

OPTIMALISASI PANJANG JARINGAN PIPA AIR BERSIH DI DKI JAKARTA MENGGUNAKAN *MINIMUM SPANNING TREE*

Glisina Dwinoor Rembulan*, Julliete Angel Luin, Vri Julianto, Giovandri Septorino
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi dan Desain, Universitas Bunda Mulia
Email: rembulanglisina@gmail.com; jullieteluin@gmail.com; vrijulianto@gmail.com;
giovandriseptorino@gmail.com

Artikel masuk : 10-04-2020

Artikel direvisi : 04-06-2020

Artikel diterima : 16-06-2020

*Penulis Korespondensi

Abstrak – Ketahanan air adalah prioritas utama untuk mencapai kedaulatan pangan nasional. Saat ini ketersediaan akses air bersih belum merata. Jaringan pipa air bersih memainkan peran penting untuk menunjang terpenuhinya permintaan air bersih oleh masyarakat. Jaringan pipa air bersih di DKI Jakarta diakomodasi oleh PT Aetra Air Jakarta (AETRA) dan PT PAM Lyonnaise Jaya (PALYJA). *Minimum Spanning Tree (MST)* merupakan metode yang digunakan untuk meminimalkan biaya yang dikeluarkan dengan mengoptimalkan jarak. Metode *MST* digunakan untuk mengoptimalkan panjang jaringan pipa air bersih di DKI Jakarta sehingga dapat meminimalkan total biaya. Hasil dari pengolahan data setelah menggunakan metode *MST* diperoleh panjang minimum dari jaringan pipa air bersih untuk PT Aetra Air Jakarta dan PT PAM Lyonnaise Jaya sehingga mengurangi total biaya yang dikeluarkan. Total biaya PT PAM Lyonnaise Jaya berkurang 2 kali lipat dan PT Aetra Air Jakarta 16 kali lipat lebih rendah dari semula.

Kata kunci: Ketahanan Air; *Minimum Spanning Tree*; PT AETRA; PT PALYJA

Abstract -- Water security is a top priority for achieving national food sovereignty. The present availability of access to clean water is not evenly distributed. Clean water pipelines play an important role to support the fulfillment of the demand for clean water by the community. Clean water pipelines in DKI Jakarta are accommodated by PT Aetra Air Jakarta (AETRA) and PT PAM Lyonnaise Jaya (PALYJA). *Minimum Spanning Tree (MST)* is a method used to minimize costs incurred by optimizing distance. The *MST* method is used to optimize the length of clean water pipelines in DKI Jakarta in order to minimize the total cost. The results of data processing after using the *MST* method obtained the minimum length of clean water pipelines for PT Aetra Air Jakarta and PT PAM Lyonnaise Jaya thereby reducing the total costs incurred. The total cost of PT PAM Lyonnaise Jaya was reduced by 2 times and PT Aetra Air Jakarta 16 times lower than before.

Keywords: Water Security; *Minimum Spanning Tree*; PT AETRA; PT PALYJA

PENDAHULUAN

Ketahanan air adalah prioritas utama untuk mencapai kedaulatan pangan nasional. Sekitar 4 miliar orang mengalami kelangkaan air parah selama setidaknya satu bulan dalam setahun (Mekonnen & Hoekstra, 2016). Penggunaan air telah meningkat di seluruh dunia sekitar 1% per tahun sejak 1980-an dan diperkirakan akan terus meningkat hingga tahun 2050, terhitung sebesar 20% hingga 30% di atas tingkat penggunaan air saat ini (Burek et al., 2016). Tantangan utama yang harus dihadapi saat ini termasuk, air bersih dan sanitasi yang layak, pasokan air baku yang sesuai dengan kebutuhan, eksploitasi air tanah yang masif, kerusakan pada daerah aliran sungai, dan perubahan iklim (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2019).

Ketersediaan akses air bersih belum merata. Air yang dapat dimanfaatkan sebesar 25,3% dengan 7,04 m³/detik kapasitas air baku belum dimanfaatkan (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017; Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Hingga akhir 2018, ketersediaan akses air bersih baru mencapai 72%, dengan Pulau Jawa sebesar 6,3% (detikFinance, 2019; Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017; Fikri, 2018; indonesia.go.id, 2019). DKI Jakarta memiliki kebutuhan air mencapai 28 m³ sedangkan air bersih yang tersedia hanya 18 m³ (Brata, 2018; Guritno, 2019; Iqbal, 2019).

Jaringan pipa air bersih memainkan peran penting untuk menunjang terpenuhinya permintaan air bersih oleh masyarakat. Sistem distribusi air bersih adalah jaringan perpipaan yang terdiri dari sistem perpipaan, pompa, reservoir, dan peralatan lainnya (Adrian, Syahrizal, & Indrawan, 2014; Setyono & Prayogo, 2018). Sampai dengan saat ini telah dibangun jaringan air baku dengan kapasitas layanan 51,44 m³ /detik, yang belum memenuhi target kapasitas yang direncanakan (56 m³/detik) (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, 2017). Pengembangan jaringan pipa air perlu terus ditingkatkan agar semakin banyak warga yang memiliki akses terhadap air bersih (Said, 2019; Sutikno, Rispiningtati, & Prayogo, 2014).

Total jarak tempuh mempengaruhi biaya yang dikeluarkan. Konstruksi jaringan perpipaan merupakan bagian yang paling mahal dari sistem distribusi air (Al Amin, 2011). Semakin jauh jarak yang ditempuh maka biaya semakin mahal; sebaliknya jarak tempuh yang lebih pendek mengindikasikan biaya yang lebih rendah (Hillier

& Lieberman, 2010; R Gultom, 2017; Sarjono, 2014; Wulandari & Arifin, 2018). Penentuan rute yang tepat menghasilkan rute yang efisien dengan biaya yang minimum (Anisah, 2016; Anka, Andrawina, & Rendra, 2017; Muhammad, Bakhtiar, & Rahmi, 2017; Pillai, Chick, Johanning, Khorasanchi, & De Laleu, 2015; Wahyu, Samanhudi, & Akmal, 2018). Penelitian sebelumnya membahas tentang jaringan pipa untuk meminimalkan panjang jaringan dengan metode heuristik (Nurprihatin, et al., 2019).

Jaringan pipa air bersih di DKI Jakarta diakomodasi oleh PT Aetra Air Jakarta (AETRA) dan PT PAM Lyonnaise Jaya (PALYJA). PT AETRA bertanggung jawab dalam pelayanan air bersih di wilayah Timur DKI Jakarta sedangkan PT PALYJA di wilayah Barat DKI Jakarta (Ikhsanudin, 2019; Kahfi, 2019; PT Aetra Air Jakarta, 2019c; PT PAM Lyonnaise Jaya, 2019b). Kedua perusahaan tersebut melakukan pelayanan air bersih dimulai dari pengolahan air baku menjadi air bersih, mendistribusikannya, melakukan pembacaan meter air, mengelola tagihan air, meningkatkan penyediaan air bersih dan pelayanan kepada masyarakat (Aetra, 2017; Palyja, 2017). Sampai dengan akhir 2018, total jaringan pipa air PT AETRA mencapai 6.275 km dan PT PALYJA mencapai 5.471 km (PT Aetra Air Jakarta, 2019b; PT PAM Lyonnaise Jaya, 2019a).

