

Penerapan Algoritma Maksimum Minimum Dalam Mencari Aliran Maksimum Jaringan Listrik

Eka Susilowati*¹, Mizan Ahmad²

^{1,2}Program Studi Matematika, Universitas Nahdlatul Ulama Al Ghazali Cilacap, Indonesia

e-mail: eka250@gmail.com

Abstrak

Kestabilan jaringan listrik yang ada di masyarakat sangat dibutuhkan. Jaringan listrik yang tidak stabil menyebabkan aktivitas perekonomian di masyarakat terganggu terutama di bidang industry. Ada banyak algoritma yang dapat digunakan untuk menghitung jaringan aliran maksimum, diantaranya algoritma Edmonds Karp dan algoritma Ford Fulkerson. Namun, dalam perhitungan algoritma tersebut, hanya dihitung berapa jumlah aliran maksimum jaringan listrik tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan algoritma lain yaitu algoritma maksimum minimum yang mencari rute aliran maksimumnya seperti apa dengan menggunakan bantuan software Matlab. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah permasalahan jaringan yang ada pada penelitian Rahma dimana dalam penelitian tersebut menggunakan algoritma Ford Fulkerson. Hasil yang diperoleh pada penelitian ini adalah rute jaringan aliran maksimum lintasan maksimum jaringan listrik yang terbentuk adalah (S,A), (A,F), (F,T) atau (S,A), (A,E), (E,H), (H,K), (K,T).

Kata kunci—Optimal, Aliran Maksimum, Algoritma Dijkstra, Algoritma Ford Fulkerson, Rute Jaringan Listrik, Algoritma Edmond Karp, Aljabar Maxksimum Minimum.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan listrik salah satu kebutuhan utama masyarakat. Tidak seperti kota kota besar pada umumnya, daerah desa masih butuh perbaikan di berbagai sisi. Salah satu perbaikan dan pemeliharaan berkala yang dilakukan adalah pada jaringan listrik. Pemeliharaan dan perbaikan jaringan listrik ini sangatlah penting karena banyak kegiatan ekonomi Masyarakat yang tergantung pada kesediaan listrik., Hampir semua aktivitas masyarakat menggunakan listrik untuk menjalankan alat elektronik. Arus listrik lemah bisa menyebabkan berbagai masalah rumah tangga, home industri dan industry. Aliran listrik yang tidak maksimum dapat menyebabkan kerusakan pada perangkat yang menggunakan energi listrik. Selain itu, arus listrik lemah dapat menyebabkan peningkatan konsumsi energi, dan risiko kebakaran akibat panas berlebih pada kabel. Dengan demikian diperlukan suatu cara yang dapat menanggulangi hal tersebut dengan cara memaksimalkan arus listrik yang ada.

Penerapan teori graf salah satunya digunakan untuk memudahkan memecahkan persoalan mengenai network flow. Aliran maksimum sangat penting demi membantu untuk menentukan batas maksimum pada aliran dalam system jaringan. Penelitian lain yang meneliti tentang aliran maksimum adalah penelitian milik (Mustiko et al., 2023) untuk kapasitas maksimum kargo. Pada penelitian (Mahesa, 2024) menjelaskan bahwa dapat digunakan algoritma Edmond-Karp dalam pencarian aliran maksimum pada jaringan listrik. Aliran maksimum jaringan listrik pada penelitian (Mahesa, 2024) ini diperoleh ada 19 lintasan penambah dengan nilai aliran maksimum sebesar 1500 Ampere. Penelitian lain yang menggunakan algoritma Edmond Karp adalah penelitian milik (Sarah, 2014), (Rahayu, 2016). Penelitian tersebut menjelaskan bahwa aliran yang melewati batas 1500 ampere akan menyebabkan beberapa kerusakan seperti pemanasan berlebih pada konduktor, kehilangan daya dan kerusakan pada peralatan elektronik.

