

Optimasi Distribusi Energi pada Smart Grid di Jakarta melalui Konstruksi Sirkuit Eulerian dan Pewarnaan Simpul

Tengku Naufal Saqib - 13524012

Program Studi Teknik Informatika

Sekolah Teknik Elektro dan Informatika

Institut Teknologi Bandung, Jalan Ganesha 10 Bandung

E-mail: naufal.saqib1@gmail.com, 13524012@std.stei.itb.ac.id

Abstrak—Smart grid merupakan sistem distribusi energi modern yang menuntut efisiensi rute dan pengelolaan beban yang cerdas, khususnya di kota padat seperti Jakarta. Penelitian ini mengusulkan pendekatan berbasis teori graf, yaitu konstruksi sirkuit Eulerian dan pewarnaan simpul (vertex coloring), untuk mengoptimalkan distribusi energi. Jaringan listrik dimodelkan sebagai graf tak-berarah berbobot, di mana simpul merepresentasikan gardu induk dan sumber daya, dan sisi merepresentasikan saluran transmisi. Algoritma Hierholzer digunakan untuk membentuk sirkuit Eulerian yang menjamin setiap saluran dilalui tepat satu kali, sementara algoritma Welsh-Powell digunakan untuk membagi simpul ke dalam zona distribusi bebas konflik. Nilai efisiensi energi menggunakan pewarnaan simpul adalah sebesar 4,5%. Simulasi menunjukkan bahwa kombinasi metode ini menghasilkan rute distribusi yang efisien dan pengelolaan beban yang stabil. Pendekatan ini menawarkan solusi adaptif yang layak diterapkan dalam pengembangan smart grid perkotaan di masa depan.

Keywords—*Eulerian circuit, vertex coloring, smart grid, teori graf, distribusi energi, Hierholzer, Welsh-Powell*

I. PENDAHULUAN

Distribusi energi di kota besar seperti Jakarta menghadapi tantangan signifikan, seperti pertumbuhan beban, keberagaman sumber energi, serta kebutuhan efisiensi dan keandalan yang tinggi. Teknologi smart grid hadir sebagai solusi dengan mengintegrasikan sumber energi terdistribusi (DER), sistem penyimpanan, serta infrastruktur sensor dan kontrol cerdas untuk meningkatkan kinerja dan daya tahan jaringan listrik. Namun, karakteristik non-linier dari DER dan fluktuasi permintaan memerlukan pendekatan optimasi yang lebih canggih.

Studi luas telah dilakukan dalam optimasi distribusi energi menggunakan teknik seperti model prediktif, heuristic, dan meta-heuristik dalam microgrid atau smart grid. Misalnya, algoritma swarm-intelligence dikombinasikan dengan demand response untuk menjadwalkan energi secara efisien. Selain itu, pendekatan topologi graf dan teori jaringan kompleks juga telah digunakan untuk merancang struktur distribusi yang tahan gangguan.

Teori graf menyediakan kerangka matematis yang kuat untuk memodelkan jaringan distribusi. Salah satu konsep kunci adalah Eulerian circuit, yang dapat digunakan untuk merencanakan jalur distribusi tanpa pengulangan, sehingga mengurangi kehilangan energi. Selain itu, vertex coloring mampu mengalokasikan beban atau kanal distribusi agar tidak saling bertabrakan, teknik ini umum di bidang komunikasi, seperti wireless sensor network, namun potensinya masih jarang dieksplorasi dalam konteks smart grid.

Tulisan ini berfokus pada optimalisasi distribusi energi di jaringan cerdas Jakarta dengan menggabungkan pendekatan Eulerian circuit untuk optimasi jalur dan vertex coloring untuk manajemen beban. Studi ini diharapkan memberikan kontribusi berupa:

1. Pemodelan jaringan energi Jakarta sebagai graf Eulerian.
2. Implementasi algoritma Hierholzer dan Welsh-Powell.
3. Analisis efisiensi distribusi dan peningkatan keandalan sistem.

