

OPTIMALISASI PENDISTRIBUSIAN AIR DI PERUMDAM AMONG TIRTO KOTA BATU MENGGUNAKAN ALGORITMA PADA *MAXIMUM FLOW* DENGAN ALAT BANTU GIDEN DAN GRIN

Wafiq Rivanisatul Nikmah^{1*}, Candra Ayu Dianita², Melisa Dewi Anggraini³, Siti Muanifah⁴, Sapti Wahyuningsih⁵

Program Studi Matematika, Universitas Negeri Malang, wafiq.rivanisatul.2003126@students.um.ac.id¹

Program Studi Matematika, Universitas Negeri Malang, candra.ayu.2003126@students.um.ac.id²

Program Studi Matematika, Universitas Negeri Malang, melisa.dewi.2003126@students.um.ac.id³

Program Studi Matematika, Universitas Negeri Malang, siti.muanifah.2003126@students.um.ac.id⁴

Program Studi Matematika, Universitas Negeri Malang, sapti.wahyuningsih.fmipa@um.ac.id⁵

*Email : wafiq.rivanisatul.2003126@students.um.ac.id¹

Abstrak

Permasalahan pendistribusian air dari Sumber Torong Belok sampai daerah Junrejo di Perumdam Among Tirta Kota Batu merupakan salah satu contoh kasus permasalahan *maximum flow*. Permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana mengoptimalkan aliran air pada pipa dan mengidentifikasi kebocoran melalui perhitungan arus maksimum dan kapasitas aliran maksimum air pada pipa menggunakan Algoritma Augmenting Path dan Capacity Scaling. Pencarian arus dan kapasitas aliran maksimum dimulai dengan memodelkan jaringan pipa sebagai network dengan sumber dan layanan sebagai titik, pipa yang menghubungkan sumber dan layanan sebagai sisi, serta arus dan kapasitas aliran maksimum sebagai bobot. Kemudian arus maksimum dan kapasitas aliran maksimum dihitung dengan alat bantu Giden dan Grin, serta perhitungan manual melalui langkah-langkah algoritma. Pencarian arus dan kapasitas aliran maksimum menunjukkan hasil bahwa arus maksimum lebih kecil daripada kapasitas aliran maksimum. Hal ini berarti bahwa arus air dari Sumber Torong Belok ke Junrejo mengalir secara normal dan tidak terjadi kebocoran. Namun, perlu dilakukan pengoptimalan pendistribusian dengan cara menambah arus pada Sumber Torong Belok untuk mengatasi debit air yang kecil.

Kata kunci: *Augmenting Path, Capacity Scaling, Maximum Flow, Network*

PENDAHULUAN

Kuantitas air yang kecil merupakan permasalahan yang sering dikeluhkan oleh pelanggan Perumdam Among Tirta Kota Batu. Sebagai salah satu layanan Perumdam Among Tirta Kota Batu, Junrejo merupakan daerah yang sering mengalami kekurangan air. Letak daerah Junrejo yang jauh dari Sumber Torong Belok menyebabkan debit air yang keluar atau air yang diterima pelanggan sangat kecil. Hal ini disebabkan karena penggunaan air dengan intensitas besar. Jika penggunaan intensitas air besar, maka akan menyebabkan layanan yang letaknya jauh dari tandon dan sumber mengalami kekurangan air. Selain itu, aliran air yang kecil juga disebabkan oleh adanya indikasi kebocoran pada pipa. Penyebab terjadinya kebocoran di antaranya adalah jaringan pipa yang putus akibat jembatan yang roboh, tanah longsor, dan lainnya. Kebocoran pipa juga bisa disebabkan oleh arus air yang melebihi kapasitas aliran maksimum pada pipa. Apabila penggunaan air kecil, maka arus akan kembali menuju tandon. Sedangkan air yang keluar dari tandon akan terus mengalir menuju layanan. Jika debit air yang mengalir besar dan aliran ini bertemu pada satu titik, di mana kapasitas pada titik tersebut sudah melampaui batas, maka pipa akan meledak dan terjadilah kebocoran karena tekanan air yang tinggi. Oleh karena itu, penyesuaian keseimbangan antara kapasitas maksimum pipa dan arus maksimum yang mengalir harus diperhatikan agar pendistribusian air dapat optimal, tidak terjadi kekurangan air maupun kebocoran pada pipa.

Dalam Ilmu Matematika, penerapan teori *Graph* dapat digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dalam kehidupan sehari-hari, salah satunya adalah *maximum flow*. *Maximum flow* berhubungan dengan permasalahan arus dan kapasitas maksimum. *Maximum flow* adalah suatu metode penerapan teori *graph*, yaitu mencari arus maksimum yang mengalir pada suatu jaringan (*network*) dari titik sumber (*source*) ke titik tujuan (*sink*). Permasalahan *maximum flow* dapat dinyatakan sebagai permasalahan mengalirkan arus maksimum pada suatu jaringan berkapasitas di antara dua titik, yaitu titik sumber (*source*) dan titik tujuan (*sink*) tanpa melebihi kapasitas tersebut [1]. Menurut Abdullah (2017), *maximum flow problem* dapat didefinisikan sebagai permasalahan dalam mencari suatu arus maksimum yang mengalir pada suatu *network* yang memiliki sebuah titik sumber dan sebuah titik tujuan [2].

