



Modifikasi Algoritma Edmonds Karp untuk Menentukan Aliran Maksimum Pada Jaringan Distribusi Air PDAM (Studi Kasus Jaringan Telaga Sari PDAM Giri Menang Mataram)

Husnul Hotimah^a, Syamsul Bahri^{b,*}, Lailia Awalushaumi^c

^a Universitas Mataram, Jl. Majapahit No 62, Mataram, Indonesia. 83125. E-mail: hhotimah300@gmail.com

^b Universitas Mataram, Jl. Majapahit No 62, Mataram, Indonesia. 83125. E-mail: syamsul.math@unram.ac.id

^c Universitas Mataram, Jl. Majapahit No 62, Mataram, Indonesia. 83125. E-mail: awalushaumi@yahoo.co.id

ABSTRACT

Clean water is the main and basic need for humans which is of concern to the government. Distribution network system is a very important part to delivering water to all consumers. The lack of water discharge distribution in several areas, especially at the end of the pipeline service, is caused by not optimal water distribution, the flow rate of source and leak in pipeline effect. This research has to analyze the optimal network model and determine the maximum flow rate from the PDAM pipeline using modified Edmonds Karp algorithm. Modified Edmonds Karp algorithm is a method for calculating maximum flow of a network. Based on analysis of modified Edmonds Karp algorithm there is a less efficient use of pipe in PDAM network and result of maximum flow from the network is 202,30 liter/second. This means it can be adding flow discharge to the water distribution pipe by PDAM for expedite the flow to consumer with the addition of flow should not exceed 202,30 liter/second.

Kata kunci: Edmonds Karp algorithm, flow network, maximum flow, modified Edmonds Karp algorithm

ABSTRAK

Air bersih merupakan kebutuhan utama dan mendasar bagi manusia yang menjadi perhatian pemerintah. Sistem jaringan distribusi merupakan bagian yang sangat penting untuk menyalurkan air bersih ke seluruh pelanggan. Kurangnya debit air yang tersalurkan pada beberapa wilayah terutama di ujung pelayanan pipa PDAM disebabkan oleh tidak optimalnya pendistribusian air bersih akibat rendahnya debit sumber yang dialirkan dan kebocoran pada pipa. Penelitian ini menganalisis model jaringan yang optimal dan menentukan debit aliran maksimum dari pipa PDAM menggunakan algoritma Edmonds Karp yang dimodifikasi. Algoritma Edmonds Karp yang dimodifikasi adalah metode untuk menghitung aliran maksimum suatu jaringan. Berdasarkan analisis algoritma Edmonds Karp yang dimodifikasi terdapat penggunaan pipa yang kurang efisien pada jaringan PDAM dan hasil aliran maksimum dari jaringan tersebut adalah 202,30 liter/detik. Artinya dapat dilakukan penambahan debit aliran ke pipa distribusi air oleh PDAM untuk memperlancar aliran ke konsumen dengan penambahan debit tidak boleh melebihi 202,30 liter/detik.

Keywords: jaringan pipa, aliran maksimum, algoritma Edmonds Karp, modifikasi Edmonds Karp

Diserahkan: 24-05-2022; Diterima: 30-12-2023;

Doi: <https://doi.org/10.29303/emj.v6i2.134>

* Corresponding author.

Alamat e-mail: Syamsul.math@unram.ac.id

Pendahuluan

Air bersih merupakan kebutuhan utama dan mendasar bagi manusia yang menjadi perhatian pemerintah. Salah satu tugas pemerintah yang tertuang dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 14 Tahun 2010 tentang pelayanan minimum yaitu dapat memenuhi kebutuhan dasar masyarakat, yang tercakup di dalamnya menyediakan pelayanan minimal air bersih bagi masyarakat (Djohan, 2011).

