

**OPTIMASI LOKASI *CHARGING STATION* KENDARAAN LISTRIK DI
KOTA YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE *LOCATION
ALLOCATION***

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri Program Sarjana - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Ilham Cipta Putra Pratama
No. Mahasiswa : 20522039

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 24-07-2024



(Ilham Cipta Putra Pratama)
20522039

SURAT BUKTI PENELITIAN



FAKULTAS
TEKNOLOGI INDUSTRI

Gedung KH. Mas Mansur
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext. 4100, 4101
F. (0274) 895007
E. fti@uii.ac.id
W. fti.uui.ac.id

SURAT KETERANGAN PENELITIAN

Nomor: 014/Ka.Lab.Datmin/70/Lab.Datmin/X/2024

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Kami yang bertanda tangan dibawah ini, menerangkan bahwa mahasiswa dengan keterangan sebagai berikut :

Nama : Ilham Cipta Putra Pratama
No. Mhs : 20522039
Dosen Pembimbing : Danang Setiawan, S.T, M.T.

Telah selesai melaksanakan penelitian yang berjudul "Optimasi Lokasi Charging Station menggunakan Metode Set Covering dan P-Median berbasis Python" di Laboratorium Data Mining, Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia tercatat mulai tanggal 2 September sampai dengan tanggal 3 Oktober 2024.

Demikian surat keterangan kami keluarkan, agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 9 Oktober 2024

Kepala Laboratorium
Data Mining

Dr. Dwi Adi Purnama, S.T.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

**OPTIMASI LOKASI *CHARGING STATION* DI KOTA
YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE *SET COVERING*
PROBLEM DAN *P-MEDIAN***



Yogyakarta, 08-10-2024

Dosen Pembimbing

(Danang Setiawan S.T, M.T)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI**OPTIMASI LOKASI *CHARGING STATION* KENDARAAN LISTRIK DI KOTA
YOGYAKARTA MENGGUNAKAN METODE *LOCATION ALLOCATION*
TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh :

Nama : Ilham Cipta Putra Pratama

No. Mahasiswa : 20 522 039

Telah dipertahankan di depan sidang pengujian sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 15-11-2024

Tim PengujiDanang Setiawan, S.T., M.T.

Ketua

Wahyudhi Sutrisno, S.T., M.M., M.T

Anggota I

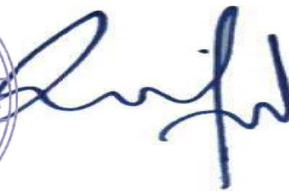
Chancard Basumerda, S.T., M.Sc

Anggota II



Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana
Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

**Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM.**

015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillah rabbil'alamin

Dengan mengucap rasa syukur kepada ALLAH SWT, Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada diri saya sendiri yang telah berjuang untuk tetap sehat, kuat, dan semangat dalam menjalankan semua tanggung jawab selama ini

Kepada keluarga saya, khususnya Ibu dan Alm. Bapak yang selalu mendoakan kelancaran dalam pengerjaan Tugas Akhir saya

Kepada Bapak Danang Setiawan, S.T, M.T., selaku dosen pembimbing saya yang selalu membimbing dengan sangat baik dan tanpa beliau, Tugas Akhir saya tidak akan dapat terselesaikan dengan baik

MOTTO

"The best way to predict the future is to create it." - Peter Drucker

KATA PENGANTAR

Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh,

Alhamdulillahirabbil'amin, puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, karunia, serta hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir. Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada suri tauladan kita Rasulullah Muhammad Shallallahu 'alaihi Wasallam beserta keluarga dan sahabat beliau yang telah turut membawa umat manusia menuju jalan yang diridhai Allah Subhanahu wa Ta'ala.

Dalam penulisan laporan ini, penulis sadari bahwa tanpa bantuan dari banyak pihak maka proses penyelesaian laporan ini tidak akan berjalan dengan baik. Banyak sekali bantuan, dukungan, semangat, serta do'a yang diberikan demi terselesaikannya laporan ini. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo., M.T., IPU, ASEAN.Eng selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. sebagai Ketua Jurusan Teknik Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. Selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Danang Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberi bimbingan kepada penulis.
5. Kepada kedua orang tua saya, Ibu Tyas, Alm Bapak Firman, adik saya Sekar dan Odi yang selalu mendoakan dan memberi semangat dalam menyelesaikan tugas akhir ini
6. Kepada Astrid Soraya Putri yang selalu membantu, menemani, dan memberikan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini dengan sabar.