Beberapa literatur yang membahas tentang *maximum flow* adalah Suvak [3], Bonami [4], Paithankar [5], Nazemi [6], Cekyay [7], Omar [8], Li [9], Tlas [10], Chaerani [11]. Pada laporan ini, metode *maximum*

flow digunakan untuk memecahkan masalah pada pendistribusian air ke layanan-layanan di Perumdam Among Tirta Kota Batu dengan cara membandingkan kapasitas dan arus maksimum yang diperoleh dari hasil perhitungan. Algoritma-algoritma pada *maximum flow*, di antaranya adalah Algoritma *Dijkstra* dan Algoritma *Ford-Fulkerson* [12], Algoritma *Cloning-Based* [13], dan Algoritma *Preflow-Push* [14].

Berdasarkan Setyoningsih (2016), permasalahan *maximum flow* yang diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Edmonds Karp* dan Algoritma *Cloning-Based* memberikan hasil bahwa Algoritma *Edmonds Karp* lebih baik daripada Algoritma *Cloning-Based* karena Algoritma *Edmonds Karp* menghasilkan nilai *maximum flow* yang lebih besar [15]. Literatur lain [16] menyebutkan permasalahan *maximum flow* yang diselesaikan dengan Algoritma *Ford-Fulkerson* dan modifikasinya mendapatkan hasil bahwa modifikasi Algoritma *Ford-Fulkerson* memberikan hasil yang lebih baik karena nilai *maximum flow* yang lebih besar. Sedangkan pada laporan ini, masalah *maximum flow* diselesaikan dengan menggunakan Algoritma *Augmenting Path* dan Algoritma *Capacity Scaling* yang kemudian masing-masing algoritma diimplementasikan dalam program Giden dan Grin. Hasil dari kedua algoritma ini diharapkan dapat memberikan nilai *maximum flow* yang sama.

Pada proses penyelesaiannya, sistem pelayanan air di Perumdam Among Tirta Kota Batu dimodelkan sebagai jaringan (*network*) berbobot. Nama sumber, nama tandon, dan nama layanan merepresentasikan sebuah titik pada *graph*, sedangkan sisi pada *graph* direpresentasikan oleh pipa yang menghubungkan tandon ke layanan-layanan untuk pendistribusian air. Bobot pada masing-masing sisi diperoleh dari kapasitas pipa pada jaringan dan arus atau debit air yang mengalir pada jaringan. Untuk mendapatkan arus dan kapasitas maksimum, terlebih dahulu ditentukan sebuah titik awal dan juga titik tujuan. Kemudian dihitung menggunakan alat bantu program Giden dan Grin. Apabila arus yang mengalir lebih kecil daripada kapasitas aliran maksimum pipa yang digunakan, maka dapat dinyatakan bahwa air mengalir dengan normal dan tidak terjadi kebocoran pada pipa. Oleh karena itu, laporan dengan judul **“Optimalisasi Pendistribusian Air di Perumdam Among Tirta Kota Batu Menggunakan Algoritma pada *Maximum Flow* dengan Alat Bantu Giden dan Grin”** disusun dengan tujuan untuk mengetahui dan mengidentifikasi indikasi kebocoran serta pengoptimalan aliran air pada pipa.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian deskriptif kuantitatif melalui penelitian langsung ke lapangan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan dan studi literatur pada jurnal ilmiah, kajian buku yang berkaitan dengan *maximum flow* beserta Algoritma *Augmenting Path* dan Algoritma *Capacity Scaling*. Selanjutnya memodelkan permasalahan *maximum flow* menjadi suatu *network*, dimana sumber, tandon, dan layanan sebagai titik. Sedangkan pipa yang menghubungkan sumber, tandon, dan layanan sebagai sisi. Kemudian, arus air dan kapasitas aliran maksimum pada pipa sebagai bobot. Pencarian arus dan kapasitas dilakukan dengan menentukan titik awal, yaitu Sumber Torong Belok dan titik tujuan, yaitu Layanan Junrejo. Kemudian, akan dihitung kapasitas dan arus dengan alat bantu program Giden dan Grin. Data pada penelitian ini diperoleh dari penelitian langsung ke Perumdam Among Tirta Kota Batu mulai tanggal 24 Januari 2023 – 19 Mei 2023.

Maximum Flow

Permasalahan *maximum flow* dapat didefinisikan sebagai mengalirkan suatu aliran di antara dua titik, titik sumber s dan titik tujuan t tanpa melebihi kapasitas dari setiap sisi pada jaringan (*network*) berkapasitas. Untuk mendefinisikan permasalahan *maximum flow*, ditentukan dua titik khusus, yaitu titik sumber s dan titik tujuan t . Kemudian akan dicari arus maksimum yang mengalir dari titik sumber ke titik tujuan dengan memerhatikan kapasitas sisi dan bobot di semua simpul.