Sistem jaringan distribusi merupakan bagian yang sangat penting untuk menyalurkan air bersih ke seluruh pelanggan. Kurangnya aliran air akan berpengaruh terhadap kurangnya ketersediaan air bersih yang tersalurkan pada pelanggan. Masalah umum yang terjadi adalah dimana distribusi air tidak dapat dilakukan 24 jam yang artinya sebagian daerah pelayanan tidak bisa dialiri air pada waktu-waktu tertentu. Sementara kondisi yang diinginkan adalah ketersediaan air secara terus menerus (Rivai dkk., 2006).

Sumber utama air bersih diperoleh melalui pendistribusian air bersih dari PDAM. Rendahnya debit air yang tersalurkan pada beberapa wilayah terutama di ujung pelayanan pipa PDAM disebabkan oleh tidak optimalnya pendistribusian air bersih akibat rendahnya debit sumber yang dialirkan (Aji dkk., 2017). Selain itu, berdasarkan hukum Poiseuille bahwa debit aliran yang dialirkan berbanding lurus dengan selisih tekanan pada kedua ujung pipa, sehingga semakin besar debit aliran yang dikeluarkan maka semakin besar pula tekanan pada ujung pipa. Tekanan berhubungan dengan kebocoran, semakin tinggi tekanan, semakin tinggi kebocoran. Pengelolaan tekanan bisa mengurangi frekuensi pipa pecah, karena fluktuasi tekanan yang tinggi dan bisa memperpanjang umur pipa. Oleh karena itu, diperlukan kontrol terhadap terhadap debit maksimum yang dialirkan dari pipa PDAM (Ardana, 2012)

Permasalahan aliran maksimum merupakan permasalahan optimasi yang memiliki tujuan mencari aliran maksimum yang dapat mengalir pada jaringan dari sumber ke tujuan (Mallick dkk., 2016). Algoritma pertama yang digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran maksimum pada jaringan diperkenalkan oleh Lester R. Ford and Delbert R. Fulkerson pada tahun 1955, yang kemudian dikenal sebagai algoritma *Ford*

Fulkerson. Perbaikan dari algoritma *Ford Fulkerson* adalah algoritma *Edmonds Karp*. Dalam algoritma *Edmonds Karp*, lintasan penambah yang dipilih merupakan lintasan penambah terpendek. Lintasan penambah merupakan lintasan dari simpul sumber ke simpul tujuan yang belum maksimum (Shankar dkk., 2014). Kemudian dilakukan modifikasi cara mengidentifikasi lintasan penambah, diantara penelitian sebelumnya dilakukan Jain dan Garg (2012) kemudian Khan dkk. (2013). Modifikasi selanjutnya diperoleh bahwa modifikasi *Edmonds Karp* dalam menyelesaikan masalah aliran maksimum lebih cepat dan memberikan jumlah iterasi dan lintasan penambah yang sedikit dibandingkan dengan modifikasi yang dilakukan peneliti sebelumnya (Ahmed dkk., 2014).

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mencari model jaringan optimal dan aliran maksimal pada jaringan distribusi air bersih Telaga Sari PDAM Giri Menang Mataram dengan menggunakan modifikasi algoritma *Edmonds Karp*.

Landasan Teori

Permasalahan jaringan pada umumnya dikelompokkan menjadi tiga macam, yaitu: permasalahan rute terpendek, permasalahan minimasi jaringan dan permasalahan aliran maksimum. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini adalah permasalahan aliran maksimum. Secara sederhana masalah aliran maksimum dapat dideskripsikan sebagai masalah mencari nilai maksimum seluruh aliran yang dapat mengalir pada sebuah sistem jaringan.

Aliran (*Flow*) pada jaringan

Secara matematis, model aliran pada jaringan dapat di representasikan sebagai berikut: Misalkan $G = (V, E)$ adalah sebuah jaringan. Jika v adalah sebuah titik di G , maka himpunan semua busur G yang keluar dari titik v dilambangkan $O(v)$ dan himpunan semua busur G yang menuju titik v dilambangkan dengan $I(v)$. C_{ij} adalah kapasitas pada sisi berarah (i, j) , aliran dalam jaringan pada setiap sisi berarah (i, j) adalah bilangan non negatif f_{ij} , dengan simpul sumber s dan t merupakan simpul tujuan. sedemikian sehingga (Johnsonbaugh, 1941):

a) $f_{ij} \leq C_{ij}$ dinamakan kendala kapasitas.