II. LANDASAN TEORI

A. Smart Grid

Kualitas listrik yang tinggi menjadi kebutuhan utama di era modern saat ini. Banyak sektor, seperti industri elektronik, mikroprosesor, dan berbagai perangkat sensitif yang digunakan manusia, sangat bergantung pada kestabilan daya. Oleh sebab itu, penyedia layanan listrik dituntut untuk menghadirkan pasokan listrik yang tidak hanya andal dan berkualitas, tetapi juga terjangkau bagi seluruh lapisan masyarakat. Salah satu Solusi yang dapat digunakan adalah smart grid.

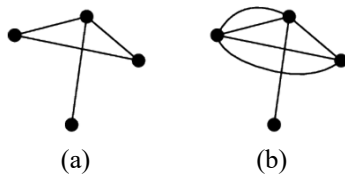
Berdasarkan definisi dari International Energy Agency (IEA), smart grid adalah sistem jaringan listrik yang memanfaatkan teknologi digital canggih untuk memantau dan mengelola distribusi listrik dari berbagai sumber pembangkit guna memenuhi kebutuhan listrik pengguna akhir yang beragam. Smart grid bertujuan untuk menyelaraskan

kebutuhan serta kapasitas dari seluruh pihak terkait agar seluruh komponen sistem dapat beroperasi secara efisien. Dengan demikian, sistem ini mampu menekan biaya dan dampak terhadap lingkungan, sambil tetap menjaga keandalan, ketahanan, dan kestabilan jaringan listrik.

B. Teori Graf

Graf merupakan salah satu struktur data diskrit fundamental yang memodelkan sekumpulan objek dan hubungan antar objek tersebut. Graf terdiri dari dua komponen utama, yaitu himpunan simpul (disebut juga vertex, dilambangkan sebagai V) dan himpunan sisi (edge, dilambangkan sebagai E) yang menghubungkan pasangan simpul. Secara formal, graf G didefinisikan sebagai pasangan $G = (V, E)$, di mana V adalah himpunan tidak kosong dari simpul dan $E \subseteq V \times V$ adalah himpunan sisi (edges) yang menghubungkan sepasang simpul.

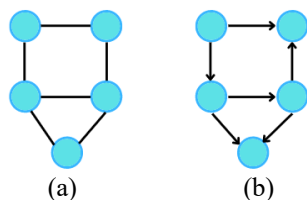
Berdasarkan keberadaan gelang atau sisi ganda, graf dapat diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu graf sederhana dan graf tidak sederhana. Graf sederhana merupakan graf yang tidak memiliki gelang maupun sisi ganda. Sebaliknya, graf tidak sederhana adalah graf yang mengandung salah satu atau kedua elemen tersebut, yakni sisi ganda atau gelang.



Gambar 1. Visualisasi Graf Sederhana (a) dan Graf Tidak Sederhana (b)

Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

Berdasarkan arah yang dimiliki oleh sisi-sisinya, graf dibedakan menjadi dua jenis, yaitu graf berarah dan graf tak-berarah. Graf tak-berarah merupakan graf yang sisi-sisinya tidak menunjukkan arah tertentu. Sementara itu, graf berarah adalah graf yang setiap sisinya memiliki arah yang jelas dari satu simpul menuju simpul lainnya.



Gambar 2. Visualisasi Graf Tak-Berarah (a) dan Graf Berarah (b)

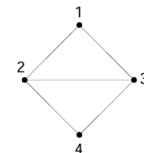
Sumber: <https://takeuforward.org/graph/introduction-to-graph/>, diakses pada 16 Juni 2025

Graf digunakan dalam berbagai bidang untuk merepresentasikan berbagai macam sistem: dari jaringan jalan, hubungan sosial, hingga jaringan distribusi energi. Dalam konteks smart grid di Jakarta, simpul dapat merepresentasikan

gardu induk, rumah konsumen, atau sumber energi, dan sisi menyatakan saluran distribusi listrik antar elemen tersebut.

