algoritma Prim, Kruskal, Dijkstra sehingga menghasilkan biaya pemasangan yang minimum. Dari kasus perancangan pipa saluran air yang terjadi di sebuah Perumahan “X” maka penulis dapat menentukan biaya minimum pada pemasangan pipa saluran air di Perumahan “X” dengan menggunakan algoritma Prim, Kruskal, dan Dijkstra. Berikut ini merupakan gambar dari distribusi air pada pipa saluran air bersih:



Gambar 1. Perancangan Instalasi Pipa Air Bersih

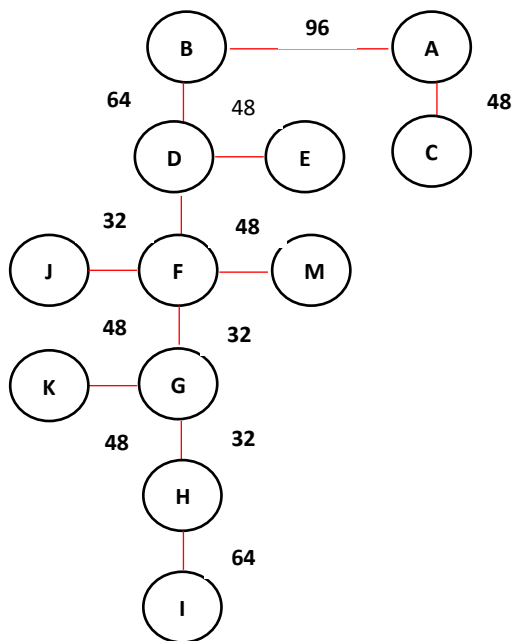
Untuk keterangan titik, jarak, biaya maupun bobot dapat dilihat dari tabel berikut ini.

**Tabel 1. Nilai Masing-Masing Titik**

No.	Ket	Jarak (m)	Biaya/m	Bobot
1	A – C	3	Rp. 160.000.,	48
2	A – B	6	Rp. 160.000.,	96
3	B – D	4	Rp. 160.000.,	64
4	B – J	8	Rp. 160.000.,	128
5	C – E	4	Rp. 320.000.,	128
6	D – E	3	Rp. 160.000.,	48
7	D – F	2	Rp. 160.000.,	32
8	F – J	3	Rp. 160.000.,	48
9	F – M	3	Rp. 160.000.,	48
10	E – M	2	Rp. 325.000.,	65
11	F – G	2	Rp. 160.000.,	32
12	J – K	2	Rp. 325.000.,	65
13	G – K	3	Rp. 160.000.,	48
14	G – H	2	Rp. 160.000.,	32
15	K – I	2	Rp. 325.000.,	65
16	H – I	4	Rp. 160.000.,	64
17	M – I	9	Rp. 160.000.,	144

**1. Algoritma Prim**

Berdasarkan gambar 1 dan tabel 1 diatas maka penyelesaian kasus Minimum Spanning Tree menggunakan algoritma prim, dapat dilihat dari gambar berikut ini.

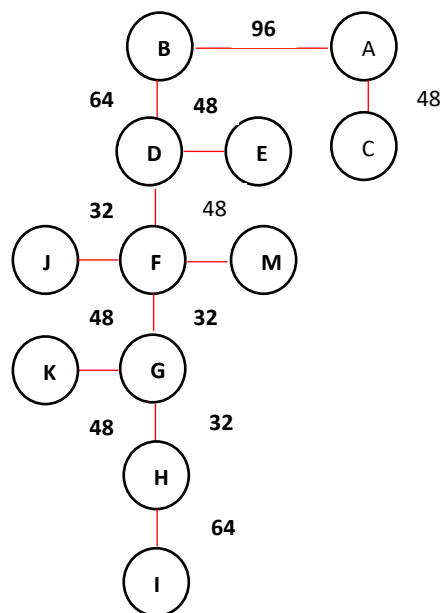


Gambar 2. Hasil Akhir Algoritma Prim

Berdasarkan gambar 1 pohon merentang minimum diatas dengan total bobot  $48 + 96 + 64 + 48 + 32 + 48 + 32 + 48 + 48 + 32 + 64 = 560$ , Maka biaya yang digunakan untuk pemasangan pipa saluran air bersih di perumahan “X” adalah sebesar Rp. 5.600.000,-.

**5) Algoritma Kruskal**

Berdasarkan gambar 1 dan tabel 1 maka penyelesaian kasus Minimum Spanning Tree menggunakan algoritma kruskal, dapat dilihat dari gambar berikut ini.