Semoga Allah SWT memberikan balasan yang berlimpah atas semua kebaikan yang diberikan kepada penulis. Penulis menyadari bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini masih banyak terdapat kekurangan. Semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 8 Oktober 2024



Ilham Cipta Putra Pratama

ABSTRAK

Peningkatan jumlah kendaraan pribadi di Indonesia menunjukkan pertumbuhan ekonomi yang pesat, namun juga menyebabkan dampak negatif terhadap lingkungan akibat emisi karbon dari kendaraan bermotor berbahan bakar fosil. Pemerintah Indonesia menetapkan target untuk mengadopsi sekitar 15 juta kendaraan listrik pada tahun 2030 guna mengurangi emisi karbon, sesuai dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs). Salah satu tantangan utama dalam mencapai target tersebut adalah pengembangan infrastruktur pengisian daya yang memadai, khususnya dalam menentukan lokasi optimal untuk *charging station* kendaraan listrik. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan lokasi optimal *charging station* di Kota Yogyakarta dengan fokus pada minimisasi total jarak tempuh pengguna. Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *P-Median*, *Set covering problem* (SCP), dan *Maximal Coverage Location Problem* (MCLP). Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *P-Median* lebih efektif dalam mengoptimalkan total jarak tempuh pengguna dibandingkan metode lainnya. Selain itu, metode *P-Median* sangat cocok untuk pembangunan berkelanjutan karena memungkinkan penambahan *charging station* secara bertahap tanpa mengubah lokasi yang sudah ada. Dengan menggunakan metode *P-Median*, lokasi optimal untuk lima *charging station* adalah SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir, dengan total jarak tempuh 49.03 km dan jarak rata-rata sebesar 1.09 km. Dengan penempatan yang terencana, diharapkan dapat mengurangi total jarak tempuh pengguna untuk mengisi daya kendaraan listrik mereka serta meningkatkan efisiensi dan aksesibilitas infrastruktur pengisian daya. Metode *P-Median* menawarkan keseimbangan yang baik antara cakupan area dan efisiensi jarak tempuh, menjadikannya pilihan yang tepat untuk optimasi lokasi berdasarkan jarak *Euclidean*.

Kata Kunci: *Charging station, Optimasi, Location Allocation*

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING.....	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vi
MOTTO.....	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Kajian Literatur	7
2.2 Landasan Teori.....	17
2.2.1. <i>Set covering problem (SCP)</i>	17
2.2.2. <i>P-Median Model</i>	18
2.2.3. <i>K-Means Clustering</i>	19
2.2.4. <i>Maximal Coverage Location Problem</i>	20
2.2.5. <i>Euclidean Distance</i>	20
2.2.6. <i>Python Optimization</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN.....	22
3.1 Objek Penelitian	22
3.2 Metode Pengumpulan Data	22
3.3 Jenis dan Sumber Data	22
3.4 Alur Penelitian.....	23
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	26
4.1 Pengumpulan Data	26
4.2 Pengolahan Data.....	28
4.2.1 Output Skenario <i>Set covering problem</i> dengan Python.....	28
4.2.2 Output Skenario <i>P-Median</i> dengan Python	36
4.2.3 Output Skenario <i>K-Means Clustering</i> dengan Python	49
4.2.4 Output Skenario MCLP dengan Python	62
4.2.5 Perbandingan Hasil.....	70
BAB V ANALISA DAN PEMBAHASAN	75
5.1 Evaluasi Hasil Seluruh Metode.....	75
5.2 Evaluasi Hasil Penentuan Lokasi <i>Charging station</i>	78
BAB VI PENUTUP	81
6.1 Kesimpulan.....	81