* Corresponding author.

Alamat e-mail: Syamsul.math@unram.ac.id

$$b) \sum_{(i,j) \in O(v)} f_{ij} = \sum_{(i,j) \in I(v)} f_{ji}, \quad \forall v \in V - \{s, t\}$$

dinamakan kendala aliran.

Residual Network

Residual network merupakan sebuah jaringan yang sisinya merupakan kapasitas sisa. Nilai aliran yang digunakan untuk menambah arus pada busur maju dan mengurangi busur mundur disebut kapasitas sisa (Δ), didefinisikan sebagai berikut (Mallick dkk., 2016):

$$\Delta = \begin{cases} C_{ij} - f_{ij}, & (i, j) \text{ busur maju} \\ f_{ij}, & (i, j) \text{ busur mundur} \end{cases}$$

Pada setiap busur lintasan penambah yang terpilih dilakukan penambahan nilai aliran pada setiap busur mundur dan pengurangan nilai aliran pada setiap busur maju. Nilai aliran tersebut ditentukan sebagai berikut:

- 1) Hitung kapasitas sisa yaitu $C_{ij} - f_{ij}$
- 2) Nilai aliran adalah nilai minimum dari setiap busur lintasan penambah terpilih.

$$c_f(P) = \min \{c_f(u, v) | (u, v) \text{ busur pada } P\}$$

Modifikasi algoritma Edmonds Karp

Modifikasi algoritma Edmonds Karp diberikan oleh langkah-langkah berikut ini (Mallick, 2016):

- 1) Tentukan *residual network* dari N .
- 2) Inisialisasi aliran untuk setiap busur (i, j) pada N sebesar nol ($f_{ij} = 0$).
- 3) Hitung nilai $I = 3^{\lceil \log_3 C \rceil}$, C merupakan kapasitas terbesar pada busur.
- 4) Jika $I \geq 1$, identifikasikan suatu lintasan penambah pada *residual network* dengan menggunakan Algoritma BFS (*Breadth First Search*) dengan kapasitas busurnya lebih besar atau sama dengan nilai I . Jika ada lintasan penambah lanjutkan ke langkah 6 dan 7. Jika tidak ada lanjut ke langkah 5.
- 5) Hitung Nilai $I_2 = \frac{I}{3}$, identifikasikan suatu lintasan penambah pada *residual network* dengan menggunakan Algoritma BFS (*Breadth First Search*) dengan kapasitas busur terkecilnya adalah I_2 .
- 6) Tentukan aliran lintasan penambah tersebut.
- 7) Tambahkan aliran ke setiap busur pada lintasan penambah tersebut.
- 8) Jika masih ada lintasan penambah yang lain, ulangi langkah 5 sampai dengan langkah 7. Jika tidak ada lintasan penambah yang lain, hitung aliran pada setiap busur.

Prinsip Dasar Aliran pada Pipa

Menurut Triatmojo dalam [12] aliran pada pipa merupakan aliran tertutup dimana fluida dialirkan secara penuh ke penampang saluran. Jumlah aliran yang mengalir melalui lintang aliran tiap satuan waktu disebut debit aliran, yang secara matematis dapat ditulis dengan persamaan:

$$Q = A \times v, \quad (1)$$

dengan:

Q : Debit (m^3/detik)

A : Luas Penampang (m^2)

v : Kecepatan aliran (m/detik)

Jika aliran pada setiap penampang dengan kondisi tidak ada kebocoran maka berlaku bahwa debit setiap potongan akan selalu sama. Menurut Triatmojo dalam [12] berdasarkan persamaan kontinuitas untuk pipa bercabang, debit aliran yang menuju titik cabang harus sama dengan debit yang meninggalkan titik tersebut, yang secara matematis dapat ditulis dengan persamaan:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3 \quad (2)$$

$$A_1 \times v_1 = A_2 \times v_2 + A_3 \times v_3 \quad (3)$$

dengan:

Q_1 : Debit masuk (m^3/detik)

Q_2 : Debit keluar pada pipa 1 (m^3/detik)

Q_3 : Debit keluar pada pipa 2 (m^3/detik)

A : Luas Penampang (m^2)

v : Kecepatan aliran (m/detik)

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menentukan aliran maksimum pada jaringan distribusi Telaga Sari PDAM Giri Menang Mataram menggunakan modifikasi algoritma Edmonds Karp. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari Perusahaan Daerah Air Minum Giri Menang Mataram. Data tersebut adalah titik perpotongan pipa dan ujung-ujung pipa serta kapasitas pipa penghubungnya. Adapun langkah-langkah dari penelitian ini adalah:

1. Studi Literatur
2. Mengumpulkan Data
3. Menentukan Simpul

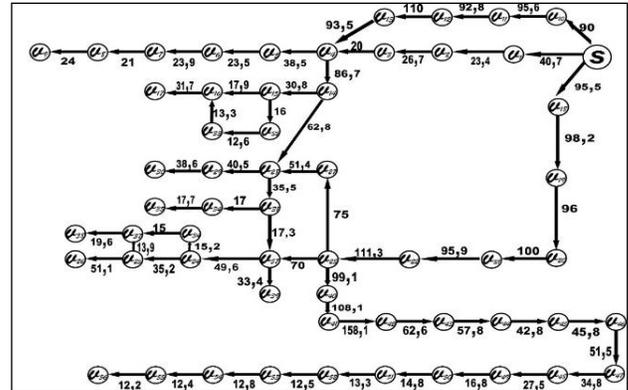
4. Menentukan Sisi
5. Memodelkan Graf dari Data
6. Menerapkan Modifikasi algoritma Edmonds Karp
7. Analisis dengan bantuan *software*
8. Menarik simpulan

Hasil Penelitian

Jaringan Pendistribusian air bersih Telaga Sari Kota Mataram dapat dimodelkan ke dalam model graf berarah dan terbobot. Pada model tersebut, simpul merepresentasikan titik perpotongan pipa dan ujung-ujung pipa, simpul sumber adalah reservoir air bak 2 Telaga Sari yang berada di Kecamatan Narmada. Sedangkan simpul tujuan dari jaringan ini adalah titik-titik ujung dari pipa PDAM. Selanjutnya, busur merepresentasikan pipa yang menghubungkan perpotongan dan ujung-ujung pipa. Bobot dari sisi ini adalah kapasitas pipa dalam satuan liter per detik.

Jaringan pipa Telaga sari PDAM Giri Menang dapat direpresentasikan dengan graf yang terdiri atas 57 simpul dan 62 sisi. Jaringan alir (*network flow*) dari pendistribusian air bersih Telaga Sari dapat dilihat pada Gambar 1. Permasalahan aliran maksimum merupakan permasalahan aliran yang berawal dari satu simpul sumber dan berakhir pada satu simpul tujuan (*sink*), maka penyusunan model graf jaringan pendistribusian air PDAM dilakukan penambahan sebuah *supersink* v_s atau *virtual sink* yang dihubungkan dengan sisi-sisi *dummy* dengan simpul tujuan yang sebenarnya, di mana bobot dari sisi *dummy* ini harus lebih besar atau sama dengan bobot sisi terbesar dalam jaringan. Pada penelitian ini bobot terbesar sama dengan 158,1 liter/detik. Dengan memberikan bobot sisi yang terhubung dengan *virtual sink* cukup besar yaitu 160 liter/detik.