Ada berbagai macam algoritma yang digunakan untuk memaksimalkan arus pada jaringan listrik. Cara yang banyak digunakan dalam menyelesaikan masalah aliran maksimum diantaranya dengan menggunakan algoritma Dijkstra, algoritma Dinic, algoritma Lift to Front, dan algoritma Ford Fulkerson. Algoritma Lift to Front ternyata bisa digunakan untuk mencari masalah aliran maksimum oleh (Manurung et

al., 2023). Algoritma Ford Fulkerson dan algoritma Dinic juga pernah dibandingkan oleh (Aksan, 2016) untuk meneliti jaringan maksimum Listrik di area PT PLN area Makasar Selatan. Algoritma Ford Fulkerson sudah pernah digunakan untuk menyelesaikan masalah aliran maksimum jaringan listrik di kota Tegal. Penelitian (Farizal & Suyitno, 2014) telah meneliti mengenai hal tersebut. Farizal dan Suyitno menyimpulkan bahwa aliran maksimum dengan menggunakan algoritma Ford Fulkerson ini pada jaringan listrik kota Tegal diperoleh aliran maksimum sebesar 1300 ampere. Pada penelitian tersebut, juga menggunakan bantuan Window QSB, untuk menghasilkan lintasan aliran listrik maksimum. Lintasan yang menghasilkan aliran listrik maksimum yang dihasilkan melalui software WinQSB berupa lintasan (1,2), (1,5), (1,8), (2,3), (2,9), (3,10), (5,6), (6,7), (7,18), (8,13), (9,14), (10,15), (13, 19), (14, 20), (15, 16), (16,26), (18,29), (19, 21), (20,24), (20,25), (21,30), (24,35), (25,36), (26,25), (28,37), (29,28), (30,31), (31,32), (32,38), (35,36), (36,42), (37,38), (37,43), (38,39), (38,40), (39,41), (40, 46), (41,44), (42,45), (43,46), (44,46), (45,44). Dari dua cara, yaitu algoritma Ford-Fulkerson dan software WinQSB pencarian aliran maksimum jaringan listrik tersebut menghasilkan arus maksimum yang sama. Pada penelitian (Yoriko, 2019), juga menggunakan algoritma Edmund Karp untuk mengetahui debit air maksimum dari suatu system kanal bawah tanah.

Selain itu, ada penelitian lain yang digunakan untuk mencari aliran maksimum pada sebuah jaringan dengan satu simpul awal dan simpul akhir adalah algoritma Ford-Fulkerson. Penelitian yang dilakukan oleh (Sumarti, 2017) menyebutkan bahwa algoritma Ford-Fulkerson hanya bisa digunakan pada jaringan yang memiliki simpul awal atau simpul akhirnya satu. Jika tidak demikian, maka algoritma tersebut tidak dapat digunakan, Aliran maksimum juga pernah diteliti oleh (Sutrisni et al., 2019) yang menyatakan bahwa aliran maksimum yang ada pada jaringan Listrik tegal sebesar 1300 Ampere yang diperoleh menggunakan algoritma Edmund Karp. Penelitian lain yang menggunakan algoritma Ford-Fulkerson adalah penelitian dari (Marpaung et al., 2023) dan (Achmad & Ilyas, 2020).