Terdapat berbagai metode yang digunakan untuk mengoptimalkan jarak. *Vehicle Routing Problem* meminimalkan jarak distribusi, meminimalkan biaya transportasi dan meningkatkan jumlah permintaan (Anka et al., 2017; Chandra & Setiawan, 2018; SM, Ekawati, & Febriana, 2017). *Transportation Method* menghasilkan rute yang optimal (Aqidawati, Rahadian, Haqqoni, Yuniaristanto, & Sutopo, 2018; Irwan & Yuniral, 2016; Ridha, Abdi, & Mahyudin, 2016; M. H. Setiawan, Imrona, & Murdiansyah, 2017). Selain itu metode *Saving Matrix* menghasilkan rute yang efisien dan biaya transportasi yang minimum (Addini's & Fauzan, 2018; Indrawati, Eliyati, & Lukowi, 2016; Muhammad et al., 2017). Integrasi antara metode transportasi dan Savings Algorithm juga telah dibahas untuk meminimalkan biaya distribusi (Nurprihatin & Tannady, 2018).

Minimum Spanning Tree (MST) dapat meminimalkan biaya yang dikeluarkan dengan mengoptimalkan jarak. MST dapat diterapkan di bidang transportasi, energi, jaringan komunikasi sampai peningkatan akurasi diagnostik untuk penyakit *Alzheimer* (Guo, Liu, Chen, Xu, & Jie, 2017; Li, Mao, Zhang, & Li, 2016; Mosbah, Arif, Mohammedi, & Hellal, 2017; Rizki, 2012). Penerapan MST dapat meminimalkan biaya

pengiriman palung kabel, mebel dan ukiran kayu; mengoptimalkan panjang pipa air bersih dan jaringan distribusi listrik; juga menghemat investasi konfigurasi koneksi kabel pada *wind farm* pantai (Akpan & Iwok, 2017; Jono, 2014; Latifah & Sugiharti, 2015; Peng Hou, Weihao Hu, & Chen, 2015; Pratama, Sumarno, & Darmaji, 2013; Riswan, 2018; Wattimena & Lawalata, 2013).

Penelitian ini meninjau panjang jaringan pipa air bersih dengan metode MST di DKI Jakarta. Metode MST diharapkan dapat mengoptimalkan panjang jaringan pipa air bersih sehingga dapat meminimalkan total biaya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan pada bulan Agustus tahun 2019. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data-data yang diperlukan. Adapun data yang diperoleh adalah lokasi sumber air baku, jumlah dan lokasi kecamatan di DKI Jakarta, dan jarak dari sumber air ke tiap-tiap kecamatan. Selanjutnya dilakukan penghitungan jarak optimal dalam pendistribusian air dengan menggunakan metode *Minimum Spanning Tree* dengan aplikasi *QM for Windows*, menghitung biaya distribusi air berdasarkan jarak tempuh dari hasil analisa dan menghitung total biaya pendistribusian air..

Objek yang menjadi penelitian ini adalah jaringan pipa air bersih di DKI Jakarta. Pengumpulan data yang dilakukan adalah pengumpulan data sekunder dengan melakukan pencarian di laman resmi PT. Aetra Air Jakarta dan PT. PAM Lyonnaise Jaya (PALYJA). Selain itu, pengumpulan data juga dilakukan dengan bantuan *Google Maps* untuk mendapatkan data mengenai jarak dari *booster pump* ke setiap kecamatan di DKI Jakarta.

Graf

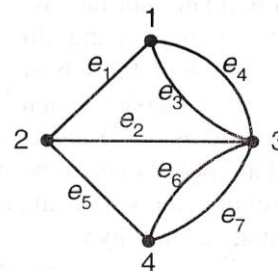
Secara matematis, graf didefinisikan sebagai pasangan antara himpunan tidak kosong dari simpul-simpul (V) dengan sisi-sisi yang menghubungkan sepasang simpul (E). Graf dapat ditulis singkat sebagai $G = (V, E)$.

Simpul pada graf dapat menggunakan huruf atau bilangan asli ataupun gabungan keduanya. Sedangkan sisi atau garis yang menghubungkan antar simpul v_i dengan v_j dapat dituliskan dengan lambang e_1, e_2, \dots, e_n sehingga e dapat ditulis $e = (v_i, v_j)$ (Munir, 2010). Sisi atau garis pada graf dapat dibedakan menjadi dua jenis berdasarkan orientasi arah (Munir, 2010):

1. Graf tak-berarah (*undirected graph*)

Graf tak berarah merupakan graf yang sisi atau garisnya tidak memiliki arah. Pada graf

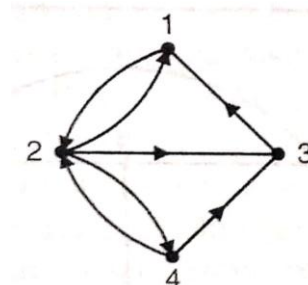
ini, urutan pada pasangan simpul yang dihubungkan tidak dipedulikan, jadi $(v_j, v_k) = (v_k, v_j)$. Gambar 1 merupakan contoh graf tak berarah.



Gambar 1. Graf Tak Berarah

2. Graf berarah (*directed graph* atau *digraph*)

Graf berarah adalah graf yang pada setiap sisi atau garisnya memiliki orientasi arah. Sisi atau garis yang berarah dapat disebut juga busur (*arc*). Pada graf ini, urutan pada pasangan simpul diperhatikan, jadi $(v_j, v_k) \neq (v_k, v_j)$. Gambar 2 merupakan contoh graf berarah.



Gambar 2. Graf Berarah

Terminologi Dasar

Beberapa terminologi dasar yang sering digunakan dalam graf (Munir, 2010):

1. Bertetangga (*Adjacent*)

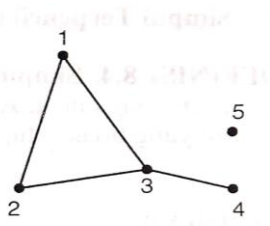
Dua buah simpul dikatakan bertetangga bila keduanya terhubung oleh sisi atau garis. Contohnya: pada Gambar 2, simpul 1 dan 2 dihubungkan oleh e_1 sehingga dapat dikatakan bertetangga, tetapi simpul 1 dan 4 tidak bertetangga karena tidak ada sisi atau garis yang menghubungkan kedua simpul.

2. Bersisian (*Incident*)

Sisi e yang menghubungkan simpul v_i dan v_j akan dikatakan bersisian dengan kedua simpul tersebut. Contohnya: pada Gambar 2, e_5 bersisian dengan simpul 2 dan 4 karena e_5 menghubungkan kedua simpul tersebut.

3. Simpul Terpencil (*Isolated Vertex*)

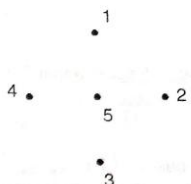
Simpul terpencil merupakan simpul yang tidak memiliki sisi yang bersisian atau tidak bertetangga dengan simpul yang lain.



Gambar 3. Graf dengan Simpul Terpencil

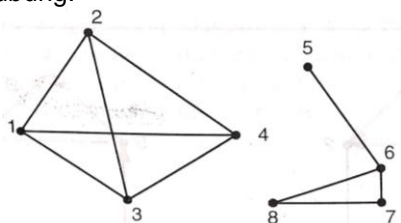
Pada gambar 3, simpul 5 merupakan simpul terpencil karena tidak bersisian dengan sisi ataupun tidak bertetangga dengan simpul yang lain.

4. Graf Kosong (*Null Graph* atau *Empty Graph*)
 Graf kosong adalah graf yang himpunan sisinya merupakan himpunan kosong dan biasanya ditulis sebagai N_n , di mana n adalah jumlah simpul. Gambar 4 adalah contoh dari simpul terpencil.