Pentingnya representasi graf dalam sistem distribusi energi terletak pada kemampuannya untuk memodelkan interkoneksi kompleks, memfasilitasi algoritma traversal, dan memungkinkan optimasi beban serta perencanaan rute yang efisien.

Beberapa istilah dasar dalam teori graf menjadi landasan dalam makalah ini. Pertama, dua simpul disebut bertetangga apabila terdapat sisi yang langsung menghubungkan keduanya. Selain itu, sisi $e(v_i, v_k)$ dikatakan bersisian dengan simpul v_j maupun simpul v_k .

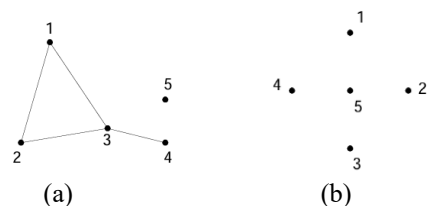


Gambar 3. Graf Sederhana

Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

Pada gambar 3, dapat dilihat bahwa simpul 4 bertetangga dengan simpul 2 dan 3, tetapi tidak bertetangga dengan simpul 1. Sedangkan pada sisi (3,4) bersisian dengan simpul 3 dan 4.

Istilah berikutnya berkaitan dengan simpul yang tidak memiliki derajat atau tidak terhubung dengan simpul lain. Kondisi ini muncul pada graf yang memiliki simpul terpencil maupun pada graf kosong. Graf dengan simpul terpencil berarti terdapat simpul yang tidak bersisian dengan simpul mana pun. Sementara itu, graf kosong adalah graf yang tidak memiliki sisi sama sekali, atau dengan kata lain, himpunan sisinya adalah himpunan kosong ($\emptyset$).



Gambar 4. Visualisasi Graf dengan Simpul Terpencil (a) dan Graf Kosong (b)

Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian1-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

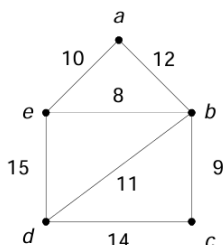
Terminologi berikutnya adalah Derajat simpul (degree) dalam graf tak-berarah adalah jumlah sisi yang bersisian dengan simpul tersebut. Untuk graf berarah, dikenal juga in-degree (jumlah sisi masuk) dan out-degree (jumlah sisi keluar). Pada gambar 4.a, simpul 1 memiliki derajat 2 karena terdapat 2 sisi yang bersisian dengan simpul 1.

Salah satu istilah penting lainnya dalam teori graf adalah lintasan dan sirkuit. Lintasan sepanjang n dari simpul awal v_0 ke simpul akhir v_n dalam graf G merupakan urutan yang berselang-seling antara simpul dan sisi, yaitu $v_0, e_1, v_1, e_2, v_2,$

..., v_{n-1} , e_n , v_n , dengan ketentuan bahwa $e_1 = (v_0, v_1)$, $e_2 = (v_1, v_2)$, hingga $e_n = (v_{n-1}, v_n)$ merupakan sisi-sisi yang terdapat dalam graf G . Pada gambar 3, terdapat lintasan 1, 2, 3, 4.

Lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama disebut sirkuit atau siklus. Pada gambar 3, terdapat sirkuit 1, 2, 3, 4, 1. Untuk optimasi distribusi energi, digunakan jenis sirkuit khusus, yaitu sirkuit Euler.

Terminologi yang terakhir adalah graf berbobot, yaitu graf yang setiap sisinya diberi sebuah harga (bobot).