Menurut Rosen dan Michael (2000), definisi *maximum flow* adalah misalkan $G = (V, E)$ adalah sebuah jaringan berarah dengan himpunan titik V dan himpunan sisi E , dimana setiap sisi $(i, j) \in E$ memiliki kapasitas $u_{ij} \geq 0$, sehingga jaringan ini dinamakan jaringan berkapasitas [17].

Misalkan $n = |V|$ dan $m = |E|$, andaikan s adalah sebuah titik sumber dan t adalah titik tujuan. Maka arus adalah fungsi $x = (x_{ij})$ yang didefinisikan oleh sisi $(i, j) \in E$ yang memenuhi:

- Keseimbangan kendala masa: $\sum_{\{j|(i,j) \in E\}} x_{ij} = \sum_{\{j|(j,i) \in E\}} x_{ji} \quad \forall i \in V - \{s, t\}$
Artinya, untuk semua titik i (selain titik sumber dan titik tujuan) total arus yang keluar dari i sama dengan arus yang masuk ke i .
- Kapasitas kendala: $0 \leq x_{ij} \leq u_{ij}, \forall (i, j) \in E$
Artinya, arus yang ada pada setiap sisi tidak melebihi kapasitas yang ditentukan.

Nilai dari arus x adalah $v = \sum_{\{j|(s,j) \in E\}} x_{sj}$, dimana merupakan total dari arus yang meninggalkan titik sumber. *Maximum flow* adalah aliran atau arus yang memiliki nilai maksimum. Untuk sebarang aliran $(s - t)$, arus yang keluar dari s sama dengan arus yang masuk ke t ;

$$\sum_{\{j|(s,j) \in E\}} x_{sj} = v = \sum_{\{j|(j,t) \in E\}} x_{jt}$$

Pada permasalahan *maximum flow*, arus x_{ij} pada sisi (i, j) bisa merepresentasikan banyaknya kendaraan (per jam) yang melintasi jalan raya, volume yang dipompa masuk melalui pipa sistem distribusi, volume air yang mengalir pada jaringan pipa pelayanan air, jumlah pesan per satuan waktu yang dapat dikirim bersama link data dalam sistem komunikasi.

Algoritma Augmenting Path

Algoritma *Augmenting Path* (lintasan penambah) adalah lintasan berarah dari titik sumber (*source*) ke titik tujuan (*sink*) pada jaringan *residual*. Kapasitas *residu* pada lintasan penambah adalah kapasitas minimum *residu* dari setiap sisi berarah pada lintasan. Adapun langkah-langkah dalam Algoritma *Augmenting Path* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan suatu lintasan penambah
2. Menentukan nilai minimum kapasitas semua sisinya, dinotasikan dengan Δ .
3. Jika sudah ditentukan, operasikan Δ dengan kapasitas sisi lintasan penambah tersebut, yaitu:

$$C_{ij} * = C_{ij} \Delta \text{ dan } C_{ji} * = C_{ji} \Delta$$

dengan

- ij : sisi berarah pada lintasan penambah
- ji : sisi berarah kebalikan dari sisi ij
- C_{ij} : kapasitas sisi ij sebelum iterasi ke n
- C_{ji} : kapasitas sisi ji sebelum iterasi ke n
- $C_{ij} *$: kapasitas sisi ij setelah iterasi ke n
- $C_{ji} *$: kapasitas sisi ji setelah iterasi ke n

Ulangi langkah 1 – 3 sampai tidak ditemukan lintasan penambah yang lain.

4. Hitung aliran dari jaringan berarah asli, yaitu:

$$F_{ij} = C_{ij} - C_{ij} *, \text{ dengan}$$

- F_{ij} : aliran sisi ij pada jaringan berarah asli.
- C_{ij} : kapasitas sisi ij pada jaringan berarah asli.
- $C_{ij} *$: kapasitas sisi ij pada jaringan berarah sisa iterasi terakhir.

Algoritma Capacity Scaling

Berdasarkan buku *Network Flows* [18], ide di balik Algoritma *Capacity Scaling* secara konseptual sederhana yaitu dengan menambahkan aliran sepanjang lintasan dengan suatu kapasitas sisa yang relatif besar. Algoritma ini dimulai dengan menginisialisasi semua aliran dengan nol. Kemudian lanjutkan dengan pencarian dengan data kapasitas terbesar.

Untuk mendefinisikan Algoritma *Capacity Scaling*, menggunakan parameter Δ yang berhubungan dengan aliran yang diketahui x , kemudian mendefinisikan Δ -*residual network* sebagai jaringan yang memuat sisi berarah (*arcs*) dengan kapasitas *residu* paling sedikit adalah Δ . Misalkan $G(x, \Delta)$ menunjukkan Δ -*residual network*. Perhatikan bahwa $G(x, 1) = G(x)$ dan $G(x, \Delta)$ adalah *subgraph* dari $G(x)$. Sisi yang

diambil dari $G(x)$ pada *network* $G(x, \Delta)$ hanya jika kapasitas sisi lebih besar dibandingkan Δ . Sisi dengan kapasitas lebih kecil tidak akan diambil.