6.2	Saran.....	81
	DAFTAR PUSTAKA	82
	LAMPIRAN	84

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kajian Literatur	14
Tabel 4. 1 Koordinat Kelurahan	26
Tabel 4. 2 Koordinat SPBU.....	27
Tabel 4. 3 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.3 km.....	29
Tabel 4. 5 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.5 km.....	32
Tabel 4. 6 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.7 km.....	34
Tabel 4. 7 <i>Coverage</i> Skenario 4 <i>Charging station</i>	37
Tabel 4. 8 <i>Coverage</i> Skenario 5 <i>Charging station</i>	40
Tabel 4. 9 <i>Coverage</i> Skenario 6 <i>Charging station</i>	42
Tabel 4. 10 <i>Coverage</i> Skenario 7 <i>Charging station</i>	45
Tabel 4. 11 <i>Coverage</i> Skenario 8 <i>Charging station</i>	47
Tabel 4. 12 <i>Coverage</i> Skenario 4 <i>Cluster</i>	50
Tabel 4. 13 <i>Coverage</i> Skenario 5 <i>Cluster Charging station</i>	53
Tabel 4. 14 <i>Coverage</i> Skenario 6 <i>Cluster Charging station</i>	55
Tabel 4. 15 <i>Coverage</i> Skenario 7 <i>Cluster Charging station</i>	58
Tabel 4. 16 <i>Coverage</i> Skenario 8 <i>Cluster Charging station</i>	60
Tabel 4. 17 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.3 km <i>Charging station</i>	63
Tabel 4. 18 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.5 km <i>Charging station</i>	66
Tabel 4. 19 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.7 km <i>Charging station</i>	68
Tabel 4. 20 Hasil <i>Set covering problem</i>	70
Tabel 4. 21 Hasil <i>P-Median</i>	71
Tabel 4. 22 Hasil <i>K-Means Clustering</i>	72
Tabel 4. 23 Hasil Set MCLP	73
Tabel 5. 1 Perbandingan Metode.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Perbandingan Emisi CO ₂ pada Mobil (g/km).....	1
Gambar 1. 2 Volume Penjualan Mobil Listrik di Indonesia Tahun 2022-2024.....	2
Gambar 3. 1 Alur Penelitian.....	23
Gambar 4. 1 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.3 km	29
Gambar 4. 2 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.5 km	31
Gambar 4. 3 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.7 km	34
Gambar 4. 4 <i>Coverage</i> Skenario 4 <i>Charging station</i>	37
Gambar 4. 5 <i>Coverage</i> Skenario 5 <i>Charging station</i>	39
Gambar 4. 6 <i>Coverage</i> Skenario 6 <i>Charging station</i>	42
Gambar 4. 7 <i>Coverage</i> Skenario 7 <i>Charging station</i>	44
Gambar 4. 8 <i>Coverage</i> Skenario 8 <i>Charging station</i>	47
Gambar 4. 9 <i>Coverage</i> Skenario 4 <i>Cluster</i>	50
Gambar 4. 10 <i>Coverage</i> Skenario 5 <i>Cluster</i>	52
Gambar 4. 11 <i>Coverage</i> Skenario 6 <i>Cluster</i>	55
Gambar 4. 12 <i>Coverage</i> Skenario 7 <i>Cluster</i>	57
Gambar 4. 13 <i>Coverage</i> Skenario 8 <i>Cluster</i>	60
Gambar 4. 14 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.3 km	63
Gambar 4. 15 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.5 km	65
Gambar 4. 16 <i>Coverage</i> Skenario Radius 2.7 km	68
Gambar 5. 1 Persebaran <i>Charging Station</i>	79

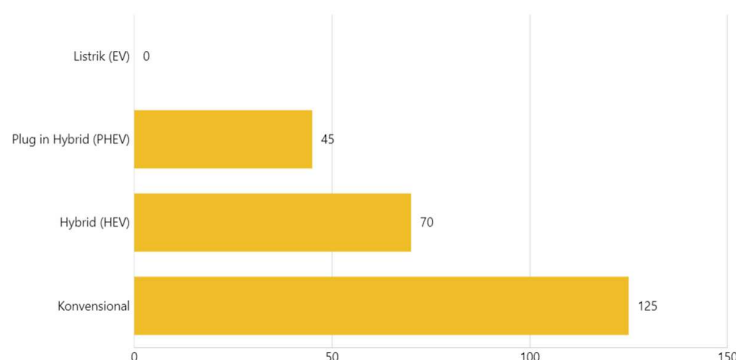
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kendaraan pribadi di Indonesia mengalami pertumbuhan dengan cepat seiring bertumbuhnya ekonomi di Indonesia. Kendaraan pribadi berdampak negatif terhadap lingkungan, yang berasal dari emisi dari kendaraan berbahan bakar fosil yang berkontribusi pada polusi udara dan perubahan iklim. Pemerintah Indonesia telah berkomitmen untuk mengurangi emisi karbon dengan menargetkan adopsi sekitar 15 juta kendaraan listrik pada tahun 2030, sesuai dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) untuk membentuk lingkungan dengan energi bersih dan menekan emisi CO₂ sebesar 29% hingga 41% (Cakrawati Sudjoko, 2021).