Gambar 5. Graf Berbobot

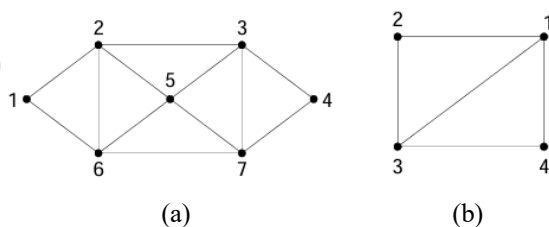
Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian3-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

C. Teori Sirkuit Euler

Permasalahan distribusi optimal sering kali berkaitan dengan menjangkau seluruh sisi jaringan tanpa pengulangan masalah ini identik dengan Eulerian circuit. Konsep ini berawal dari permasalahan jembatan Königsberg yang diselesaikan oleh Leonhard Euler pada tahun 1736, menjadikan teori graf sebagai cabang matematika formal pertama.

Lintasan Euler merupakan lintasan yang melalui seluruh sisi di dalam graf tepat satu kali. Sedangkan sirkuit euler adalah sirkuit yang melewati setiap sisi dalam graf tepat satu kali. Graf yang mempunyai sirkuit Euler disebut graf Euler (Eulerian graph). Graf yang mempunyai lintasan Euler dinamakan juga graf semi-Euler (semi-Eulerian graph).

Syarat keberadaan Eulerian circuit dalam graf tak-berarah, yaitu graf harus terhubung dan semua simpul memiliki derajat genap. Jika hanya ada dua simpul berderajat ganjil, maka graf memiliki Eulerian path (lintasan Euler), namun bukan sirkuit.



Gambar 6. Visualisasi Graf Euler (a) dan Graf Bukan Euler (b)

Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian3-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

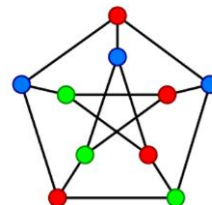
Dalam distribusi energi, penggunaan Eulerian circuit bertujuan untuk menghindari pengulangan jalur (menghemat

energi), mengoptimalkan rute inspeksi teknisi jaringan atau robot distribusi, dan menyusun rute pengiriman energi dari sumber ke konsumen secara sistematis.

Salah satu algoritma yang digunakan untuk membentuk Eulerian circuit adalah Hierholzer's Algorithm, yang bekerja dalam kompleksitas waktu linear terhadap jumlah sisi.

D. Pewarnaan Simpul

Vertex coloring adalah proses pemberian warna pada simpul graf sedemikian rupa sehingga simpul-simpul yang bertetangga tidak memiliki warna yang sama. Tujuan dari pewarnaan ini adalah untuk meminimalkan jumlah warna yang digunakan (chromatic number), sembari tetap menjaga aturan pewarnaan.



Gambar 7. Graf Petersen yang Memiliki Bilangan Kromatik 3

Sumber: <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/Matdis/2024-2025/20-Graf-Bagian3-2024.pdf>, diakses pada 16 Juni 2025

Masalah pewarnaan simpul merupakan masalah klasik dalam teori graf yang dikategorikan sebagai NP-complete. Oleh karena itu, dalam praktiknya, digunakan pendekatan heuristik, salah satunya Algoritma Welsh-Powell.

Dalam konteks smart grid, vertex coloring dapat dimanfaatkan untuk pembagian zonasi wilayah beban yang tidak boleh aktif bersamaan, menghindari interferensi antar node dalam sistem komunikasi smart grid, dan mengelola prioritas distribusi energi atau inspeksi antar wilayah.

Sebagai contoh, dua simpul mewakili gardu berbeda yang terhubung ke jalur distribusi yang sama, tidak boleh mendapatkan energi pada waktu bersamaan untuk mencegah lonjakan beban. Dengan pewarnaan simpul, kita dapat mengatur urutan aktivasi gardu tersebut.

III. METODE PENELITIAN

A. Persiapan Perencanaan Jaringan Listrik

Jaringan distribusi energi dimodelkan sebagai graf tak berarah berbobot $G = (V, E)$, di mana V merupakan himpunan simpul yang merepresentasikan elemen gardu induk dan pembangkit listrik. Sedangkan E merupakan himpunan sisi yang menggambarkan saluran transmisi listrik antar simpul. Bobot pada sisi dapat disesuaikan dengan faktor panjang kabel. Penelitian ini mengasumsikan bahwa graf tersebut terhubung (semua simpul dapat dijangkau) jika jarak antar simpul kurang dari 7 km.