Berikut langkah-langkah Algoritma *Capacity Scaling* adalah sebagai berikut:

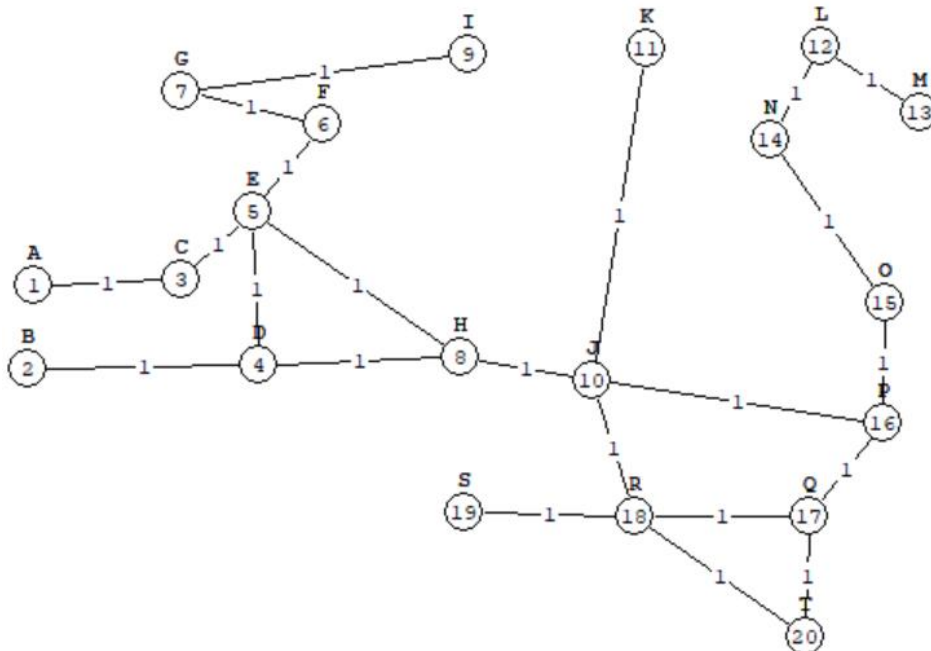
Input: Suatu *network* yang diketahui titik sumber (*source*) dan titik tujuan (*sink*)

1. Inisialisasikan aliran dengan 0, dapat ditulis $f(x) = 0$
2. Hitung $\Delta = 2^{\lfloor \log C \rfloor}$ dengan C adalah $\max \{c_{ij}, (i, j) \in A\}$
3. Jika $\Delta \geq 1$, maka dilanjutkan langkah ke 4, jika $\Delta < 1$, maka langkah dihentikan.
4. Identifikasi bahwa $G(x, \Delta)$ memuat suatu lintasan dari s ke t .
5. Mencari P pada $G(x, \Delta)$
6. Mencari δ dengan $\delta = \min \{r_{ij}, (i, j) \in P\}$
7. Tambahkan δ – unit pada aliran sepanjang P , kemudian buat $G(x, \Delta)$ yang baru.
 Ulangi langkah 4 sampai tidak ditemukan lintasan, jika tidak ditemukan lintasan, dilanjutkan langkah 8.
8. $\Delta = \frac{\Delta}{2}$, dengan Δ kapasitas *residu* terkecil pada $G(x, \Delta)$.
 Ulangi langkah 3.

Output: Aliran total (F) pada N_f adalah jumlah semua aliran yang meninggalkan sumber (*source*), yaitu $F = \sum f_{si}$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, akan dicari kapasitas aliran maksimum pipa dan arus maksimum pada jaringan pipa di Perumdam Among Tirta Kota Batu. Nama sumber, tandon, dan layanan digunakan sebagai titik pada *graph*, sedangkan pipa transmisi yang mengalirkan air dari sumber ke layanan dan tandon sebagai sisi dari *graph*, selanjutnya akan dimodelkan dalam bentuk *network* atau jaringan. Pada permasalahan ini ditetapkan Sumber Torong Belok sebagai titik awal (*source*) yang berlabelkan A dan Junrejo titik tujuan (*sink*) yang berlabelkan Q. Maka diperoleh *network* yang dilihat pada Gambar di bawah ini.



Gambar 1. Model *Network*

Berikut ini adalah nama sumber air, tandon, dan layanan dengan masing-masing kapasitas dan arus yang dimiliki beserta dengan pelabelannya:

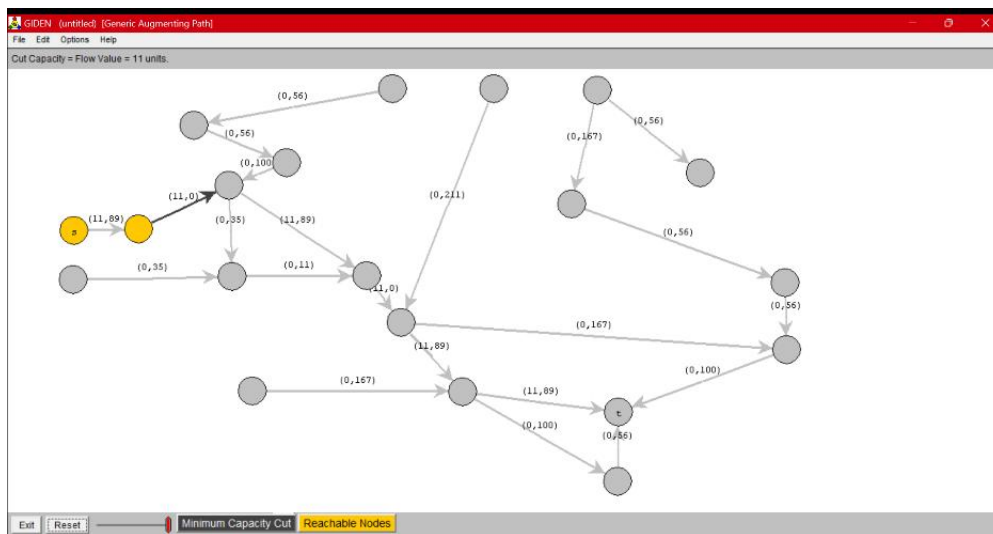
Tabel 1. Data Rute Pipa Beserta Arus Air dan Kapasitas Aliran Maksimum Pipa

No	Rute Pipa	Sisi	Arus (L/s)	Kapasitas (L/s)
1	Torong Belok – Songgokerto	AC	12	100
2	Kasinan – Pesanggrahan	BD	4	35
3	Songgokerto – Hasanudin	CE	5	11
4	Pesanggrahan – Taman Makam Pahlawan	DH	4	11
5	Hasanudin – Pesanggrahan	ED	7	35
6	Hasanudin – Taman Makam Pahlawan	EH	11	100
7	Santrean – Hasanudin	FE	11	100
8	Sumberejo – Santrean	GF	9	56
9	Taman Makam Pahlawan – Museum Angkut	HJ	4	11
10	Ngesong – Sumberejo	IG	35	56
11	Museum Angkut – Mojorejo	JP	34	167
12	Museum Angkut – Oro Oro Ombo	JR	14	100
13	Banyuning – Museum Angkut	KJ	64	211
14	Gemulo – Pandanrejo	LM	10	56
15	Gemulo – Sisir	LN	12	167
16	Sisir – Pasar Batu	NO	10	56
17	Pasar Batu – Mojorejo	OP	2	56
18	Mojorejo – Junrejo	PQ	16	100
19	Oro Oro Ombo – Junrejo	RQ	6	100
20	Oro Oro Ombo – Tlekung	RT	8	100
21	Darmi – Oro Oro Ombo	SR	18	167
22	Tlekung – Junrejo	TQ	4	56

Selanjutnya adalah penyelesaian masalah *maximum flow* untuk mencari kapasitas aliran maksimum pipa dengan menggunakan Algoritma *Augmenting Path* dengan alat bantu program Giden dan Algoritma *Capacity Scaling* dengan alat bantu program Grin.

Kapasitas Aliran Maksimum Pipa dengan Algoritma *Augmenting Path* Alat Bantu Program Giden

Berikut penyelesaian masalah kapasitas aliran maksimum pada pipa dengan Algoritma *Augmenting Path* pada alat bantu program Giden.

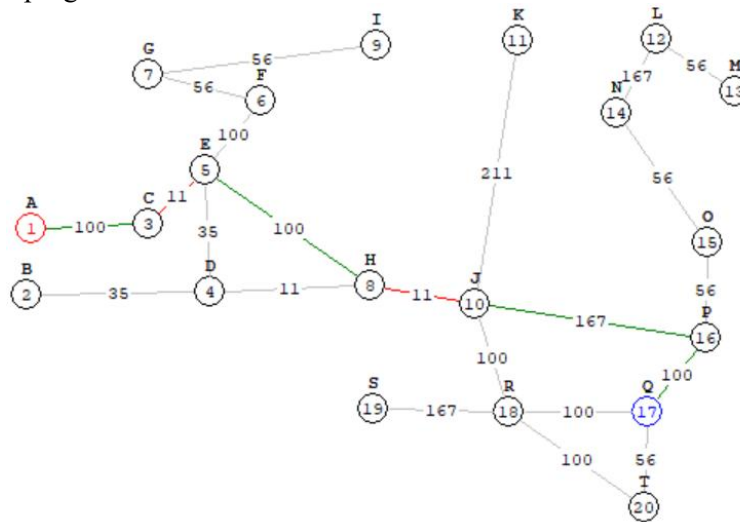


Gambar 2. Hasil *Maksimum Flow* Kapasitas Aliran Maksimum Pipa dengan Program Giden

Iterasi 1 : Lintasan Penambah yang terpilih yaitu A – C – E – H – J – R – Q dengan *flow* sebesar 11. Karena sudah tidak ditemukan lintasan penambah yang lain, dengan demikian berdasarkan iterasi di atas diperoleh kapasitas aliran maksimum pada pipa dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 11 L/s.

Kapasitas Aliran Maksimum Pipa dengan Algoritma *Capacity Scaling* Alat Bantu Program Grin

Berikut penyelesaian masalah kapasitas aliran maksimum pada pipa dengan Algoritma *Capacity Scaling* pada alat bantu program Grin.