Gambar 4. Graf Kosong

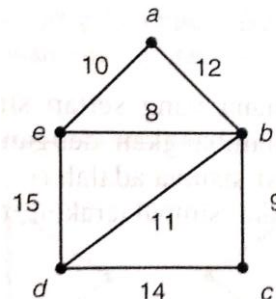
5. Derajat (Degree)
 Derajat pada simpul menunjukkan jumlah sisi yang bersisian dengan simpul. Contoh pada Gambar 2 $d(1) = d(2) = 3$, $d(3) = 5$.
6. Lintasan (Path)
 Panjang dari simpul awal (v_0) ke simpul akhir (v_n) yang terdiri dari barisan selang seling antara simpul-simpul dan sisi-sisi. Pada Gambar 2, contoh salah satu lintasan adalah $1, e, 1, 2, e, 5, 4, e, 7, 3$.
7. Siklus (Cycle) atau Sirkuit (Circuit)
 Siklus atau sirkuit adalah lintasan yang awal dan akhirnya ada pada simpul yang sama. Contoh: pada Gambar 2, terdapat siklus yaitu $1, 2, 3, 1$.
8. Terhubung (Connected)
 Dua simpul yang terhubung harus memiliki lintasan dari simpul satu ke simpul lainnya. Gambar 5 merupakan contoh graf tak terhubung.



Gambar 5. Graf tak Terhubung

9. Graf Berbobot (*Weighted Graph*)

Graf berbobot adalah graf yang di setiap sisinya sudah diberi harga (bobot). Bobot di setiap sisinya untuk menyatakan jarak, biaya waktu tempuh, ongkos produksi, dan sebagainya. Gambar 6 adalah contoh dari graf berbobot.



Gambar 6. Graf Berbobot

Algoritma

Algoritma untuk masalah *Minimum Spanning Tree* (Hillier & Lieberman, 2010):

1. Pilih sembarang simpul, dan kemudian sambungkan ke simpul berbeda yang terdekat.
2. Identifikasi *node* yang tidak terhubung tetapi paling dekat dengan *node* yang terhubung, kemudian hubungkan dua *node* tersebut. Ulangi langkah ini sampai semua *node* telah terhubung.
3. *Tie breaking*: *node* yang telah terhubung pada step 1 dan 2 dapat diputuskan sewenang-wenangnya dan algoritma tetap harus menghasilkan solusi yang optimal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Titik Lokasi Sumber Air Bersih dan Distribusi

Distribusi air di Jakarta dikelola oleh PT AETRA dan PT PALYJA. *Booster pump* digunakan untuk mendistribusikan air ke seluruh kecamatan di wilayah DKI Jakarta. PT AETRA mengelola 6 *booster pump*, yaitu Pompa Tekan Sumur Batu (Jl. PAM Sumur Batu Kelurahan Cempaka Baru Jakarta Pusat 10640), Pompa Tekan Halim (Jl. Raya Kalimalang, Jakarta Timur), Pompa Tekan Pasar Rebo (Jl. Raya Bogor KM. 22 Pasar Rebo, Jakarta Timur 13830), Pompa Tekan Kiwi (Jl. Raya Bogor KM.26 Pasar Rebo, Jakarta Timur), Pompa Tekan Sungai Bambu (Jl. Sungai Bambu Raya Kelurahan Papanggo Jakarta Pusat 10640), dan Pompa Tekan Tugu (Jl. Cakung Cilincing/ Tugu Raya Semper Barat, Jakarta Utara). Sedangkan PT PALYJA mengelola 2 *booster pump*, yaitu *Booster Pump* Daan Mogot (Jl. Daan Mogot Flyover No.10, RT.11/RW.2, Kedaung Kali Angke, Kecamatan Cengkareng, Kota Jakarta Barat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 11710)

dan *Booster Pump* Gedong Panjang (Jl. Pluit Raya No.7, RT.7/RW.9, Penjaringan, Kec. Penjaringan, Kota Jkt Utara, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 14440). Air bersih didistribusikan ke Provinsi Jakarta yang terbagi dalam 42 kecamatan, yaitu 8 kecamatan di Jakarta Pusat, 6 kecamatan di Jakarta Utara, 8 kecamatan di Jakarta Barat, 10 kecamatan di Jakarta Selatan, dan 10 kecamatan di Jakarta Timur.

Jarak dari Sumber Air ke Tiap-tiap Kecamatan

PT AETRA dan PT PALYJA bertanggung jawab menyalurkan air secara merata di DKI Jakarta. PT AETRA bertanggungjawab di daerah Jakarta Timur (tabel 1) dan sebagian wilayah Jakarta Utara dan Pusat (Tabel 2). PT PALYJA bertanggung jawab di daerah Jakarta Selatan (tabel 3), Jakarta Barat (Tabel 4) dan sebagian wilayah Jakarta Utara dan Pusat (tabel 5).

Tabel 1. Jarak antar *Booster Pump* ke Kecamatan Wilayah Jakarta Timur PT AETRA (Kilometer)

PT AETRA AIR JAKARTA Kecamatan	Jakarta Timur									
	Cakung	Cipayung	Ciracas	Duren Sawit	Jati negara	Kramat Jati	Makasar	Matraman	Pasar Rebo	Pulo Gadung
Pompa Tekan Pasar Rebo	26	8,5	4,6	16	12	4,4	9,8	16	3,5	18
Pompa Tekan Pump Kiwi	29	5,5	2	19	16	8	13	19	2,3	22
Pompa Tekan Halim	17	14	15	5,9	2,4	6,1	8,4	6	13	8,5
Pompa Tekan Pump Tugu	9,8	32	32	20	20	25	26	15	31	11
Pompa Tekan Sumur Batu	10	24	23	14	11	17	18	8,3	24	6,5
Pompa Tekan Sungai Bambu	17	30	31	20	17	27	25	14	30	13

Tabel 2. Jarak antar *Booster Pump* ke Kecamatan Wilayah Jakarta Utara dan Jakarta Pusat PT AETRA (Kilometer)

PT AETRA AIR JAKARTA Kecamatan	Jakarta Utara			Jakarta Pusat		
	Pademangan	Tanjung Priok	Cempaka Putih	Johor Baru	Kemayoran	Sawah Besar
Pompa Tekan Pasar Rebo	26	25	16	17	21	20
Pompa Tekan Pump Kiwi	29	28	19	21	24	24
Pompa Tekan Halim	17	15	7,6	8,6	12	15
Pompa Tekan Pump Tugu	12	12	14	13	14	14
Pompa Tekan Sumur Batu	8	6,3	4,4	5,4	4,5	6,4
Pompa Tekan Sungai Bambu	7,1	2,1	12	13	14	11

Tabel 3. Jarak antar *Booster Pump* ke Kecamatan Wilayah Jakarta Selatan PT PT PALYJA (Kilometer)

PT PAM LYONAISSSE JAYA	Jakarta Selatan										
	Kecamatan	Cilandak	Jaga karsa	Kebayoran Baru	Kebayoran Lama	Mampang Prapatan	Pancoran	Pasar Minggu	Pesanggrahan	Setia Budi	Tebet
<i>Booster Pump</i> Daan Mogot		22	31	11	20	21	23	27	17	14	22
<i>Booster Pump</i> Gedong Panjang		30	30	17	22	18	20	26	25	11	19

Tabel 4. Jarak antar *Booster Pump* ke Kecamatan Wilayah Jakarta Barat PT PT PALYJA (Kilometer)

PT PAM LYONAISSSE JAYA	Jakarta Barat								
	Kecamatan	Cengkareng	Grogol Petamburan	Taman Sari	Tambora	Kebon Jeruk	Kali deres	Palmerah	Kembangan
<i>Booster Pump</i> Daan Mogot		5,9	4,9	9,4	8,2	6,1	8,9	7,5	8,6
<i>Booster Pump</i> Gedong Panjang		12	8,1	2	3,2	14	17	14	15