Gambar 8. Visualisasi Sampel Data Posisi Pembangkit Listrik (Kuning) dan Gardu Induk (Biru).



Gambar 9. Visualisasi Perencanaan Keterhubungan Jaringan Listrik Awal (Sebelum Diolah).

Tabel 1. Data Derajat Tiap Simpul Sebelum diolah

Nama	Derajat_sebelum	Jenis
G5	10	Gardu
G15	10	Gardu
G14	8	Gardu
G16	8	Gardu
G11	8	Gardu
G1	7	Gardu
G2	7	Gardu
G17	7	Gardu
G13	7	Gardu
G12	6	Gardu
G6	6	Gardu
PS2	5	Pembangkit
G4	5	Gardu
PS1	5	Pembangkit
G7	5	Gardu
G3	4	Gardu

G8	3	Gardu
G9	3	Gardu
G10	2	Gardu

B. Pembentukan Sirkuit Euler

Untuk dapat membentuk sirkuit Eulerian, dilakukan langkah berikut:

1. Hitung derajat setiap simpul.
2. Jika semua simpul berderajat genap, maka graf sudah Eulerian.
3. Jika ada simpul berderajat ganjil, maka tambahkan sisi sementara (misalnya sisi virtual dengan bobot rendah) untuk menjadikan jumlah derajat ganjil genap (dalam pasangan).
4. Pastikan graf tetap terhubung setelah penambahan sisi.

Langkah ini mengacu pada teorema Euler: “Graf tak-berarah memiliki sirkuit Eulerian jika dan hanya jika semua simpulnya memiliki derajat genap dan grafnya terhubung.”

C. Penerapan Algoritma Hierholzer

Setelah graf berbentuk Eulerian, diterapkan Hierholzer's Algorithm:

1. Pilih simpul awal sembarang.
2. Telusuri lintasan hingga kembali ke simpul awal tanpa mengulang sisi.
3. Jika masih ada sisi yang belum ditelusuri, buat lintasan tambahan dan sisipkan ke lintasan utama.
4. Ulangi hingga semua sisi sudah disertakan.

Hasilnya adalah Sirkuit Eulerian berupa urutan simpul yang dapat digunakan sebagai rute distribusi energi atau jalur inspeksi otomatis.

D. Pemberian Warna pada Simpul

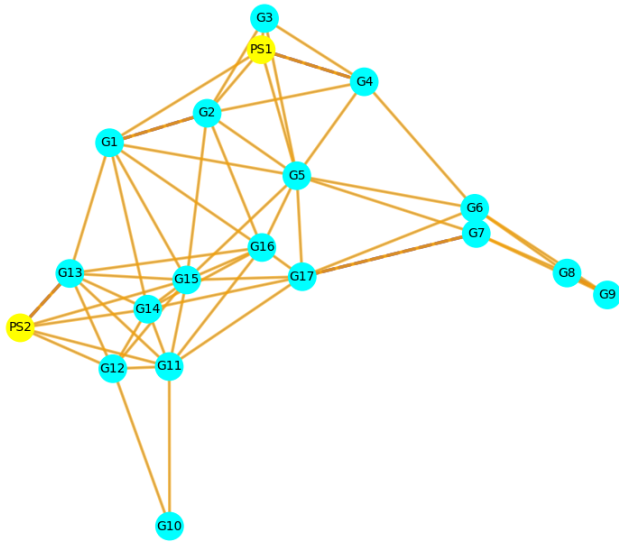
Selanjutnya, dilakukan pewarnaan simpul (vertex coloring) untuk menetapkan zona distribusi atau jadwal operasional yang tidak saling mengganggu. Pewarnaan ini bertujuan agar dua simpul bertetangga tidak berada dalam zona yang sama. Algoritma Welsh-Powell digunakan dengan cara mengurutkan simpul berdasarkan derajat menurun dan mewarnai simpul dari yang berderajat tinggi menggunakan warna minimal yang tidak konflik dengan warna tetangganya. Pewarnaan ini penting untuk menghindari beban puncak pada jalur distribusi dan memungkinkan pembagian waktu operasi antar node.