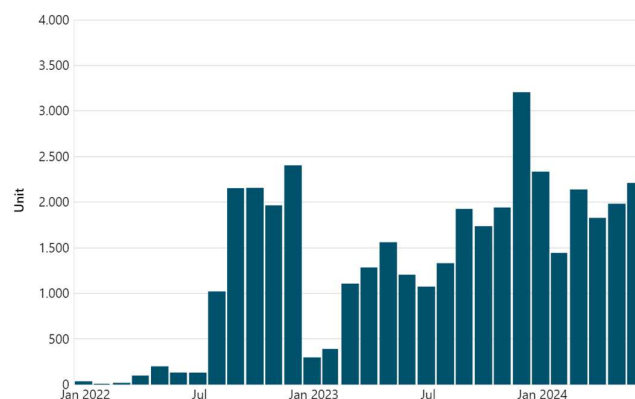
Dilansir dari kominfo.go.id, emisi dari kendaraan bermotor menjadi salah satu penyumbang utama polusi udara. Pertumbuhan kendaraan bermotor terus meningkat sebanyak 5,7% untuk sepeda motor dan 6,7% untuk mobil pribadi (Kementerian Kominfo, 2023). Pertumbuhan kendaraan bermotor ini berdampak terhadap polusi udara yang terus meningkat. Terdapat beberapa jenis kendaraan di Indonesia seperti kendaraan yang umum berbasis *Internal Combustion Engine* (ICE), *Hybrid Electric Vehicle* (HEV), *Plug-in Hybrid Electric Vehicle* (PHEV) dan *Electric Vehicle* (EV). *Electric Vehicle* merupakan kendaraan dengan *zero emission* yang berarti tidak ada emisi CO₂ yang dihasilkan pada kendaraan saat berjalan. Masing masing jenis kendaraan memiliki emisi gas buang yang berbeda seperti yang dapat dilihat pada gambar 1.1 di bawah ini:



Gambar 1. 1 Perbandingan Emisi CO₂ pada Mobil (g/km)

(sumber: <https://databoks.katadata.co.id>)

Penggunaan energi yang ramah lingkungan dapat dipercepat salah satunya dengan percepatan pengembangan kendaraan listrik serta infratrukturnya, sesuai dengan Perpres No 55 tahun 2019. Kendaraan listrik juga muncul sebagai solusi untuk menangani emisi dan polusi udara untuk menuju *net zero emission*. Pada tahun 2020, persentase pembelian mobil listrik di Indonesia masih tergolong sangat rendah yaitu 0.15% yaitu sekitar 230 dari 150.000 unit mobil listrik yang terjual (Prastyono & Sandrina, 2024). Upaya pemerintah dalam meningkatkan penggunaan kendaraan listrik dengan melakukan konversi kendaraan konvensional menjadi kendaraan dengan baterai listrik. Sejumlah regulasi telah diterbitkan, pada Peraturan Menteri Perhubungan No 15 tahun 2022, pemerintah berusaha untuk memberikan kemudahan bagi masyarakat yang ingin melakukan konversi kendaraan menjadi berbasis listrik (Kementerian Perhubungan, 2022), dan kini sejumlah transportasi umum kini telah menggunakan armada berupa kendaraan listrik. Dalam 2 tahun terakhir, tren mobil listrik mengalami lonjakan peningkatan penjualannya. Berbagai merk otomotif ternama terus gencar dalam mengembangkan dan meningkatkan penjualan mobil listrik. Beberapa keunggulan mobil listrik menjadi pertimbangan sebagian kalangan masyarakat Indonesia untuk beralih dari mobil dengan bahan bakar bensin, seperti pemakaian energi yang lebih murah, akselerasi mesin yang baik, perawatan yang relatif lebih mudah dan murah, hingga peraturan pemerintah seperti pembebasan pajak kendaraan hingga bebas ganjil genap. Pada gambar 1.2 di bawah ini merupakan grafik penjualan mobil listrik di Indonesia tahun 2022-2024:



Gambar 1. 2 Volume Penjualan Mobil Listrik di Indonesia Tahun 2022-2024

(sumber: <https://databoks.katadata.co.id>)

Pemerintah Indonesia menetapkan target untuk meningkatkan pengguna kendaraan listrik. Berbagai regulasi yang mendukung seperti membebaskan kendaraan listrik dari PKB (Pajak Kendaraan Bermotor) diharapkan dapat meningkatkan jumlah pengguna kendaraan

listrik. Pemerintah mempunyai target 15 juta kendaraan listrik pada tahun 2030 yang diharapkan sudah digunakan di Indonesia, dan untuk mencapai target tersebut, diperlukan infrastruktur pendukung yang memadai untuk memastikan keberhasilan transisi tersebut, supaya lebih menarik perhatian konsumen.

Salah satu tantangan utama dalam transisi menuju kendaraan listrik adalah ketersediaan infrastruktur pengisian daya yang menunjang ekosistem kendaraan listrik di Indonesia. *Charging station* atau Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum yang disingkat SPKLU merupakan infrastruktur paling penting untuk meningkatkan fleksibilitas pengguna kendaraan listrik. Dilansir dari jpn.com, Pengamat transportasi Djoko Setijowarno mengatakan bahwa keberadaan infrastruktur Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) sangat penting dalam menunjang ekosistem kendaraan listrik (Robia, 2021). Oleh karena itu, hal ini menjadi tantangan utama dalam adopsi kendaraan listrik di Indonesia, khususnya Kota Yogyakarta yang jumlah *charging station* untuk kendaraan listrik yang ada masih belum mencukupi untuk memenuhi kebutuhan pengguna kendaraan listrik yang terus meningkat. Hal ini tentu menjadi hambatan dalam mendorong penggunaan kendaraan listrik menjadi lebih luas.

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota yang ramai dikunjungi dan merupakan salah satu destinasi wisata terkemuka di Indonesia yang menarik banyak pengunjung dari berbagai daerah, baik domestik maupun internasional. Kota Yogyakarta mencatat pertumbuhan ekonomi yang baik, dilansir dari *website* resmi Badan Pusat Statistik Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta, pertumbuhan ekonomi pada triwulan 1 tahun 2024 mengalami pertumbuhan sebesar 5.02 persen. Dengan kepadatan penduduk maupun turis yang hadir, tentunya terdapat tantangan dalam melakukan penentuan lokasi optimal di daerah perkotaan yang padat seperti Yogyakarta, dimana efisiensi ruang, aksesibilitas, dan jarak tempuh menjadi faktor utama. *Charging station* kendaraan listrik di Kota Yogyakarta, jumlahnya masih tergolong sedikit dan tidak merata, hanya terdapat di tempat seperti Ambarrukmo Plaza, Hotel New Saphir, dan Riss hotel Malioboro. Tantangan ini semakin menunjukkan pentingnya penelitian ini untuk menemukan solusi yang lebih baik dalam penentuan lokasi optimal *charging station* guna meningkatkan fleksibilitas masyarakat dan meningkatkan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik yang masih kurang.

SPBU dipilih sebagai kandidat lokasi utama untuk pembangunan *charging station* karena memiliki keunggulan strategis. SPBU sudah memiliki infrastruktur fisik yang ada, seperti jaringan distribusi listrik yang kuat serta lahan yang memadai. Dengan adanya

infrastruktur yang sudah tersedia, biaya investasi tambahan untuk pembangunan *charging station* dapat diminimalisir dibandingkan dengan membangun fasilitas baru di lokasi yang sepenuhnya baru. Selain itu, SPBU tersebar di berbagai lokasi strategis yang sudah familiar di mata masyarakat. Lokasi ini telah ditentukan berdasarkan studi kebutuhan pengisian bahan bakar kendaraan, yang juga dapat diadopsi untuk memenuhi kebutuhan energi kendaraan listrik. Hal ini dapat memungkinkan *charging station* yang akan dibuat untuk dapat menjangkau pengguna dengan mudah, tanpa perlu menambah lokasi baru yang memerlukan analisis yang panjang. SPBU sebagai tempat pengisian energi juga membuat transisi ke *charging station* menjadi lebih mudah diterima. Dengan memanfaatkan infrastruktur yang sudah ada, waktu pembangunan serta implementasi *charging station* dapat lebih cepat dilakukan.