Tabel 5. Jarak antar *Booster Pump* ke Kecamatan Wilayah Jakarta Pusat da Jakarta Utara PT PT PALYJA (Kilometer)

PT PAM LYONAISSSE JAYA	Jakarta Pusat					Jakarta Utara			
	Kecamatan	Gambir	Menteng	Senen	Tanah Abang	Clincing	Kelapa Gading	Koja	Penjaringan
<i>Booster Pump</i> Daan Mogot		11	15	14	12	27	24	23	8,3
<i>Booster Pump</i> Gedong Panjang		7,7	12	12	14	19	17	15	1,4

Pengolahan Data dengan *QM for Windows*

Biaya transportasi juga didekati dengan waktu tempuh yang tidak tetap meskipun jarak tempuh tidak berubah (Nurprihatin, Elnathan, Rumawan, & Regina, 2019). Biaya transportasi juga diminimalkan dengan *Fuzzy Analytical Network Process* (FANP) (Rembulan & Nurprihatin, 2019). Penelitian – penelitian terdahulu hanya mengulas segi jarak atau segi biaya saja dari jaringan pipa airs (Arifuddin, Parung, & Thaha, 2013; Hidayah, Andawayanti, & Lufira, 2020; H. D. Setiawan, Haribowo, & Ismoyo, 2019; Windarto & Sudirman, 2018). Perhitungan *Minimum Spanning Tree* dilakukan menggunakan aplikasi *QM for Windows* dengan memasukkan seluruh data jarak antar *booster*

pump ke setiap kecamatan dalam wilayah PT AETRA dan PT PALYJA secara terpisah. Kedua perusahaan tersebut menggunakan pipa berbahan HDPE (*High-density Polyethylene*) dengan diameter 0.5 inci (Kadir, 2020; PT Aetra Air Jakarta, 2019a). *Booster pump* adalah *start node*, sedangkan kecamatan adalah *end node*. Hasil dari pengolahan data kemudian dikalikan dengan biaya pipa HDPE (Rp. 7.000.000/ km) untuk menghasilkan biaya total (CV. Aneka Pratama, 2020).

Berdasarkan hasil pengolahan data yang dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa biaya yang dapat dipotong dengan meminimalkan jarak untuk PT PAM Lyonnaisse Jaya berkurang sebanyak 2 kali lipat dari semula. Sedangkan

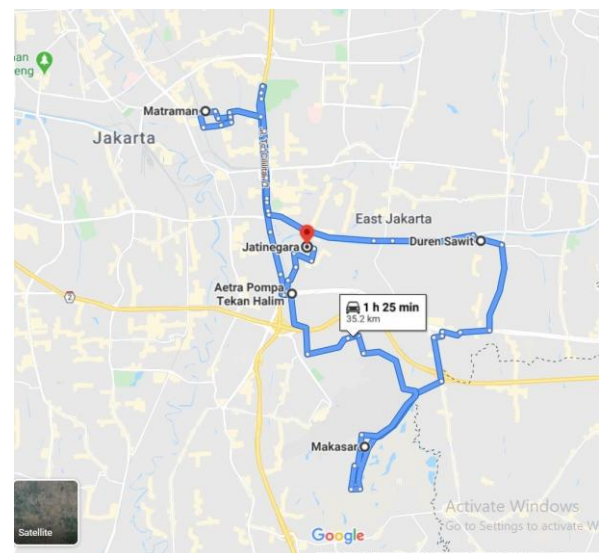
biaya yang dikeluarkan PT AETRA Air Jakarta menjadi 16 kali lipat lebih rendah dari semula. Hasil Tujuan setiap *booster pump* dapat dirampingkan seperti pada Tabel 6 dan 7. Melalui Gambar 7 dan 8, dapat dilihat distribusi tiap – tiap *booster pump* ke tiap – tiap kecamatan – setelah diolah menggunakan *Minimum Spanning Tree*.

Tabel 6. Hasil Perampingan Jarak *Booster Pump* ke Kecamatan PT PALYJA

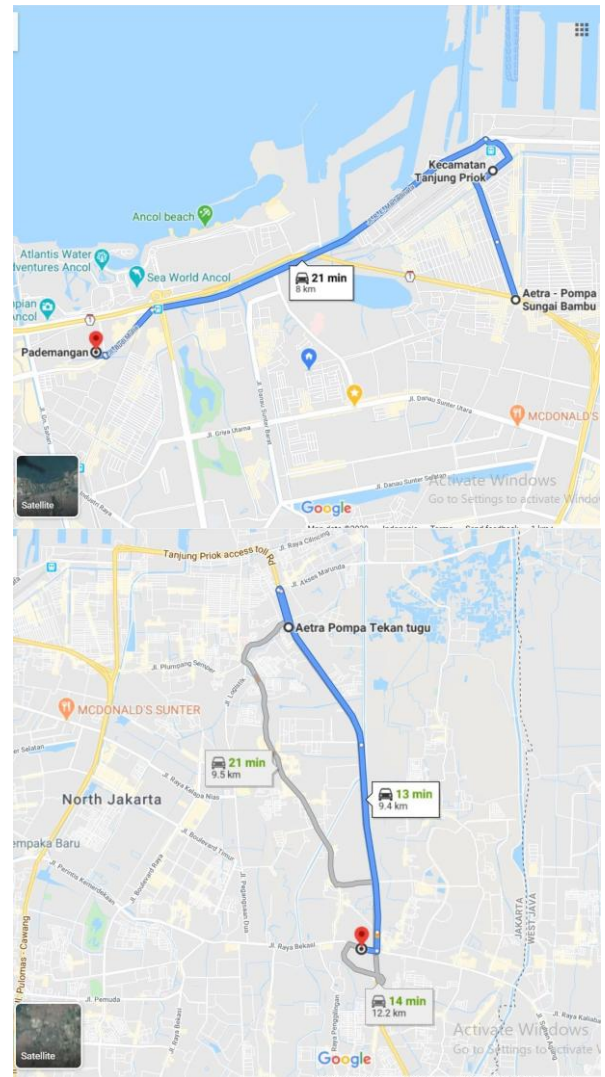
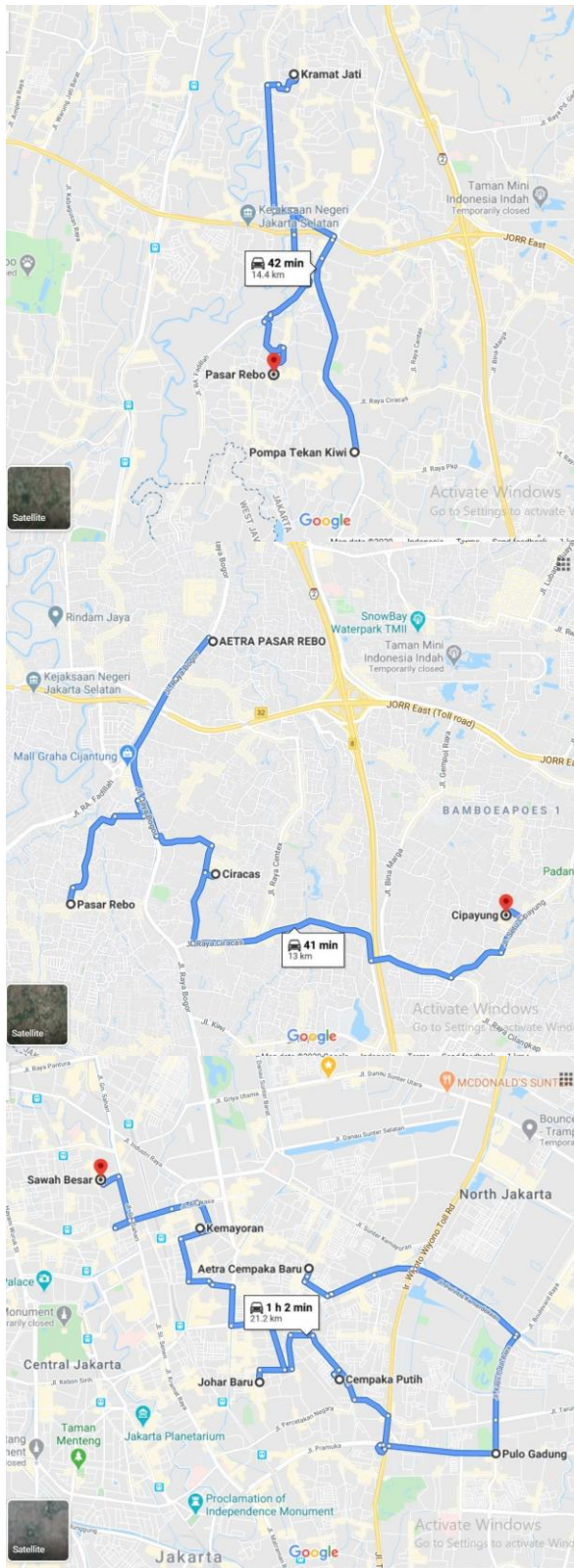
Branch Name	Start Node	End Node	Distance (Km)
Branch 1	1	3	22
Branch 3	1	5	11
Branch 4	1	6	20
Branch 8	1	10	17
Branch 11	1	13	5,9
Branch 12	1	14	4,9
Branch 15	1	17	6,1
Branch 16	1	18	8,9
Branch 17	1	19	7,5
Branch 18	1	20	8,6
Branch 22	1	24	12
Branch 28	2	4	30
Branch 31	2	7	18
Branch 32	2	8	20
Branch 33	2	9	26
Branch 35	2	11	11
Branch 36	2	12	19
Branch 39	2	15	2
Branch 40	2	16	3,2
Branch 45	2	21	7,7
Branch 46	2	22	12
Branch 47	2	23	12
Branch 49	2	25	19
Branch 50	2	26	17
Branch 51	2	27	15
Branch 52	2	28	1,4
Total Distance (Km)			337,2
Total Cost (Rp)			2.360.400.000