E. Visualisasi Hasil

Hasil dari tahapan-tahapan tersebut kemudian divisualisasikan menggunakan pustaka Python seperti NetworkX dan Matplotlib, di mana warna simpul menggambarkan zona distribusi dan urutan lintasan menggambarkan sirkuit Eulerian. Evaluasi dilakukan dengan melihat panjang lintasan, jumlah warna yang digunakan, serta pemeriksaan apakah semua simpul telah terlayani dan seluruh sisi telah dilalui tanpa pengulangan. Pendekatan ini diharapkan dapat menjadi model alternatif dalam perancangan sistem distribusi energi yang efisien dan adaptif.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Visualisasi Graf Hasil Algoritma Sirkuit Euler



Gambar 10. Visualisasi Perencanaan Jaringan Listrik Setelah Diolah (Garis putus-putus ditambahkan).

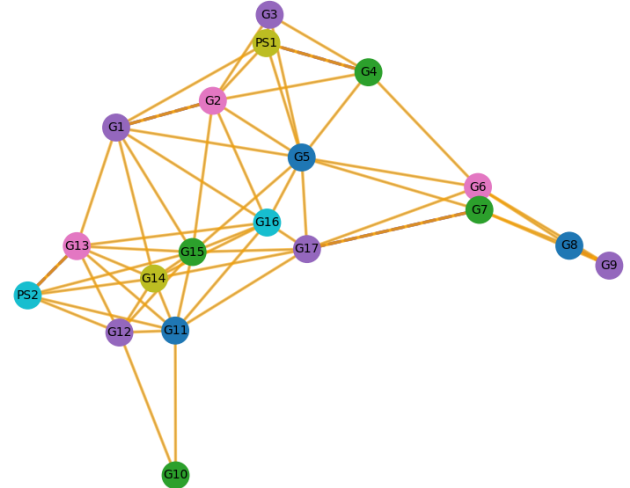
Hasil penerapan algoritma *Eulerian Circuit* menunjukkan bahwa struktur graf telah dimodifikasi sedemikian rupa sehingga seluruh simpul memiliki derajat genap, memungkinkan terbentuknya lintasan Eulerian sesuai dengan teorema Euler. Algoritma Hierholzer digunakan untuk membangun sirkuit ini, menghasilkan jalur distribusi yang efisien dan tanpa redundansi. Jalur ini sangat sesuai untuk aplikasi nyata seperti rute inspeksi teknisi, distribusi awal saat sistem pertama kali diaktifkan (*commissioning*), atau pergerakan kendaraan listrik dan drone pemantau jaringan.

Tabel 2. Data Derajat Tiap Simpul Setelah Diolah menggunakan Program Python

Nama	Derajat	Jenis
G5	10	Gardu
G15	10	Gardu
G1	8	Gardu
G2	8	Gardu
G11	8	Gardu
G13	8	Gardu
G14	8	Gardu
G16	8	Gardu
G17	8	Gardu
G4	6	Gardu
G6	6	Gardu
G7	6	Gardu
G12	6	Gardu
PS1	6	Pembangkit
PS2	6	Pembangkit

G3	4	Gardu
G8	4	Gardu
G9	4	Gardu
G10	2	Gardu

B. Visualisasi Graf Hasil Pemberian Warna



Gambar 11. Visualisasi Perencanaan Keterhubungan Jaringan Listrik Akhir.