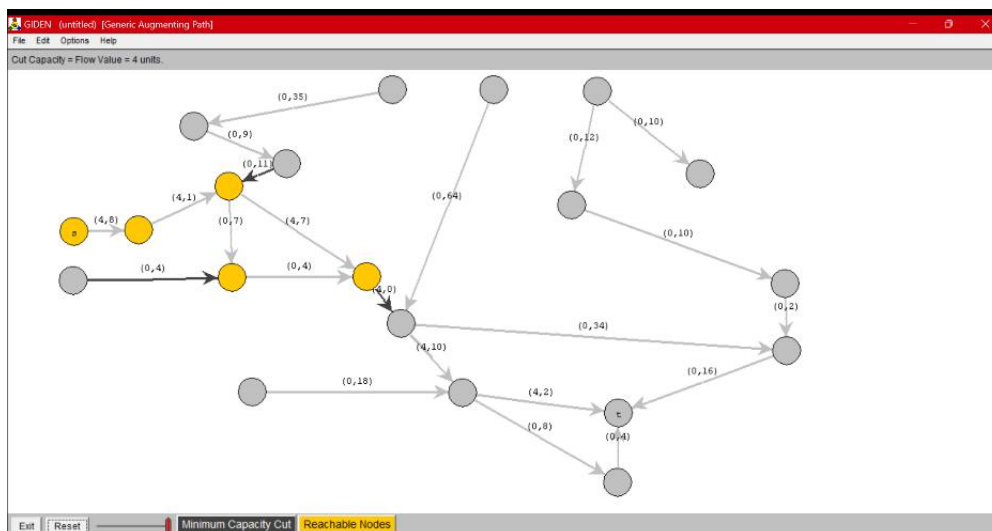
Gambar 3. Hasil *Maksimum Flow* Kapasitas Aliran Maksimum Pipa dengan Program Grin

Iterasi 1 : lintasan penambah yang terpilih yaitu A – C – E – H – J – P – Q dengan *flow* sebesar 11. Demikian berdasarkan iterasi di atas, diperoleh kapasitas aliran maksimum pada pipa dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 11 L/s.

Selanjutnya adalah penyelesaian masalah *maximum flow* untuk mencari arus maksimum pipa dengan menggunakan Algoritma *Augmenting Path* dengan alat bantu program Giden dan Algoritma *Capacity Scaling* dengan alat bantu program Grin.

Arus Maximum dengan Algoritma *Augmenting Path* Menggunakan Alat Bantu Program Giden

Berikut penyelesaian masalah arus maksimum yang dapat dialirkan pada pipa dengan Algoritma *Augmenting Path* pada alat bantu program Giden.

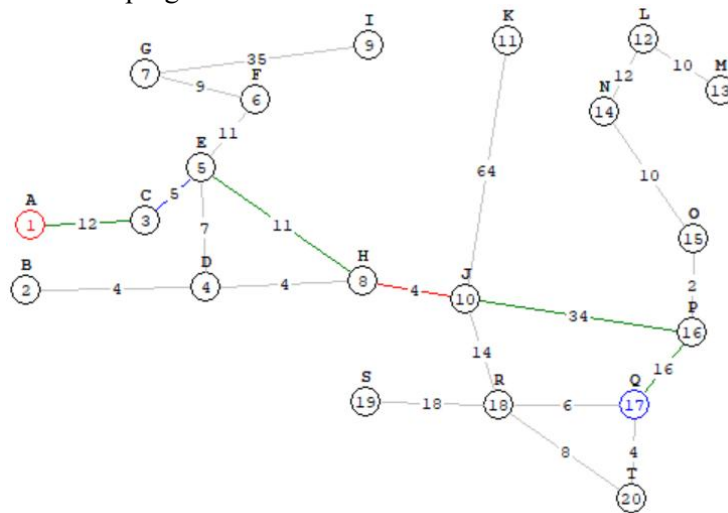


Gambar 4. Hasil *Maksimum Flow* Arus Maksimum Pipa dengan Program Giden

Iterasi 1 : Lintasan penambah yang terpilih yaitu A – C – E – H – J – R – Q dengan *flow* sebesar 4. Karena sudah tidak ditemukan lintasan penambah yang lain, dengan demikian berdasarkan iterasi di atas diperoleh arus maksimum dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 4 L/s melalui A – C – E – H – J – R – Q.

Arus Maximum dengan Algoritma *Capacity Scaling* Menggunakan Alat Bantu Program Grin

Berikut penyelesaian masalah arus maksimum yang dapat dialirkan pada pipa dengan Algoritma *Capacity Scaling* pada alat bantu program Grin.



Gambar 5. Hasil *Maksimum Flow* Arus Maksimum Pipa dengan Program Grin

Iterasi 1 : lintasan penambah yang terpilih yaitu $A - C - E - H - J - P - Q$ dengan *flow* sebesar 4. Demikian berdasarkan iterasi di atas, diperoleh arus maksimum dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 4 L/s melalui $A - C - E - H - J - P - Q$.