Tabel 7. Hasil Perampingan Jarak *Booster Pump* ke Kecamatan PT AETRA

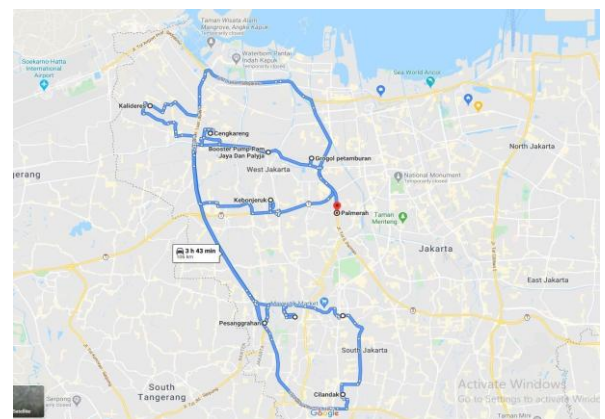
Branch Name	Start Node	End Node	Distance (Km)
Branch 6	1	12	4,4
Branch 9	1	15	3,5
Branch 18	2	8	5,5
Branch 19	2	9	2
Branch 25	2	15	2,3
Branch 36	3	10	5,9
Branch 37	3	11	2,4
Branch 39	3	13	8,4
Branch 40	3	14	6
Branch 49	4	7	9,8
Branch 74	5	16	6,5
Branch 77	5	19	4,4
Branch 78	5	20	5,4
Branch 79	5	21	4,5
Branch 80	5	22	6,4
Branch 91	6	17	7,1
Branch 92	6	18	2,1
Total Distance (Km)			86,6
Total Cost (Rp)			606.200.000



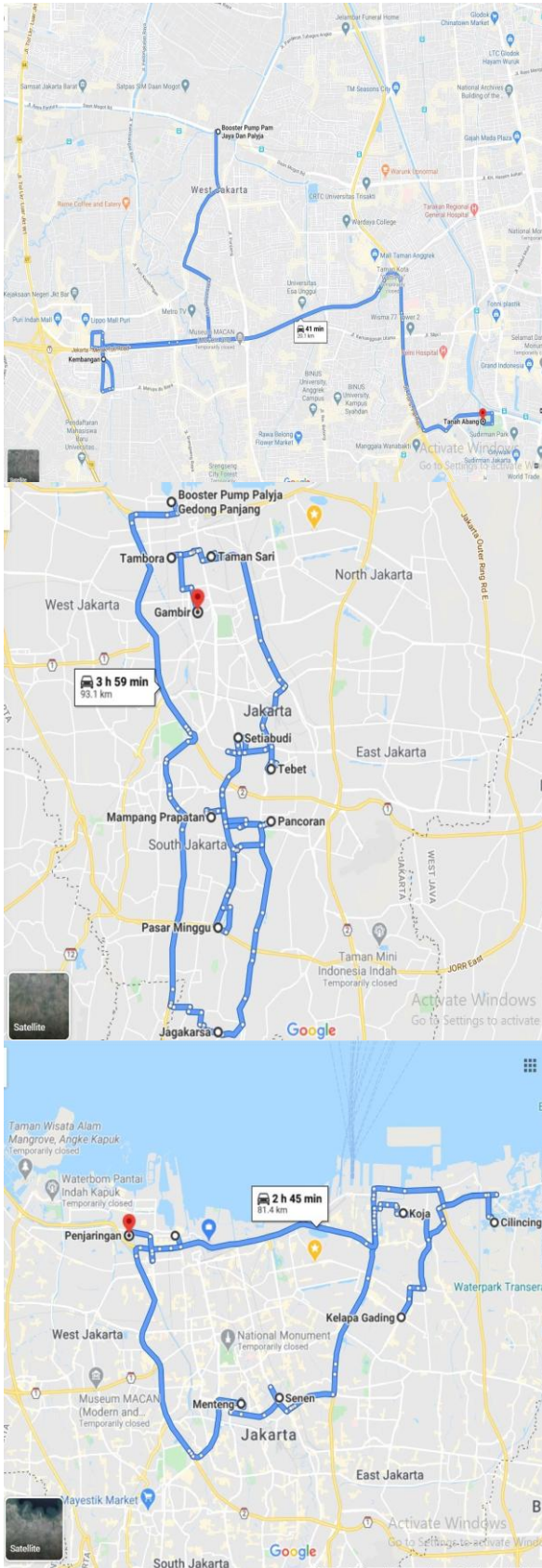
Gambar 7. Distribusi Tiap *Booster Pump* ke Tiap Kecamatan (PT AETRA)



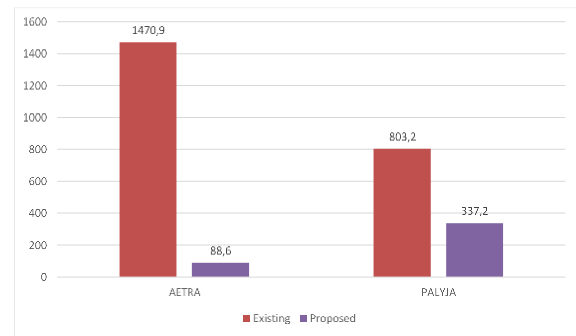
Gambar 7. Distribusi Tiap *Booster Pump* ke Tiap Kecamatan (PT AETRA) (Lanjutan)