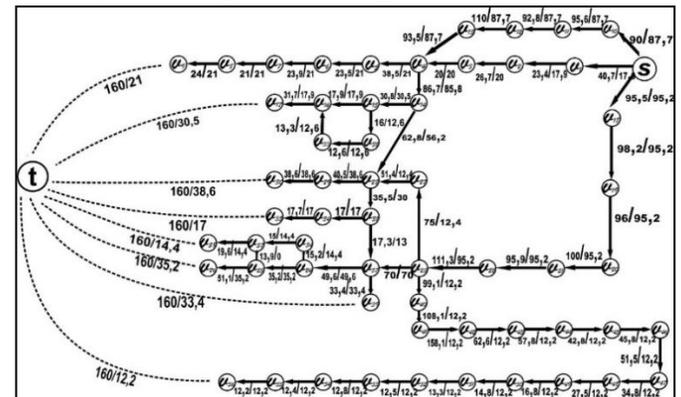
Berdasarkan hasil modifikasi algoritma Edmonds Karp diperoleh hasil aliran maksimum sebesar 202,30 liter/detik dengan total jumlah iterasi sebanyak 5 iterasi. Sedangkan total jumlah iterasi dengan menggunakan *software WinQSB* sebanyak 23 iterasi dan aliran maksimum sebesar 202,30 liter/detik. Hal ini menunjukkan bahwa debit yang mengalir pada jaringan pendistribusian air bersih Telaga Sari Kota Mataram akan maksimum jika dialirkan air sebesar 202,30 liter/detik. Jaringan optimal diberikan oleh Gambar 2.



Gambar 1. Jaringan pendistribusian air bersih Telaga Sari

Aliran Maksimum dengan Bantuan Software WinQSB

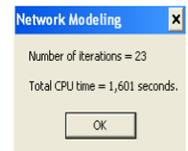
Penentuan aliran maksimum dengan menggunakan alat bantu *software WinQSB* diberikan pada Tabel 1.



Gambar 2. Jaringan optimal menggunakan modifikasi Edmonds Karp

Tabel 1. Output aliran maksimum oleh WinQSB

	From	To	Net Flow	From	To	Net Flow	
13	V9	T	21	48	V37	V38	14,4
14	V10	V11	87,7	49	V38	T	14,4
15	V11	V12	87,7	50	V39	T	33,4
16	V12	V13	87,7	51	V40	V41	12,2007
17	V13	V4	87,7	52	V41	V42	12,2007
18	V14	V15	30,5	53	V42	V43	12,2007
19	V14	V28	56,2	54	V43	V44	12,2007
20	V15	V16	17,9	55	V44	V45	12,2007
21	V15	V32	12,6	56	V45	V46	12,2007
22	V16	V17	30,5	57	V46	V47	12,2007
23	V17	T	30,5	58	V47	V48	12,2007
24	V18	V19	94,6008	59	V48	V49	12,2007
25	V19	V20	94,6008	60	V49	V50	12,2007
26	V20	V21	94,6008	61	V50	V51	12,2005
27	V21	V22	94,6008	62	V51	V52	12,2003
28	V22	V23	94,6008	63	V52	V53	12,2001
29	V23	V27	12,4001	64	V53	V54	12,2001
30	V23	V40	12,2007	65	V54	V55	12,2001
31	V23	V57	70	66	V55	V56	12,2
32	V24	V25	35,2	67	V56	T	12,2002
33	V24	V36	14,4	68	V57	V24	49,6
34	V25	V26	35,2	69	V57	V39	33,4
35	V26	T	35,2				
Total	Net Flow	From	S	To	T	=	202,30



- Rivai, Y., Masduki, A. dan Marsono, B.D., 2006, Evaluasi Sistem Distribusi dan Rencana Peningkatan Pelayanan Air Bersih PDAM Kota Gorontalo, Jurnal SMARTek, Vol. 4, No. 2, pp 126-134.
- Shankar, H., dkk., 2014, Development of GIS Tool for the Solution of Maximum Flow Problem Using Ford Fulkerson and Edmonds Karp Algorithms, Journal Computer Science and Applications, Vol. 1, pp 217-231.
- Wigati R., Maddeppungeng A., Krisnanto I., Studi Analisis Kebutuhan Air Bersih Pedesaan Sistem Gravitasi Menggunakan Software Epanet 2.0, Jurnal Konstruksia, Vol. 6(2).