Metode *Location Allocation* akan digunakan untuk mengoptimalkan lokasi *charging station* dengan mempertimbangkan jarak *Euclidean* dan cakupan wilayah. Kedua metode ini memungkinkan pemilihan lokasi strategis yang dapat menjangkau seluruh wilayah Kota Yogyakarta. Tidak hanya mempertimbangkan efisiensi jarak, metode ini juga memastikan bahwa tiap wilayah dapat terjangkau oleh satu *charging station* dalam radius tertentu, sehingga dapat meminimalkan jumlah stasiun yang perlu dibangun. Untuk mendukung perhitungan optimasi ini, *Python* dipilih sebagai bahasa pemrograman utama karena memiliki berbagai keunggulan dalam kemampuan pengolahan data spasial dan perhitungan optimasi yang kompleks. Dengan *library* seperti *Pandas*, *Numpy*, *Scipy*, serta *Matplotlib* yang memiliki fungsi masing masing untuk memudahkan peneliti dalam mendapatkan hasil yang optimal. Kombinasi antara *Set covering problem* dan *P-Median* yang diimplementasikan dalam *Python* memastikan bahwa proses identifikasi lokasi *charging station* dilakukan secara efisien, mempercepat proses analisis serta meminimalkan risiko kesalahan perhitungan manual.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, berikut rumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini:

1. Bagaimana menentukan lokasi optimal *charging station* kendaraan listrik di Kota Yogyakarta agar memastikan aksesibilitas yang merata bagi pengguna kendaraan listrik?
2. Bagaimana meminimalkan jarak *Euclidean* antara lokasi permintaan dan fasilitas untuk meningkatkan efisiensi waktu?

1.3 Tujuan Penelitian

Berikut merupakan tujuan dari penelitian ini:

1. Menentukan lokasi optimal *charging station* kendaraan listrik untuk meningkatkan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik yang masih kurang serta meningkatkan aksesibilitas dan kemudahan bagi pengguna kendaraan listrik
2. Meminimalkan jarak *Euclidean* yang harus ditempuh pengguna kendaraan listrik untuk efisiensi waktu

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini:

1. Bagi Pembaca
 - a. Dapat memahami pendekatan dalam menentukan lokasi optimal terhadap pembangunan *charging station* kendaraan listrik di Kota Yogyakarta
 - b. Dapat digunakan sebagai dasar dari perencanaan infrastruktur yang lebih efektif dan efisien, serta memastikan distribusi merata dan aksesibilitas bagi pengguna kendaraan listrik
 - c. Dapat memberikan wawasan tentang pentingnya pengembangan infrastruktur kendaraan listrik untuk mendukung transisi energi yang lebih ramah lingkungan
2. Bagi Mahasiswa
 - a. Menambah pengetahuan serta mengimplementasikan keilmuan teknik industri khususnya dalam konteks pengembangan infrastruktur
 - b. Mendapat pengalaman dalam mengumpulkan data dan menganalisis data sekunder, serta menggunakan teori dan metode optimasi yang dipelajari semasa kuliah untuk memecahkan masalah nyata yang relevan dengan kebutuhan masyarakat dan perkembangan teknologi
 - c. Meningkatkan keterampilan secara teknis dan analitis dalam penelitian

1.5 Batasan Penelitian

Berikut merupakan Batasan dari penelitian ini:

1. Metode penelitian yang digunakan adalah *Set covering problem* dan *P-Median* untuk menentukan lokasi optimal *charging station* dengan hanya mempertimbangkan jarak *Euclidean* tanpa memperhitungkan kapasitas *charging station*

2. Lokasi penelitian difokuskan hanya di wilayah Kota Yogyakarta
3. Penempatan *charging station* dilakukan pada SPBU yang sudah ada, tanpa mempertimbangkan pembangunan fasilitas baru di lokasi lain