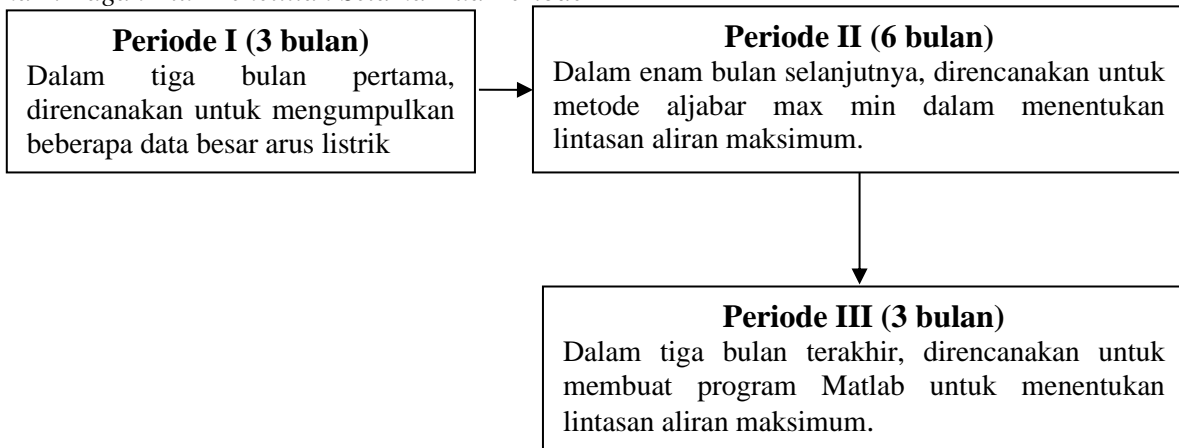
Penelitian lain yang diteliti (Rahma et al., 2016) membahas mengenai mencari aliran maksimum dengan menggunakan algoritma Ford Fulkerson. Contoh kasus jaringan listrik yang dibahas dalam penelitian tersebut adalah contoh kasus jaringan listrik sebanyak 1850 Amper dari gardu induk S ke gardu T yang melewati 13 gardu, didistribusikan dengan 7 jalur berbeda dengan jumlah aliran pada masing-masing jalur yaitu pada jalur 1 mengalirkan 30 Ampere, jalur 2 mengalirkan 30 Amper, jalur 3 mengalirkan 35 Amper, jalur 4 mengalirkan, 15 Amper jalur 5 mengalirkan 15 Amper, jalur 6 mengalirkan 30 Amper, jalur 7 mengalirkan 30 Amper. Aliran maksimum yang diperoleh memiliki 4 buah cuts pada edgenya yang berarti bahwa kabel tersebut memiliki kapasitas yang sudah maksimum sehingga tidak dapat dialiri lagi. Analisis kompleksitas dari algoritma yang digunakan untuk menghitung aliran maksimum juga telah dibahas oleh (Tanadi, 2007).

Termotivasi dari penelitian (Rahma et al., 2016), penulis ingin mencari bagaimana lintasan aliran maksimum arus listrik pada jaringan listrik terhadap studi kasus yang sama dengan penelitian tersebut namun dengan menggunakan algoritma Maks - Min. Inovasi baru dari penerapan algoritma maksimum minimum ini adalah dahulu penggunaan algoritma ford Fulkerson dan Edmund Karp diterapkan untuk mencari aliran maksimum pada jaringan listrik dengan outputnya besaran maksimum jaringan listrik tersebut. Dengan menggunakan aljabar maksimum minimum, dapat ditemukan juga rute aliran maksimum pada jaringan listrik tersebut. Dengan mengetahui lintasan aliran maksimum arus listrik pada jaringan listrik tersebut diharapkan setiap kegiatan masyarakat terutama di bidang perekonomian yang mengharuskan tergantung pada arus listrik yang stabil dapat terus berjalan dengan optimal. Sehingga masyarakat tidak merasa dirugikan dari masalah tersebut.

2. METODE PENELITIAN

Tahapan pertama penelitian yang digunakan dengan mengumpulkan beberapa data besar arus listrik. Data tersebut diperoleh dari jurnal (Rahma et al., 2016). Tahapan kedua penelitian untuk metode aljabar max min dalam menentukan lintasan aliran maksimum. Tahapan selanjutnya adalah membuat program MATLAB yang digunakan untuk menentukan lintasan aliran maksimum dimana matriks A berukuran besar, atau dengan kata lain jaringan listriknya merupakan jaringan yang luas.