Berikut merupakan analisis hasil berdasarkan pencarian kapasitas aliran maksimum pipa dan arus maksimum pipa:

Pada pencarian kapasitas dan arus maksimum dengan menggunakan Algoritma *Augmenting Path* dan *Capacity Scaling* dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo dihasilkan 2 lintasan, yaitu:

- $A - C - E - H - J - R - Q$ (Torong Belok – Songgokerto – Hasanudin – Taman Makam Pahlawan (TMP) – Museum Angkut – Oro Oro Ombo – Junrejo).
- $A - C - E - H - J - P - Q$ (Torong Belok – Songgokerto – Hasanudin – Taman Makam pahlawan (TMP) – Museum Angkut – Mojorejo – Junrejo).

Dalam perhitungannya, dengan menggunakan kedua algoritma tersebut diperoleh kapasitas aliran maksimum pipa dari Sumber Torong Belok ke Junrejo sebesar 11 L/s. Sedangkan arus maksimum dari Sumber Torong Belok ke Junrejo sebesar 4 L/s. Berdasarkan perhitungan tersebut menunjukkan bahwa arus maksimum lebih kecil daripada kapasitas aliran maksimum pada pipa, sehingga dapat dikatakan bahwa jaringan pipa tersebut masih mampu menampung arus air yang mengalir. Dengan demikian berdasarkan konsisi lapangan dimana terdapat beberapa layanan yang mengalami keluhan berupa air kecil (daerah Junrejo), perlu adanya penambahan arus untuk memaksimalkan pendistribusian air tersebut. Penambahan arus dapat dilakukan dengan catatan bahwa arus yang ditambahkan tidak boleh lebih besar daripada kapasitas aliran maksimum pada jaringan pipa agar tidak terjadi kebocoran.

PENUTUP

Perusahaan Umum Daerah Air Minum (Perumdam) Among Tirta Kota Batu merupakan perusahaan daerah yang bergerak di bidang pelayanan air minum bagi masyarakat Kota Batu. Dalam pemenuhan penyediaan air bersih kepada masyarakat, peningkatan pelayanan terus menerus dilaksanakan oleh manajemen perusahaan untuk mencapai profesionalisme pengelolaan. Hal ini dilakukan dengan memaksimalkan efektivitas pendistribusian air ke masyarakat. Salah satu cara yang dapat digunakan dalam mengoptimalkan pendistribusian air adalah dengan menentukan aliran air maksimum dengan tetap memperhatikan kapasitas maksimal aliran air pada setiap pipa.

Permasalahan pendistribusian air dapat diselesaikan dengan menggunakan penerapan teori *graph*, yaitu *maximum flow*. *Maximum flow* dapat digunakan untuk menentukan apakah suatu aliran air pada jaringan pipa masih dapat dimaksimalkan. Pada permasalahan ini, jaringan pipa dimodelkan sebagai *network*

dengan sumber dan layanan sebagai titik, serta pipa yang menghubungkan sumber ke tandon dan layanan sebagai sisi berarah. Adapun bobot pada *network* direpresentasikan oleh arus air dan kapasitas maksimum aliran pada setiap jaringan pipa. Dalam penyelesaian permasalahan pendistribusian air dengan *maximum flow* digunakan Algoritma *Augmenting Path* dan Algoritma *Capacity Scaling* yang dalam prosesnya menggunakan alat bantu Giden dan Grin serta perhitungan manual melalui langkah-langkah pada algoritma.

Berdasarkan hasil penerapan *maximum flow* didapatkan hasil bahwa kapasitas aliran maksimum pipa dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 11 L/s. Sedangkan arus air maksimum dari Sumber Torong Belok menuju Junrejo sebesar 4 L/s. Hal ini menunjukkan bahwa arus yang mengalir pada pipa lebih kecil daripada kapasitas aliran maksimum pada pipa, sehingga arus akan mengalir secara normal dan tidak menyebabkan kebocoran. Namun, berdasarkan kondisi lapangan yang mengeluhkan kurangnya air dikarenakan arus air yang mengalir terlalu kecil, maka perlu adanya penambahan arus air dengan tetap memperhatikan kapasitas aliran maksimum pada jaringan pipa sehingga layanan mendapatkan distribusi air dengan lancar dan merata, serta tidak lagi terjadi kekurangan air.

Beberapa faktor penghambat dalam penyelesaian penelitian diantaranya :

- Dalam sistem penyediaan air minum di Kota Batu dimana berupa instalasi pengelolaan air minum konvensional dengan jaringan distribusi yang terbatas, terdapat total 6 sumber air yang menggunakan sistem pelayanan gravitasi yang dimanfaatkan hingga saat ini. Dalam pemanfaatan keenam sumber tersebut, tak hanya dimanfaatkan oleh Perumdam Among Tirta Kota Batu, keenam sumber ini juga dimanfaatkan oleh Kelompok Swadaya Masyarakat setempat. Hal ini menyebabkan tidak seluruh masyarakat Kota Batu yang menggunakan layanan Perumdam Among Tirta Kota Batu sehingga pengaturan jaringan pipa pelanggan masih berlum tertata dengan baik. Oleh karena itu, terdapat sedikit kendala dalam memodelkan jaringan pipa menjadi sebuah *network flow*.
- Dalam proses pengumpulan data yang digunakan dalam penyelesaian penelitian tidak dapat dilakukan setiap saat karena staf karyawan Bidang Teknik khususnya Sie Perencanaan dan Sie NRW lebih banyak bertugas di lapangan.