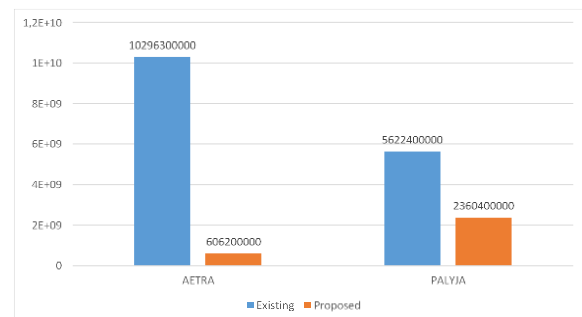
Gambar 8. Distribusi Tiap *Booster Pump* ke Tiap Kecamatan (PT AETRA)



Gambar 8. Distribusi Tiap *Booster Pump* ke Tiap Kecamatan (PT AETRA) (Lanjutan)



Gambar 9. Pengoptimalan Jarak (Km) pada PT. AETRA dan PT. PALLYJA



Gambar 10. Efisiensi Biaya (Rp.) pada PT. AETRA dan PT. PALLYJA

Pengoptimalan jarak dengan menggunakan metode MST didapatkan efisiensi jarak yang cukup signifikan pada PT. AETRA maupun PT. PALLYJA. PT. AETRA dapat dioptimalkan dari jarak 1470.9 Km menjadi 86.6 Km, sedangkan PT. PALLYJA dapat dioptimalkan dari jarak 803.2 Km menjadi 337.2 Km (Gambar 9). Hasil pengoptimalan jarak dengan menggunakan metode MST berpengaruh pada efisiensi biaya pipa, didapatkan efisiensi biaya yang cukup signifikan pada PT. AETRA maupun PT. PALLYJA. PT. AETRA dapat dioptimalkan dari biaya Rp. 10.296.300.000 menjadi Rp. 606.200.000, sedangkan PT. PALLYJA dapat dioptimalkan dari biaya Rp. 5.622.400.000 menjadi Rp. 2.360.400.000 (Gambar 10).

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data yang dilakukan, metode MST dapat meminimalkan panjang jaringan pipa air bersih untuk PT PAM Lyonnaisse Jaya dan PT AETRA Air Jakarta sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan. Biaya yang dikeluarkan untuk PT PAM Lyonnaisse Jaya berkurang 2 kali lipat dan PT Aetra Air Jakarta 16 kali lipat lebih rendah dari semula dapat dilihat melalui Gambar 10 dan 11. Penelitian ini menggunakan asumsi yang sangat sederhana bahwa jarak berbanding lurus

dengan biaya. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat memperhitungkan debit air, konsumsi air per kecamatan dan kondisi pipa/instalasi di lapangan untuk memperoleh pendekatan biaya distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Addini's, S. S. F., & Fauzan, M. (2018). Penyelesaian Masalah Rute Terpendek Distribusi Kertas di CV. Margota Fancindo Yogyakarta Menggunakan Metode Nearest Neighbor dan Metode Saving Matrix. *Jurnal Pendidikan Matematika Dan Sains*, 7(3), 1–11. Retrieved from <http://journal.student.uny.ac.id/ojs/ojs/index.php/math/article/view/11137>.
- Adrian, D., Syahrizal, & Indrawan, I. (2014). Analisis Jaringan Sistem Distribusi Air Bersih Pada Komplek Perumahan PT Arun NGL Lhokseumawe. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 3(2), 1-11. Retrieved from <https://jurnal.usu.ac.id/index.php/jts/article/view/7602>.
- Aetra. (2017). *Laporan Tahunan AETRA 2017: Sinergi untuk Pelayanan yang Berkualitas*. Jakarta. Retrieved from <http://aetra.co.id/upload/AETRA2017%20final3.pdf>.
- Akpan, N. P., & Iwok, I. A. (2017). A minimum spanning tree approach of solving a transportation problem. *International Journal of Mathematics and Statistics Invention*, 5(3), 09-18. Retrieved from <http://www.ijmsi.org/Papers/Volume.5.Issue.3/B05030918.pdf>.
- Al Amin, M. B. (2011). Komputasi Analisis Hidraulika Jaringan Pipa Air Minum. *Seminar Nasional Kebumihan 2011* (pp. 3-18). UPN Veteran" Yogyakarta. Retrieved from <http://repository.unsri.ac.id/8499/>.
- Anisah, R. R. (2016). Perancangan Rute Pendistribusian Produk Obat Dengan Menggunakan Algoritma Tabu Search Pada Vehicle Routing Problem With Time Window di PT XYZ Bandung. *e-Proceeding of Engineering* (pp. 2384-2391). Telkom University. Retrieved from https://openlibrary.telkomuniversity.ac.id/pustaka/files/116935/jurnal_eproc/perancangan-rute-pendistribusian-produk-obat-dengan-menggunakan-algoritma-tabu-search-pada-vehicle-routing-problem-with-time-window-di-pt-xyz-bandung.pdf.
- Anka, M. Z. A., Andrawina, L., & Rendra, M. (2017). Usulan Rancangan Rute Transportasi Multi Trip untuk Meminimasi Biaya Transportasi dengan Heterogeneous Fleet dan Time Window menggunakan Metode Algoritma Genetika di PT. XYZ. *Journal Industrial Services*, 3(1), 1–5. Retrieved from <http://jurnal.untirta.ac.id/index.php/jiss/article/view/2056>.
- Aqidawati, E. F., Rahadian, N., Haqqoni, Z., Yuniaristanto, & Sutopo, W. (2018). Optimasi Distribusi Semen PT. XYZ dengan Modifikasi Model Transportasi. *Jurnal Rekayasa Sistem & Industri (JRSI)*, 4(02), 187–191. <https://doi.org/10.25124/jrsi.v4i02.288>.
- Arifuddin, Parung, H., & Thaha, A. (2013). Analisis Kapasitas dan Pengembangan Jaringan Pipa Distribusi PDAM di Wilayah Pesisir Kecamatan Tallo, Kota Makassar. *Universitas Hasanuddin*. Retrieved from <http://pasca.unhas.ac.id/jurnal/files/a04a00f39256cae6318efa43215b0c73.pdf>.
- Brata, T. J. (2018). *Sering Dilupakan, Ketersediaan Air di Jakarta Memprihatinkan*. Retrieved from <https://www.jawapos.com/ekonomi/21/03/2018/sering-dilupakan-ketersediaan-air-di-jakarta-memprihatinkan/>.
- Burek, P., Satoh, Y., Fischer, G., Kahil, M. T., Scherzer, A., Tramberend, S., ... Flörke, M. (2016). *Water futures and solution-fast track initiative*. WP-16-006. Retrieved from <http://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/13008/>.
- Chandra, A., & Setiawan, B. (2018). Optimasi Jalur Distribusi dengan Metode Vehicle Routing Problem (VRP) Optimizing the Distribution Routes Using Vehicle Routing Problem (VRP) Method. *Jurnal Manajemen Transportasi Dan Logistik*, 05(02), 105–116. Retrieved from <https://journal.itltrisakti.ac.id/index.php/jmtra/nslog/article/view/233>.
- CV. Aneka Pratama. (2020). *Harga Pipa HDPE SDR11 Pn 16*. Retrieved from <https://www.anekateknika.com/harga-pipa-hdpe-pn16-pipa-hdpe-sdr11-tahun-2018.html>.
- DetikFinance (2019). *Duh, Baru 72% Wilayah RI yang Bisa Akses Air Bersih*. Retrieved from <https://finance.detik.com/infrastruktur/d-4479084/duh-baru-72-wilayah-ri-yang-bisa-akses-air-bersih>.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air (2017). *Review Rencana Strategis 2015 - 2019. Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*. Retrieved from <https://www.pu.go.id/source/Renstra-2015-2019.pdf>.
- Fikri, D. A. (2018). *Lebih dari 33,4 Juta Penduduk Indonesia Masih Kekurangan Air Bersih*. Retrieved from