Berdasarkan teorema yang dijelaskan di atas
Skema 1. Bagan Alur Penelitian Selama Dua Periode



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab pembahasan ini, akan dibahas mengenai penerapan aljabar max-min pada masalah kapasitas maksimum. Namun, akan dibahas terlebih dahulu beberapa teorema yang mendasari hal tersebut. Seperti aljabar max plus dan aljabar min plus, aljabar max min merupakan salah satu struktur aljabar juga. Namun ada beberapa perbedaan dalam aljabar max min.

Aljabar max min merupakan himpunan semua bilangan real R yang dilengkapi dengan operasi maksimum dan minimum. Aljabar max min ini dapat digunakan untuk memodelkan dan menganalisis masalah lintasan kapasitas maksimum. Diberikan $\square^+_\varepsilon = \square^+ \cup \{\varepsilon\}$ dengan \square^+ merupakan himpunan semua bilangan real non negative ditambah dengan $\varepsilon = +\infty$. Di dalam himpunan \square^+ dilengkapi operasi berikut :

$$a \oplus b = \max(a, b) \text{ dan } a \otimes b = \min(a, b)$$

Himpunan $(\square^+_\varepsilon, \oplus, \otimes)$ merupakan semiring idempotent komutatif dengan elemen netral 0 dan elemen satuan $\varepsilon = +\infty$. Selanjutnya, $(\square^+_\varepsilon, \oplus, \otimes)$ dinamakan sebagai aljabar max min. Pada permasalahan lintasan kapasitas maksimum, A_{ij} menandakan bilangan real non negative dan merupakan kapasitas busur (j, i) , yaitu aliran maksimum yang dapat melalui busur (j, i) . Berikut akan diberikan teorema yang digunakan dalam pencarian kapasitas maksimum lintasan dalam suatu jaringan.

Teorema 1

Diberikan $A \in \square^+_\varepsilon, \forall p \geq n, A^{\otimes p} \leq E \oplus A \oplus \dots \oplus A^{\otimes n}$

Teorema 2

Diberikan $A \in \square^+_\varepsilon, \forall p \geq n, A^* = E \oplus A \oplus \dots \oplus A^{\otimes n} \oplus \dots$

Berdasarkan Teorema 1 didapatkan $A^* = E \oplus A \oplus \dots \oplus A^{\otimes n-1}$. Jika diperhatikan penjelasan tentang kapasitas dan pangkat matriks di atas, berikut diberikan hasil mengenai kapasitas maksimum lintasan dalam jaringan.

Teorema 3

Jika $A \in \mathbb{R}^{+n \times n}$ adalah matriks bobot suatu graf berarah berbobot, di mana bobot A_{ij} merupakan kapasitas busur (j, i) , yaitu aliran maksimum yang dapat melalui busur (j, i) , maka unsur $(A^*)_{ij}$ merupakan kapasitas maksimum lintasan dengan ujung titik j dan pangkal titik i .

Berdasarkan pembahasan di atas, menyatakan bahwa unsur $(A^*)_{ij}$ merupakan kapasitas maksimum lintasan dengan ujung titik j dan pangkal titik i dengan A merupakan matriks bobot pada graf berarah berbobot yang terkait. Dengan menggunakan hasil tersebut, kita dapat menentukan lintasan dengan kapasitas maksimum yang berawal dari titik 1 menuju titik terakhir n dalam suatu jaringan searah dengan bobot busurnya yang menggambarkan kapasitas dari busur yaitu kapasitas maksimum yang dapat dilalui oleh busur tersebut.

Berdasarkan penjelasan Teorema 3, dapat diartikan bahwa $(A^*)_{n1}$ merupakan kapasitas maksimum lintasan dengan titik awal 1 ke titik akhir n . Kapasitas maksimum lintasan dengan titik awal 1 ke titik akhir n dinamakan kapasitas maksimum jaringan. Berikut ini akan diberikan definisi busur kapasitas maksimum dan lintasan kapasitas maksimum.