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Pada bagian ini akan berisikan *State of The Art* (SOTA) dari topik yang sudah diteliti, penelitian serupa yang sudah dilakukan sebelumnya akan dianalisis untuk dijadikan usulan dan saran bagi penelitian yang akan datang. Penelitian yang dilakukan oleh (Ramadhan et al., 2024) yang berjudul “*Comparative study on determining warehouse locations using set-covering and P-Median*” menggunakan dua metode yang berbeda untuk menentukan lokasi gudang yang optimal. Metode *Set covering* digunakan untuk meminimalkan jumlah gudang yang dibutuhkan, sedangkan *P-Median* digunakan untuk meminimalkan total jarak dan biaya distribusi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Set covering* menghasilkan 13 gudang dengan total jarak 1301 Km, sedangkan *P-Median* menghasilkan 16 gudang dengan total jarak 941 Km. Peneliti menyarankan untuk melakukan penelitian lebih lanjut dengan mengkombinasikan kedua metode tersebut untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal dari segi jumlah gudang dan efisiensi distribusi.

Penelitian yang dilakukan oleh (Bangun et al., 2022) yang berjudul “*Set covering Model Using Greedy Heuristic Algorithm to Determine The Temporary Waste Disposal Sites in Palembang*” menggunakan model *Set covering Location Problem* (SCLP) dan *P-Median* untuk menentukan lokasi optimal Tempat Pembuangan Sementara (TPS) di Kecamatan Sako, Palembang. Dalam penelitian ini, algoritma *Greedy Heuristic* digunakan sebagai pendekatan heuristik, dan dibandingkan dengan model SCLP dan *P-Median* yang diselesaikan menggunakan *software* Lingo 18.0. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model SCLP menghasilkan 6 TPS optimal, sementara algoritma *Greedy Heuristic* menghasilkan solusi yang berbeda dengan merekomendasikan penambahan 14 TPS tambahan untuk memenuhi permintaan di Kecamatan Sako. Peneliti merekomendasikan penggunaan algoritma *Greedy Heuristic* sebagai solusi optimal dan menyarankan penerapan metode heuristik lain seperti *Genetic Algorithm* atau *Hill Climbing* untuk penelitian selanjutnya, serta mempertimbangkan faktor tambahan seperti kapasitas TPS dan rute transportasi sampah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Aslan Özşahin & Erdebilli, 2023) yang berjudul “*Statistical-machine-learning-based intelligent relaxation for set-covering location models to*

identify locations of charging stations for electric vehicles” menggunakan model *Set covering Location Model* (SCLM) yang dipadukan dengan machine learning berbasis statistik untuk menentukan lokasi optimal dari stasiun pengisian kendaraan listrik (EVCS). Model ini dirancang untuk menangani variasi jarak perjalanan dalam konteks penyebaran stasiun pengisian kendaraan listrik yang tepat waktu di Ibu Kota Denmark. Hasil penelitian menunjukkan bahwa model ini efektif dalam menentukan lokasi EVCS yang sepenuhnya mencakup wilayah tersebut dalam jarak akses yang telah ditentukan. Penelitian ini juga membandingkan hasil dari model *Original SCLM*, *SCLM relaxation*, dan *SML-based intelligent SCLM*, serta menyarankan penerapan model ini di wilayah lain dengan mempertimbangkan variasi jarak perjalanan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Leutwiler & Corman, 2023) yang berjudul “*Set covering heuristics in a Benders decomposition for railway timetabling*” memperkenalkan pendekatan inovatif dalam menangani masalah penjadwalan kereta api mikro, terutama dalam melakukan perubahan taktis jangka pendek pada jadwal yang sudah ada. Dengan menggunakan *Decomposition Benders*, penelitian ini memisahkan permasalahan penjadwalan menjadi dua bagian: permasalahan *set covering* yang bertugas mengevaluasi kualitas jadwal, dan permasalahan penjadwalan yang memastikan kelayakan jadwal. Pendekatan ini berhasil menghasilkan solusi berkualitas tinggi dalam waktu yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional yang digunakan oleh solver komersial, seperti Gurobi dan Z3. *Set covering Heuristic* yang diusulkan dapat mempercepat proses hingga 20 kali lipat, meskipun dengan deviasi perencanaan rata-rata sebesar 7,5% dibandingkan solusi optimal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode *Benders Decomposition* dengan pendekatan *Set covering Heuristic* memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam penjadwalan kereta api, meskipun masih diperlukan penelitian lanjutan untuk mengoptimalkan kinerja heuristik yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ahmad et al., 2022) yang berjudul “*Optimal location of electric vehicle charging station and its impact on distribution network: A review*” membahas tantangan utama dalam penentuan lokasi optimal stasiun pengisian kendaraan listrik (EVCS) dan dampaknya terhadap jaringan distribusi. Penelitian ini meninjau berbagai pendekatan, fungsi objektif, kendala, dan teknik optimasi yang telah digunakan dalam studi sebelumnya, serta mengkaji dampak lingkungan dan ekonomi dari EVCS. Hasilnya menunjukkan bahwa penempatan EVCS yang optimal dapat mempengaruhi parameter