Adapun saran yang didapatkan adalah sebagai berikut :

- Bagi Perumdam Among Tirta Kota Batu
Dengan adanya artikel ini, diharapkan dapat dijadikan sebagai pedoman atau referensi bagi instansi terkait dalam penyelesaian permasalahan *maximum flow*, dalam hal ini yaitu pengoptimalan pendistribusian air dari sumber ke tandon dan seluruh layanan. Daerah layanan yang dinilai sering mengeluhkan aliran air kecil berdasarkan hasil penyelesaian *maximum flow*, perlu diberikan perhatian lebih oleh Perumdam Among Tirta Kota Batu dalam penanganan masalah pendistribusian air. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan penambahan arus dengan tidak melebihi kapasitas aliran maksimum pada jaringan pipa.
- Bagi Penulis
Diharapkan adanya perbaikan serta pembaruan terkait penerapan algoritma baik secara manual maupun menggunakan alat bantu dalam penyelesaian permasalahan *maximum flow* pada pendistribusian air agar didapatkan hasil yang lebih baik dan akurat.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] B. K. Ahuja, "Theory, Algorithms, and Applications".
- [2] N. Abdullah and T. Kien Hua, "The Application of the Shortest Path and Maximum Flow with Bottleneck in Traffic Flow of Kota Kinabalu," *JCSCM*, pp. 37–43, Jun. 2017, doi: 10.20967/jcscm.2017.02.003.
- [3] Z. Şuvak, İ. K. Altınel, and N. Aras, "Exact solution algorithms for the maximum flow problem with additional conflict constraints," *European Journal of Operational Research*, vol. 287, no. 2, pp. 410–437, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.ejor.2020.04.001.
- [4] P. Bonami, D. Mazaurec, and Y. Vaxès, "Maximum flow under proportional delay constraint," *Theoretical Computer Science*, vol. 689, pp. 58–66, Aug. 2017, doi: 10.1016/j.tcs.2017.05.034.

- [5] A. Paithankar and S. Chatterjee, "Open pit mine production schedule optimization using a hybrid of maximum-flow and genetic algorithms," *Applied Soft Computing*, vol. 81, p. 105507, Aug. 2019, doi: 10.1016/j.asoc.2019.105507.
- [6] A. Nazemi and F. Omidi, "A capable neural network model for solving the maximum flow problem," *Journal of Computational and Applied Mathematics*, vol. 236, no. 14, pp. 3498–3513, Aug. 2012, doi: 10.1016/j.cam.2012.03.001.
- [7] B. Çekyay, P. Toktaş Palut, Ö. Kabak, F. Ülengin, Ö. Özaydın, and B. Ülengin, "Analysis of the impact of bilateral and transit quotas on Turkey's international trade by road transport: An integrated maximum flow and gravity model approach," *Research in Transportation Economics*, vol. 66, pp. 70–77, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.retrec.2017.04.006.
- [8] Y. M. Omar and P. Plapper, "Maximum Flow of Complex Manufacturing Networks," *Procedia CIRP*, vol. 86, pp. 245–250, 2019, doi: 10.1016/j.procir.2020.01.005.
- [9] H. Li, T. Zhang, Y. Zhang, K. Wang, and J. Li, "A maximum flow algorithm based on storage time aggregated graph for delay-tolerant networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 59, pp. 63–70, May 2017, doi: 10.1016/j.adhoc.2017.01.006.
- [10] M. Tlas, "Using the binary representation of arc capacity in a polynomial time algorithm for the constrained maximum flow problem in directed networks," p. 16, 2022.
- [11] D. Chaerani, N. Badruzzaman, E. Hertini, and E. Rusyaman, "Designing Graphical User Interface (GUI) for Adjustable Robust Maximum Flow Problem," *jmi*, vol. 17, no. 1, p. 63, Aug. 2021, doi: 10.24198/jmi.v17.n1.30288.63-72.
- [12] K. Aini, "Penyelesaian Masalah Aliran Maksimum Dengan Menggunakan Algoritma *Dijkstra* Dan Algoritma *Ford-Fulkerson*".
- [13] S. Widodo, "Penyelesaian *Maximum Flow Problem* dengan Algoritma *Cloning-Based*," *Universitas Negeri Malang*, 2012.
- [14] R. Ulya, "Menentukan Aliran Maksimum Dengan Algoritma *Ford-Fulkerson* dan *Preflow-Push*," *UNNES Journal of Mathematics (UJM)*, vol. 2, no. 2, pp. 97-103, 2013.
- [15] E. Rahayu, "Penerapan Algoritma *Cloning-Based* Dan Algoritma *Edmonds-Karp* Dalam Penyelesaian *Maximum Flow Problem*," 2016.
- [16] F. Sumarti, "Pencarian Aliran Maksimum Dengan Algoritma *Ford-Fulkerson* dan Modifikasinya".
- [17] K. H. Rosen and J. G. Michaels, Eds., *Handbook of discrete and combinatorial mathematics*. Boca Raton: CRC Press, 2000.
- [18] B. K. Ahuja, "Theory, Algorithms, and Applications".