Definisi 4

Suatu busur (j,i) dalam jaringan lintasan searah dengan n titik merupakan busur kapasitas maksimum jika kapasitasnya tidak kurang dari kapasitas maksimum jaringan.

Definisi 5

Suatu lintasan disebut lintasan kapasitas maksimum jika seluruhnya terdiri dari busur kapasitas maksimum.

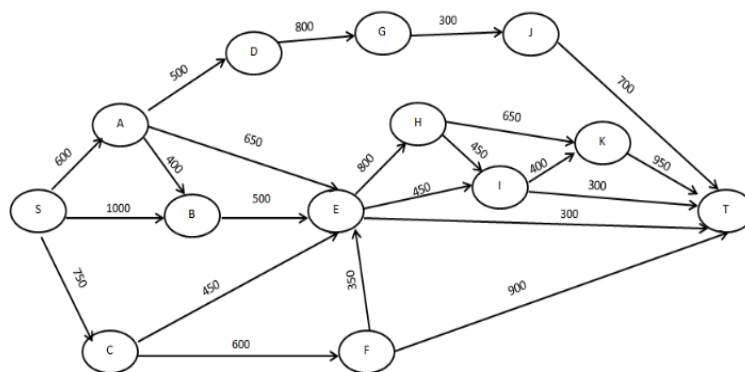
Menurut buku (Rudhito, 2016) terdapat suatu teorema yang menjelaskan bagaimana menentukan busur kapasitas maksimum. Namun di sini sedikit diberikan perubahan mengenai syarat suatu busur merupakan busur kapasitas maksimum. Berdasarkan definisi dan pembahasan sebelumnya, diperoleh teorema berikut :

Teorema 6

Diberikan jaringan lintasan searah yang terdiri dari n titik dan matriks berbobot $A \in \mathbb{R}^{+n \times n}$. Suatu busur (j,i) dalam jaringan merupakan busur kapasitas maksimum jika dan hanya jika $A_{ij} - (A^*)_{n1} \geq 0$.

3.1 Deskripsi dan Obyek Penelitian

Data yang digunakan berupa contoh kasus jaringan listrik (Rahma et al., 2016) sebagaimana data di bawah ini.



Gambar 1.

Tabel 1.

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
400	0	0	0
400	700	950	0

A1_star =

Columns 1 through 9

Inf	0	0	0	0	0	0	0	0
600	Inf	0	0	0	0	0	0	0
1000	400	Inf	0	0	0	0	0	0
750	0	0	Inf	0	0	0	0	0
500	500	0	0	Inf	0	0	0	0
600	650	500	450	0	Inf	350	0	0
600	0	0	600	0	0	Inf	0	0
500	500	0	0	800	0	0	Inf	0
600	650	500	450	0	800	350	0	Inf
450	450	450	450	0	450	350	0	450
300	300	0	0	300	0	0	300	0
600	650	500	450	0	650	350	0	650
600	650	500	600	300	650	900	300	650

Columns 10 through 13

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
Inf	0	0	0
0	Inf	0	0
400	0	Inf	0
400	700	950	Inf

P =

-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
0	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
400	-200	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
150	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-100	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600

-600 50 -100 -150 -600 -600 -250 -600 -600 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 0 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 200 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 -600 200 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 -600 -150 -600 -600 -150 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -300 -600 -600 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 -600 50 -200 -600 -600 -600
 -600 -600 -600 -600 -600 -300 300 -600 -600 -300 100 350 -600

Matriks A

Columns 1 through 9

0	0	0	0	0	0	0	0	0
600	0	0	0	0	0	0	0	0
1000	400	0	0	0	0	0	0	0
750	0	0	0	0	0	0	0	0
0	500	0	0	0	0	0	0	0
0	650	500	450	0	0	350	0	0
0	0	0	600	0	0	0	0	0
0	0	0	0	800	0	0	0	0
0	0	0	0	0	800	0	0	0
0	0	0	0	0	450	0	0	450
0	0	0	0	0	0	0	300	0
0	0	0	0	0	0	0	0	650
0	0	0	0	0	300	900	0	0