- <https://lifestyle.okezone.com/read/2018/11/2/2/481/1981405/lebih-dari-33-4-juta-penduduk-indonesia-masih-kekurangan-air-bersih>.
- Guo, H., Liu, L., Chen, J., Xu, Y., & Jie, X. (2017). Alzheimer Classification using a Minimum Spanning Tree of High-Order Functional Network on fMRI Dataset. *Frontiers in Neuroscience*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00639>.
- Gultom, E. R. (2017). Merefungsi Pengangkutan Laut Indonesia Melalui Tol Laut Untuk Pembangunan Ekonomi Indonesia Timur. *Develop*, 1(2), 1-12. <https://doi.org/10.25139/dev.v1i2.381>.
- Guritno, T. (2019). *PAM Jaya: 40 persen Warga Jakarta Belum Nikmati Air Bersih*. Retrieved from <https://megapolitan.kompas.com/read/2019/03/22/13301601/pam-jaya-40-persen-warga-jakarta-belum-nikmati-air-bersih>.
- Hidayah, M. N., Andawayanti, U., & Lufira, R. D. (2020). Penentuan Harga Air Bersih untuk Pengembangan Jaringan Distribusi Air Bersih di Kecamatan Wonoasri Kabupaten Madiun. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 3(2), 1-4. Retrieved from <http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/539>.
- Hillier, F. S., & Lieberman, G. J. (2010). *Introduction to Operations Research* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education. Retrieved from <https://archive.org/details/IntroductionToOperationsResearch10thEd2015/page/n9/module/2up>.
- Ikhsanudin, A. (2019). *Aetra dan PAM Jaya Sepakati HoA Pengelolaan Air Jakarta*. Retrieved from <https://news.detik.com/berita/d-4507952/aetra-dan-pam-jaya-sepakati-hoa-pengelolaan-air-jakarta>.
- Indonesia.go.id. (2019). *Mengejar Pencapaian Akses 100% di 2019*. Retrieved from <https://www.indonesia.go.id/narasi/indonesia-dalam-angka/ekonomi/mengejar-pencapaian-akses-100-di-2019>.
- Indrawati, I., Eliyati, N., & Lukowi, A. (2016). Penentuan Rute Optimal pada Pengangkutan Sampah di Kota Palembang dengan Menggunakan Metode Saving Matrix. *Jurnal Penelitian Sains*, 18(3), 105–110. Retrieved from <http://ejournal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/article/view/17>.
- Iqbal, M. (2019). *Mengerikan! Kelangkaan Absolut: 2040 Krisis Air di Pulau Jawa*. Retrieved from <https://www.cnbciindonesia.com/news/20190520141416-4-73589/mengerikan-kelangkaan-absolut-2040-krisis-air-di-pulau-jawa>.
- Irwan, H., & Yuniral. (2016). Optimasi Penjadwalan Produksi dengan Metode Transportasi. *PROFIENSI*, 4(2), 79–89. Retrieved from <https://www.journal.unrika.ac.id/index.php/jurnalprofisiensi/article/view/587>.
- Jono. (2014). Penentuan Jarak Optimal Guna Meminimalkan Biaya Transportasi Menggunakan Metode Minimal Spanning Tree. *Jurnal SimanteC*, 4(1), 49–60. Retrieved from <https://eco-entrepreneur.trunojoyo.ac.id/simantec/article/view/1346>.
- Kadir, N. P. (2020). *Mewujudkan Layanan Air Minum Perpipaan*. Retrieved from <https://news.detik.com/kolom/d-4849708/mewujudkan-layanan-air-minum-perpipaan>.
- Kahfi. (2019). *Begini Sejarah Pengelolaan Air dan Proses Swastanisasi di Jakarta*. Retrieved from <https://jakarta.bisnis.com/read/20190213/77/888223/begini-sejarah-pengelolaan-air-dan-proses-swastanisasi-di-jakarta>.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Rencana Strategis 2015 - 2019*. Retrieved from <https://www.pu.go.id/source/Renstra-2015-2019.pdf>.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Direktorat Jendral Sumber Daya Air. (2019). *Majalah Air: Informasi Seputar Sumber Daya Air*, 32–33. Retrieved from <http://sda.pu.go.id/assets/uploads/bulletin/e695d-majalah-air-jan-feb-2019-perpages-min.pdf>
- Latifah, U., & Sugiharti, E. (2015). Penerapan Algoritma Prim dan Kruskal pada Jaringan Distribusi Air PDAM Tirta Moedal Cabang Semarang Utara. *UNNES Journal of Mathematics*, 4(1). Retrieved from <https://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm/article/view/7418>.
- Li, H., Mao, W., Zhang, A., & Li, C. (2016). An Improved Distribution Network Reconfiguration Method based on Minimum Spanning Tree Algorithm and Heuristic Rules. *International Journal of Electrical Power and Energy Systems*, 82, 466–473. <https://doi.org/10.1016/j.ijepes.2016.04.017>.
- Mekonnen, M. M., & Hoekstra, A. Y. (2016). Four billion people facing severe water scarcity.