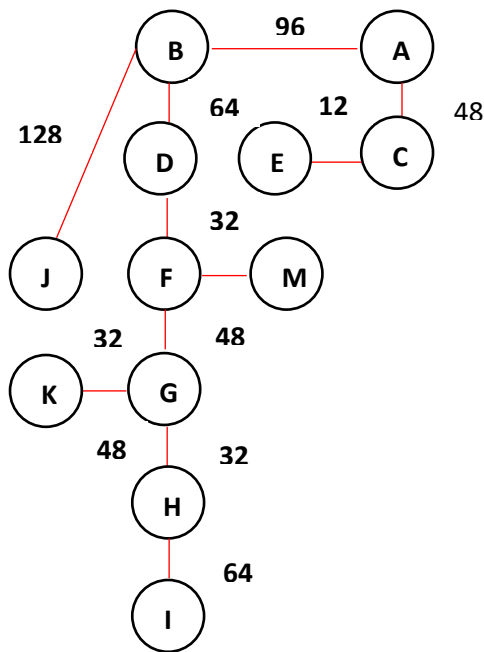


Gambar 3. Hasil Akhir Algoritma Kruskal

Berdasarkan gambar pohon merentang minimum diatas dengan total bobot  $48 + 96 + 64 + 48 + 32 + 48 + 32 + 48 + 48 + 32 + 64 = 560$ , Maka biaya yang digunakan untuk pemasangan pipa saluran air bersih di perumahan “X” adalah sebesar Rp. 5.600.000,-.

**6) Algoritma Dijkstra**

Berdasarkan gambar 1 dan tabel 1 maka penyelesaian kasus Minimum Spanning Tree menggunakan algoritma dijkstra, dapat dilihat dari gambar berikut ini.

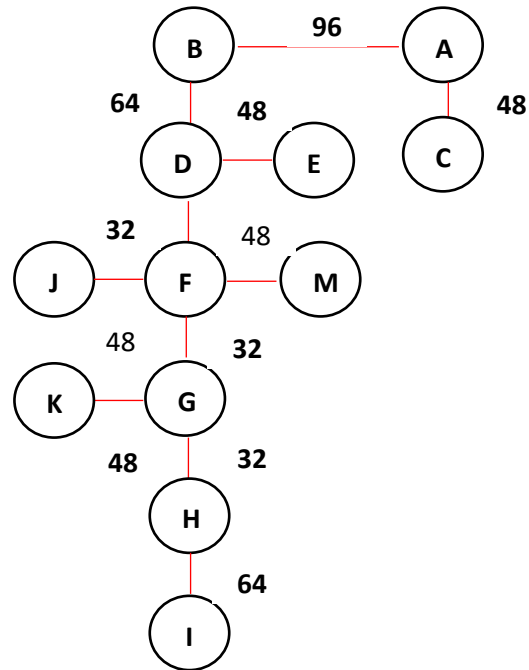


Gambar 4. Hasil Akhir Algoritma Dijkstra

Berdasarkan gambar pohon merentang minimum diatas dengan total bobot  $48 + 128 + 96 + 64 + 32 + 48 + 32 + 48 + 32 + 64 + 128 = 720$ , Maka biaya yang digunakan untuk pemasangan pipa saluran air bersih di perumahan "X" adalah sebesar Rp. 7.200.000,-.

7) Algoritma Floyd-Warshall

Berdasarkan gambar 1 dan tabel 1 maka penyelesaian kasus Minimum Spanning Tree menggunakan algoritma Floyd-Warshall untuk menentukan biaya minimum dari Titik A ke Titik I, dapat dilihat dari gambar berikut ini.



Gambar 5. Hasil Akhir Algoritma Floyd-Warshall

Berdasarkan gambar pohon merentang minimum diatas dengan total bobot  $48 + 96 + 64 + 48 + 32 + 48 + 32 + 48 + 48 + 32 + 64 = 560$ , Maka biaya yang digunakan untuk pemasangan pipa saluran air bersih di perumahan "X" adalah sebesar Rp. 5.600.000,-.

Berdasarkan hasil penelitian pohon rentang minimum dari jalur distribusi pipa saluran air bersih di Perumahan "X" diperoleh hasil akhir, sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Ringkasan Hasil

Jenis Algoritma	Biaya
Prim	Rp. 5.600.000,-.
Dijkstra	Rp. 7.200.000,-.
Kruskal	Rp. 5.600.000,-.
Floyd-Warshall	Rp. 5.600.000,-.

Hasil penelitian pohon rentang minimum dari jalur distribusi pipa saluran air bersih di Perumahan "X" dengan menggunakan algoritma Prim, Kruskal, dan Floyd-Warshall diperoleh total biaya minimum yang sama yaitu sebesar Rp. 5.600.000,-. Sedangkan algoritma Dijkstra memperoleh total biaya sebesar Rp.



7.200.000,-. Itu dikarenakan keunggulan pohon rentang minimum menggunakan algoritma Prim dan Kruskal, meskipun dengan cara manual tetapi dapat diketahui sisi mana saja yang terhapus, sisi mana saja yang tidak terhapus, dan mengetahui secara langsung bagaimana pohon rentang minimumnya.

Walaupun algoritma Floyd-Warshall memperoleh biaya minimum yang sama dengan prim dan kruskal, tapi dalam menyelesaikannya membutuhkan waktu yang lama, karena algoritma ini menghitung bobot terkecil dari semua jalur dan melakukan sekaligus untuk semua titik. Sedangkan walaupun algoritma djikstra menghasilkan biaya yang cukup besar dibandingkan dengan algoritma yang lain, tapi dalam waktu penyelesaiannya lebih cepat dibandingkan algoritma yang lain.