Columns 10 through 13

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
400	0	0	0
300	700	950	0

Matriks A_star

Columns 1 through 9

Inf	0	0	0	0	0	0	0	0
600	Inf	0	0	0	0	0	0	0
1000	400	Inf	0	0	0	0	0	0
750	0	0	Inf	0	0	0	0	0
500	500	0	0	Inf	0	0	0	0
600	650	500	450	0	Inf	350	0	0
600	0	0	600	0	0	Inf	0	0
500	500	0	0	800	0	0	Inf	0
600	650	500	450	0	800	350	0	Inf
450	450	450	450	0	450	350	0	450
300	300	0	0	300	0	0	300	0
600	650	500	450	0	650	350	0	650
600	650	500	600	300	650	900	300	650

Columns 10 through 13

0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
0	0	0	0
Inf	0	0	0
0	Inf	0	0
400	0	Inf	0
400	700	950	Inf

Matriks P

-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
0	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
400	-200	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
150	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-100	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	50	-100	-150	-600	-600	-250	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	0	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	200	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	-600	200	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	-600	-150	-600	-600	-150	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-300	-600	-600	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	-600	50	-200	-600	-600	-600
-600	-600	-600	-600	-600	-300	300	-600	-600	-300	100	350	-600

Berdasarkan hasil dari program Matlab, dihasilkan busur maksimum jaringan listrik tersebut adalah (S,A), (S,B), (S,C), (A,E), (A,F), (D,G), (E, H), (H,K), (J,K), (F,T), (K,T), (J,T). Sehingga lintasan maksimum jaringan listrik yang terbentuk adalah (S,A), (A,F), (F,T) atau (S,A), (A,E), (E,H), (H,K), (K,T). Pada penelitian (Rahma et al., 2016), aliran maksimum berbeda yang didapatkan adalah (G,J), (K,T), (I,T), (E,T).

Berdasarkan (Rahma et al., 2016) menggunakan algoritma Folk – Furkenson hanya menghasilkan kapasitas maksimum yang dapat dilalui oleh arus listrik pada jaringan listrik di kota Tegal sebesar 1850 Ampere. Namun dalam penelitian ini, peneliti mencari lintasan kapasitas maksimum jaringan listrik. Pada konsepnya, lintasan kapasitas maksimum yang dicari menggunakan algoritma Max-Min sebenarnya merupakan lintasan yang masih mampu dilintasi arus listrik yang terdiri dari busur kapasitas maksimum. Kenapa dikatakan mampu dilewati? Karena lintasan kapasitas maksimum yang terpilih, harus tidak boleh melewati kapasitas maksimum yang digambarkan sebagai kapasitas maksimum lintasan dengan titik awal 1 ke titik akhir n $(A^*)_{n1}$. Akibat selanjutnya ketika busur tersebut dilewati arus listrik yang melebihi $(A^*)_{n1}$, maka jika terjadi pada jaringan listrik maka akan berakibat yang saat ini digunakan untuk kabel transmisi listrik masih memiliki tahanan dalam, sehingga menyebabkan sebagian arus listrik yang dialirkannya berubah menjadi panas yang dikenal sebagai pemanasan Joule. Karena pemanasan Joule ini, jika kuat arus dalam kabel melebihi kapasitasnya maka kabel tersebut akan terbakar. (Sutrisni et al., 2019)

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian di atas, dapat digunakan algoritma maksimum minimum dalam mencari jaringan maksimum aliran listrik. Permasalahan yang dibahas pada penelitian ini menghasilkan solusi jaringan maksimum aliran listrik yang dihasilkan (S,A), (A,F), (F,T) atau (S,A), (A,E), (E,H), (H,K), (K,T). Pada metode menggunakan aljabar maksimum minimum ini, jika ingin mencari rute maksimum jaringan

listrik dengan jaringan yang lebih besar, harus dibuat matriks adjacency terlebih dahulu sebelum dimasukkan di dalam program Matlab. Hal ini membutuhkan ketelitian dalam memasukkan ke dalam program Matlab