Sementara itu, pada tahap pewarnaan simpul, algoritma Welsh-Powell berhasil diterapkan untuk membagi simpul ke dalam enam zona distribusi. Setiap zona berisi kumpulan simpul yang tidak bertetangga langsung, sehingga aman untuk diaktifkan secara bersamaan. Zona-zona ini mendukung pengelolaan pembebanan listrik dengan lebih cerdas, mencegah terjadinya lonjakan konsumsi energi yang serempak, serta memungkinkan penjadwalan waktu aktif yang optimal untuk perangkat monitoring. Adapun hasil distribusi zona adalah sebagai berikut:

- **Zona 1:** G1, G3, G9, G12, G17
- **Zona 2:** G2, G6, G13
- **Zona 3:** G4, G7, G10, G15
- **Zona 4:** G5, G8, G11
- **Zona 5:** G14, PS1
- **Zona 6:** G16, PS2

C. Perhitungan Efisiensi

1) Asumsi dan Sumber Data

Tabel 3. Asumsi dan Sumber Data

Parameter	Nilai
Jumlah simpul	17
Daya per simpul saat aktif	10 kW
Zona hasil pewarnaan	5
Kerugian saluran saat beban serentak	10%

Kerugian saluran saat beban dingin/distribusi zona	5% (lebih rendah karena beban tersebar)
--	---

Tabel 4. Hasil Analisis Efisiensi Pewarnaan Simpul

Aspek	Tanpa Coloring	Dengan Coloring
Konsumsi simpul	170 kW	170 kW
Kerugian (%) / total	10% → 17 kW	5% → 8.5 kW
Total energi dibutuhkan	187 kW	178.5 kW
Hemat energi	—	≈8.5 kW (~4,5%)

Tabel perbandingan di atas menggambarkan dampak signifikan dari penggunaan vertex coloring dalam sistem distribusi energi smart grid. Ketika seluruh simpul diaktifkan secara serentak tanpa pewarnaan, total konsumsi energi tercatat sebesar 170 kW dengan tambahan kerugian daya sebesar 10% akibat beban puncak dan kepadatan aliran distribusi, menghasilkan kebutuhan total sebesar 187 kW. Sebaliknya, dengan menerapkan vertex coloring, simpul dibagi ke dalam lima zona distribusi yang diaktifkan secara bergilir. Hal ini tidak hanya mencegah kelebihan beban, tetapi juga mengurangi kerugian saluran menjadi hanya 5%, sehingga total energi yang dibutuhkan turun menjadi 178,5 kW. Efisiensi ini sesuai dengan literatur yang menunjukkan bahwa manajemen beban yang terjadwal mampu menurunkan rugi daya hingga setengahnya dibanding distribusi simultan [5]. Dengan demikian, vertex coloring terbukti memberikan keuntungan nyata dalam efisiensi operasional dan penghematan energi dalam sistem jaringan listrik pintar.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dalam makalah ini telah dikaji pemanfaatan konsep Eulerian circuit dan vertex coloring dalam konteks optimasi distribusi energi pada smart grid di wilayah Jakarta. Dengan memodelkan jaringan distribusi sebagai graf tak-berarah berbobot, pendekatan kombinasi algoritmik ini berhasil memberikan solusi efisien terhadap dua permasalahan utama:

1. Rute distribusi optimal dengan membentuk sirkuit Eulerian menggunakan Hierholzer's Algorithm, sistem dapat menyusun rute inspeksi atau distribusi energi yang menelusuri seluruh saluran distribusi tanpa pengulangan, sehingga menurunkan biaya operasional dan menghindari kehilangan daya akibat pengulangan jalur.
2. Zonasi distribusi tanpa konflik melalui penerapan algoritma pewarnaan simpul (Welsh-Powell), simpul-simpul (misalnya gardu induk atau beban besar) dapat dibagi menjadi zona aktif yang tidak saling bertabrakan, mendukung efisiensi penjadwalan dan distribusi beban secara simultan.