Perlu diperhatikan juga hasil akhir dari algoritma Prim, Kruskal, dan Floyd-Warshall yang menghasilkan biaya minimum yang sama, alasannya adalah gambar instalasi pipa yang dirancang sangat sederhana, sehingga kompleksitasnya sedikit. Itu yang menyebabkan hasil akhir yang sama untuk tiga algoritma tersebut walaupun langkah perhitungannya berbeda.

Bila ingin mendapatkan biaya yang paling murah dalam merancang instalasi pipa untuk air bersih, seorang estimator bisa menggunakan algoritma prim, kruskal, ataupun Floyd-Warshall karena dalam proyek pembuatan sebuah rumah ataupun perumahan, pekerjaan plumbing seperti ini sangat perlu dan penting, karena sebagai seorang lulusan teknik sipil harus mampu menjadi estimator yang baik di lapangan, sehingga nanti biaya yang akan dikeluarkan dalam proyek pemasangan pipa bisa ditekan se-minimal mungkin dengan bantuan algoritma.

## **KESIMPULAN**

Berikut ini kesimpulan yang dapat diambil dari analisis perbandingan algoritma prim, kruskal, dan djikstra untuk memecahkan pohon merentang minimum studi kasus perancangan pemasangan pipa saluran air bersih adalah:

1. Biaya minimum dalam perancangan pemasangan pipa algoritma Prim, Kruskal, dan Floyd-Warshall adalah sebesar Rp. 5.600.000,-. Sedangkan algoritma Dijkstra memperoleh total biaya sebesar Rp. 7.200.000,-.
2. Algoritma Prim, Algoritma Kruskal, dan Algoritma Floyd-Warshall dapat menyelesaikan masalah pencarian pohon merentang minimum dengan biaya yang paling murah dibandingkan Algoritma Dijkstra.
3. Keunggulan pohon rentang minimum menggunakan algoritma Prim dan Kruskal, meskipun dengan cara manual tetapi dapat diketahui sisi mana saja yang terhapus, sisi mana saja yang tidak terhapus, dan mengetahui secara langsung bagaimana pohon rentang minimumnya.
4. Algoritma Floyd-Warshall memperoleh biaya minimum yang sama dengan prim dan kruskal, tapi dalam menyelesaikannya membutuhkan waktu yang lama, karena algoritma ini menghitung bobot terkecil dari semua jalur dan melakukan sekaligus untuk semua titik.
5. Algoritma Dijkstra menghasilkan biaya yang cukup besar dibandingkan dengan algoritma yang lain, tapi dalam waktu penyelesaiannya lebih cepat dibandingkan algoritma yang lain.

Dalam penelitian ini, penulis menggunakan program cara manual sebagai alat pembanding sekaligus untuk memvisualisasikan hasil pohon rentang minimum. Kelemahan adalah kemungkinan terjadi human error sangatlah besar Sehingga dalam penelitian ini saran yang dapat

disampaikan adalah untuk penelitian-penelitian selanjutnya yang mengkaji pohon rentang minimum dapat mencoba software komputer guna mempersingkat waktu dan meminimalisir kesalahan, selain itu dapat menambah pengetahuan tentang software-software komputer yang dapat menyelesaikan permasalahan pohon rentang minimum.

Selain itu dalam membuat sebuah penelitian yang baru, akan lebih baik bila mendesain gambar lebih kompleks tidak hanya yang sederhana saja untuk menghitung dengan menggunakan algoritma MST, karena akan lebih jelas dalam mengetahui perbedaan masing-masing algoritma, sehingga keterterapannya lebih baik.

Sedangkan untuk penerapan, ini masih terbatas pada pengaplikasian teori terhadap pendistribusian pipa saja dengan contoh yang sederhana, sehingga diperoleh hasil yang sama dari beberapa algoritma MST yang dipakai untuk itu dalam praktiknya diharapkan peneliti selanjutnya bisa mengkaji lebih dalam permasalahan-permasalahan di lapangan yang lebih kompleks, sehingga hasil yang didapatkan lebih memuaskan, supaya penerapan yang digunakan tidak hanya dikaji secara teori semata.

Putra Chandra Anugrah. 2019. Perancangan Media Pembelajaran Berbasis Multimedia. 137.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- S. Rizki, "Penerapan Teori Graf Untuk Menyelesaikan Masalah Minimum Spanning Tree (Mst) Menggunakan Algoritma Kruskal," *AKSIOMA J. Math. Educ.*, vol. 1, no. 2, 2012.
- H. G. Fadli, "Studi Minimum Spanning Tree dengan Algoritma Prim dan Kruskal," *J. Tek. Inform. Inst. Teknol. Bandung*, 2006.
- D. Satyananda, "Struktur Data," Malang, 2012.
- A. R. Hasibuan, I. Pendahuluan, A. Penerapan, and B. A. F. Warshall, "Penerapan algoritma floyd warshall untuk menentukan jalur terpendek dalam pengiriman barang," *J. Ris. Komput.*, vol. 3, no. 6, pp. 20–24, 2016.