- Science Advances*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1500323>.
- Mosbah, M., Arif, S., Mohammedi, R. D., & Hellal, A. (2017). Optimum Dynamic Distribution Network Reconfiguration using Minimum Spanning Tree Algorithm. In *The 5th International Conference on Electrical Engineering - Boumerdes, ICEE-B 2017* (pp. 1–6). <https://doi.org/10.1109/ICEE-B.2017.8192170>.
- Muhammad, Bakhtiar, & Rahmi, M. (2017). Penentuan Rute Transportasi Distribusi Sirup Untuk Meminimalkan Biaya. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, 6(1), 10–15. Retrieved from <https://www.journal.unimal.ac.id/miej/article/view/152>.
- Munir, R. (2010). *Matematika Diskrit*. Bandung: Informatika. Retrieved from <http://eprints.mercubuana-yogya.ac.id/469/>.
- Nurprihatin, F., Elnathan, R., Rumawan, R. E., & Regina, T. (2019). A distribution strategy using a two-step optimization to maximize blood services considering stochastic travel times. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 650(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/650/1/012043>.
- Nurprihatin, F., Octa, A., Regina, T., Wijaya, T., Luin, J., & Tannady, H. (2019). The Extension Analysis of Natural Gas Network Location- Routing Design through the Feasibility Study. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 6(2), 108–124. <https://doi.org/10.21859/ijnr-13021>.
- Nurprihatin, F., & Tannady, H. (2018). An integrated transportation models and savings algorithm to minimize distribution costs. *Proceeding of the 1st Asia Pacific Conference on Research in Industrial and Systems Engineering*. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Hendy_Tannady/publication/335231165_An_Integrated_Transportation_Models_and_Savings_Algorithm_to_Minimize_Distribution_Costs/links/5d59c6c292851cb74c7601d8/An-Integrated-Transportation-Models-and-Savings-Algorithm-to-Minimize-Distribution-Costs.pdf.
- Palyja. (2017). *Annual Report PALYJA 2017: Make it Happen Together*. Jakarta. Retrieved from <https://palyja.co.id/wp-content/uploads/2019/01/PALYJAannualreport2017.pdf>.
- Peng Hou, Weihao Hu, & Chen, Z. (2015). Offshore Wind Farm Cable Connection Configuration Optimization using Dynamic Minimum Spanning Tree Algorithm. In *2015 50th International Universities Power Engineering Conference (UPEC)* (pp. 1–6). IEEE. <https://doi.org/10.1109/UPEC.2015.7339896>.
- Pillai, A. C., Chick, J., Johanning, L., Khorasanchi, M., & De Laleu, V. (2015). Offshore Wind Farm Electrical Cable Layout Optimization. *Engineering Optimization*, 47(12), 1689–1708. <https://doi.org/10.1080/0305215X.2014.992892>.
- Pratama, A. P., Sumarno, & Darmaji. (2013). Penggunaan Algoritma Kruskal Dalam Jaringan Pipa Air Minum Kecamatan Nganjuk Kabupaten Nganjuk. *Jurnal Sains Dan Seni Pomits*, 1(1), 1–6. Retrieved from <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-paper-32489-1209100040-paper.pdf>.
- PT Aetra Air Jakarta. (2019a). *Bagaimana Cara Jadi Pelanggan Aetra*. Retrieved from https://www.aetra.co.id/info_pelanggan.
- PT Aetra Air Jakarta. (2019b). *Capaian Kinerja PT Aetra Air Jakarta Sampai 2018*. Retrieved from <https://www.aetra.co.id/berita/detail/214/CAPAIAN-KINERJA-PT-AETRA-AIR-JAKARTA-SAMPAI-2018>.
- PT Aetra Air Jakarta. (2019c). *Profil Perusahaan AETRA*. Retrieved from https://www.aetra.co.id/profil_perusahaan.
- PT PAM Lyonnaise Jaya. (2019a). *Lembar Fakta PALYJA 2018*. Jakarta. Retrieved from <https://palyja.co.id/id/lembar-fakta-2/>.
- PT PAM Lyonnaise Jaya. (2019b). *Sejarah PALYJA*. Retrieved from <https://palyja.co.id/id/sejarah-palyja/>.
- Rembulan, G. D., & Nurprihatin, F. (2019). Desain Jaringan Distribusi Raskin dengan Fuzzy Analytical Network Process untuk Meminimalkan Biaya Transportasi. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Dan Teknologi Kejuruan*, 263–268. Retrieved from http://seminars.unj.ac.id/snptk2019/wp-content/uploads/2019/06/BUKU-SEMINAR-SNPTK-2019_Final_UPDATE.pdf.
- Ridha, M. R., Abdi, C., & Mahyudin, R. P. (2016). Studi Optimasi Rute Pengangkutan Sampah Kota Marabahan Dengan Sistem Informasi Geografis. *Jukung*, 2(2), 38–51. <http://dx.doi.org/10.20527/jukung.v2i2.2310>.
- Riswan. (2018). Penentuan Jarak Minimum dalam Suatu Jaringan Listrik dengan Algoritma Prim dan QM for Windows (Studi Kasus Pada Perumahan Nelayan di Kota Palopo). *Al-Khwarizmi: Jurnal Pendidikan*

- Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 6(1), 77–88.
<https://doi.org/10.24256/jpmipa.v6i1.460>.
- Rizki, S. (2012). Penerapan Teori Graf Untuk Menyelesaikan Masalah Minimum Spanning Tree (MST) Menggunakan Algoritma Kruskal. *AKSIOMA Journal of Mathematics Education*, 1(2).
<https://doi.org/10.24127/ajpm.v1i2.68>.
- Said, S. (2019). *Perluas Cakupan Layanan Air Bersih, Perumda Air Minum Tirta Raharja Gandeng Swasta*. Retrieved from <https://jabar.sindonews.com/berita/9268/1/perluas-cakupan-layanan-air-bersih-perumda-air-minum-tirta-raharja-gandeng-swasta>.
- Sarjono, H. (2014). Determination of Best Route to Minimize Transportation Costs Using Nearest Neighbor Procedure. *Applied Mathematical Sciences*, 8(62). Retrieved from <https://research.binus.ac.id/publication/7DC21113-DB1B-477F-8492-076931314F5D/determination-of-best-route-to-minimize-transportation-costs-using-nearest-neighbor-procedure/>.
- Setiawan, H. D., Haribowo, R., & Ismoyo, M. J. (2019). Perencanaan Sistem Jaringan Pipa Distribusi Air Bersih di Desa Tegalsari Kecamatan Kepanjen Kabupaten Malang. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 2(2), 1–8. Retrieved from <http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/404>.
- Setiawan, M. H., Imrona, M., & Murdiansyah, D. T. (2017). Optimasi Rute Angkutan Kota Secara Simultan Menggunakan Algoritma Exhaustive Search (Studi Kasus Sepuluh Trayek Kota Bandung). *Indonesian Journal of Computing*, 2, 47–54.
<https://doi.org/10.21108/indojc.2017.22.178>.
- Setyono, H. S., & Prayogo, T. B. (2018). Analisis Kelayakan Ekonomi untuk Penentuan Harga Air pada Jaringan Penyediaan Air Bersih di Desa Kertosari Kecamatan Purwosari Kabupaten Pasuruan. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan*, 1(2). Retrieved from <http://pengairan.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmtp/article/view/58>.
- SM, A. I., Ekawati, R., & Febriana, N. (2017). Optimalisasi Rute Distribusi Air Minum Quelle Dengan Algoritma Clarke & Wright Saving Dan Model Vehicle Routing Problem. In *Seminar Nasional Inovasi dan Aplikasi Teknologi di Industri* (pp. 1–7). Retrieved from <https://ejournal.itn.ac.id/index.php/seniati/article/view/1573>.
- Sutikno, Rispiningtati, & Prayogo, T. B. (2014). Studi Kelayakan Ekonomi Sistem Jaringan Air Bersih Hipam Kelurahan Dadaprejo Kecamatan Junrejo Kota Batu. *Jurnal Pengairan*, 248–258. Retrieved from <https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jt/article/view/297>.
- Wahyu, R., Samanhudi, D., & Akmal. (2018). Penentuan Rute Distribusi Produk Gas untuk Meminimumkan Biaya Distribusi dengan Metode Clarke & Wright Saving di CV. Surya Inti Gas. *Journal of Industrial Engineering and Management*, 13(01), 84–91.
<https://doi.org/10.33005/tekmapro.v13i1.64>.
- Wattimena, A. Z., & Lawalata, S. (2013). Aplikasi Algoritma Kruskal Dalam Pengoptimalan Panjang Pipa. *Jurnal Barekeng*, 7(2), 13–18. Retrieved from <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/barekeng/article/view/251>.
- Windarto, A. P., & Sudirman. (2018). Penerapan Algoritma Semut dalam Penentuan Distribusi Jalur Pipa Pengolahan Air Bersih. *Jurnal Sistem Informasi Bisnis*, 02, 123–132.
<https://doi.org/10.21456/vol8iss2pp123-132>.
- Wulandari, D. A. R., & Arifin, F. N. (2018). Penentuan Rute Terpendek Kruskal Distribusi Air Artesis Menggunakan Kruskal. *J-SAKTI (Jurnal Sains Komputer Dan Informatika)*, 2(2), 121. <https://doi.org/10.30645/j-sakti.v2i2.72>.