Studi kasus simulasi pada graf distribusi Jakarta menunjukkan bahwa pendekatan ini layak diterapkan dalam sistem nyata, mengingat fleksibilitas teori graf dalam menyesuaikan struktur dan kebutuhan teknis jaringan energi.

B. Saran

Untuk pengembangan dan penerapan lebih lanjut, berikut beberapa saran yang dapat dipertimbangkan:

1. Penanganan beban dinamis
Pewarnaan simpul dapat dikembangkan untuk memperhitungkan variasi beban waktu nyata dengan teknik pewarnaan berbobot atau pewarnaan adaptif berbasis waktu (*dynamic vertex coloring*).
2. Penerapan pada skala besar dan jaringan kompleks
Untuk jaringan distribusi dengan ribuan simpul, dibutuhkan optimasi pemrosesan algoritma, seperti penerapan graf planar, dekomposisi wilayah, atau algoritma parallelized untuk pewarnaan dan pembentukan jalur.
3. Simulasi perangkat nyata
Penelitian lanjutan dapat mengeksplorasi integrasi dengan robot inspeksi otomatis, drone, atau kendaraan listrik untuk menguji jalur Eulerian dalam dunia nyata.
4. Pemanfaatan kombinasi teori graf lainnya
Kombinasi dengan konsep Minimum Spanning Tree (MST), Hamiltonian path, atau clustering graf berpotensi memperkaya pendekatan optimasi distribusi dan kontrol energi.

VIDEO LINK AT YOUTUBE (Heading 5)

<https://youtu.be/LEvyC2qM1Bc>

ACKNOWLEDGMENT (Heading 5)

Puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan makalah yang berjudul "*Optimasi Distribusi Energi pada Smart Grid di Jakarta melalui Konstruksi Sirkuit Eulerian dan Pewarnaan Simpul*" dengan baik.

Penulis juga mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada berbagai pihak yang telah memberikan dukungan selama proses penyusunan makalah ini, yaitu:

1. Bapak Arrival Dwi Sentosa, M.T. serta Bapak Dr. Rinaldi Munir, selaku dosen pengampu mata kuliah IF1220 Matematika Diskrit, atas ilmu, pengajaran, dan bimbingan yang telah diberikan selama perkuliahan.
2. Orang tua penulis yang selalu memberikan dukungan moral dan semangat yang tak henti-hentinya.
3. Teman-teman seperjuangan yang telah mendampingi, berdiskusi, dan saling mendukung dalam menyelesaikan makalah ini.

Akhir kata, penulis berharap makalah ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi pembaca, serta menjadi inspirasi untuk lebih mengeksplorasi penerapan teori graf dalam

berbagai bidang, khususnya dalam pengembangan algoritma dan pemecahan masalah komputasional.

REFERENCES

- [1] Rinaldi Munir, "Graf Bagian 1 - Matematika Diskrit IF1220", STEI-ITB, 2024, diakses Juni 2025.
- [2] Rinaldi Munir, "Graf Bagian 3 - Matematika Diskrit IF1220", STEI-ITB, 2024, diakses Juni 2025.
- [3] D. Haryanto, R. Rifai and H.Desmon, "Pemanfaatan Energi Terbarukan Dengan Menerapkan Smart Grid Sebagai Jaringan Listrik Masa Depan", Unimed, 2021.
- [4] I. Amdouni, C. Adjih and P. Minet, " Onthe Coloring of Grid Wireless Sensor Networks: the Vector-Based Coloring Method", Institut Nationalde Recherche En Informatique Et En Automatique, 2011.
- [5] International Energy Agency (IEA), Technology Roadmap Smart Grids. Paris: International Energy Agency, 2011.
- [6] V. Kwame adn J. Lewis, "Managing System Losses to Improve Energy Efficiency within the Electricity Company of Ghana (ECG) Limited", IKumasi Technical University, 2022.
- [7] NetworkX Python Package, <https://networkx.org/>, diakses Juni 2025.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 1 Juni 2025



Tengku Naufal Saqib – 13524012