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, S., & Ilyas, M. (2020). Penerapan Modifikasi Algoritma Ford-Fulkerson untuk Memaksimalkan Flow Pada Pengiriman Barang. *Infinity: Jurnal Matematika Dan Aplikasinya*, 1(1), 29–35. <https://doi.org/10.30605/27458326-18>
- Aksan, T. S. (2016). *PENERAPAN ALGORITMA FORD FULKERSON DAN ALGORITMA DINIC PADA PENCARIAN ALIRAN MAKSIMUM JARINGAN LISTRIK (Studi*.
- Farizal, T., & Suyitno, H. (2014). Unnes Journal of Mathematics PENCARIAN ALIRAN MAKSIMUM DENGAN ALGORITMA FORD-FULKERSON (Studi Kasus pada Jaringan Listrik Kota Tegal). *Unnes Journal of Mathematics*, 3(1), 12–19. <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/ujm>
- Mahesa, N. (2024). Implementasi Algoritma Edmond-Karp Pada Pencarian Aliran Maksimum. *Buletin Ilmiah Math. Stat. Dan Terapannya (Bimaster)*, 13(3), 331–338.
- Manurung, H., Ginting, T., Surbakti, A., & Harahap, A. J. (2023). Solving the maximum flow problem with the lift-to-front algorithm. *Jurnal Mantik*, 7(2).
- Marpaung, F., Arnita, A., & Sari, N. (2023). Maximal Flow of Transportation Network in Medan City Using Ford-Fulkerson Algorithm. *International Journal of Science, Technology & Management*, 4(1), 100–106. <https://doi.org/10.46729/ijstm.v4i1.724>
- Mustiko, P. J., Arifin, M., & Yuniarti, E. (2023). PENENTUAN ALIRAN ARUS MAKSIMUM PADA JARINGAN LISTRIK DENGAN MENERAPKAN ALGORITMA EDMONS KARP. *Jurnal Teknik Industri*, 116–122. <https://journal.universitassuryadarma.ac.id/index.php/jtin/article/view/1057>
- Rahayu, E. (2016). Penerapan Algoritma Cloning-Based Dan Algoritma Edmonds-Karp Dalam Penyelesaian Maximum Flow Problem. *Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*. <http://repository.unej.ac.id/handle/123456789/77870>
- Rahma, I. N., Permanasar, Y., & Respitawulan. (2016). Aplikasi Aliran Maksimum Pada Jaringan Listrik Menggunakan Metode Ford-Fulkerson. *Prosiding Matematika*, 2(2), 166–171.
- Rudhito, M. A. (2016). Aljabar max-plus dan penerapannya. *Universitas Sanata Dharma Yogyakarta*.
- SARAH, N. (2014). *PENENTUAN ALIRAN ARUS MAKSIMUM PADA JARINGAN LISTRIK DENGAN MENERAPKAN ALGORITMA EDMONS KARP*.
- Sumarti, F. (2017). Pencarian Aliran Makasimum Dengan Algoritma Ford-Fulkerson dan Modifikasinya. *Buletin Ilmiah Matematika, Statistika, Dan Terapannya (Bimaster)*, 6(1), 29–36.
- Sutrisni, N., Rosyida, I., & Asih, T. S. N. (2019). Implementasi Algoritma Edmonds Karp Dalam Pencarian Aliran Maksimum Pada Jaringan Listrik. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 6(1), 1. <https://doi.org/10.26555/konvergensi.v6i1.19543>
- Tanadi, K. (2007). *Analisis Kompleksitas Algoritma Untuk Menyelesaikan Permasalahan Maximum Flow*.
- Yoriko, N. P. (2019). *Penggunaan Algoritma Edmonds-Karp dalam Mencari Debit Air Maksimum dari Sitem Kanal Bawah Tanah*.