jaringan distribusi dan keputusan pengguna EV, dengan algoritma metaheuristik menunjukkan performa terbaik dalam menyelesaikan masalah ini.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zhou et al., 2022) yang berjudul "*Location Optimization of electric vehicle charging stations: Based on cost model and Genetic Algorythm*" membahas model optimasi lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik dengan pendekatan model *Social Total Cost Model* dan *Genetic Algorythm*. Studi ini berfokus pada meminimalkan biaya pembangunan dan operasional stasiun pengisian, dengan memperhitungkan biaya lingkungan seperti emisi karbon dioksida. Mengambil contoh negara Irlandia, penelitian ini menyederhanakan wilayah menjadi grid untuk mensimulasikan distribusi optimal dari 670 stasiun pengisian. Analisis sensitivitas menunjukkan bahwa biaya total sangat dipengaruhi oleh jumlah stasiun pengisian dan permintaan pengisian harian. Hasil ini memberikan panduan penting bagi pembuat kebijakan dalam mengelola kebijakan pengisian pintar dan potensi energi terbarukan untuk memenuhi permintaan EV di masa depan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Gong et al., 2019) yang berjudul "*Solving Location Problem for Electric Vehicle Charging stations - A Sharing Charging Model*" berfokus pada pemecahan masalah lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik publik (PUEV) untuk meningkatkan tingkat berbagi pengisian daya. Studi ini mengembangkan model *Non-deterministic Polynomial (NP)* dan model berbasis agen untuk mengoptimalkan lokasi stasiun pengisian berdasarkan faktor-faktor seperti prioritas permintaan, jarak tempuh, distribusi PUEV, dan distribusi penumpang. Melalui studi kasus di Beijing, penelitian ini mengidentifikasi bahwa distribusi yang tidak merata dari stasiun pengisian menyebabkan ketidakseimbangan antara permintaan dan pasokan. Model yang diusulkan dapat diterapkan pada penentuan lokasi stasiun pengisian EV di kota metropolitan yang padat penduduk, dengan mempertimbangkan penyesuaian terhadap layout stasiun yang ada untuk meningkatkan efisiensi pengisian.

Penelitian yang dilakukan oleh (Vianna, 2019) yang berjudul "*The Set covering problem applied to optimisation of gas detectors in chemical process plants*" memperkenalkan metode inovatif untuk mengoptimalkan jumlah dan lokasi detektor gas di pabrik kimia dengan menggunakan pendekatan *Set covering problem (SCP)*. Penelitian ini menggabungkan data *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan algoritma Balas untuk memecahkan masalah optimasi diskret dalam sebuah kode Fortran yang dikembangkan. Setiap sel komputasi dianggap sebagai grafik yang dihubungkan oleh sisi-sisi bersama yang dibentuk oleh sel-sel

tetangga. Pendekatan ini berfokus pada pola warna dalam matriks kedekatan yang merepresentasikan himpunan kendala dalam formulasi optimasi. Algoritma yang dikembangkan dapat menghasilkan matriks kedekatan untuk hingga 16.000 sel dalam beberapa jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi *Generator Graf Algorhythm* (GGA) dan prosedur Balas untuk masalah integer 0-1 mampu mengoptimalkan jumlah detektor gas dalam area proses kimia nyata dengan jumlah simulasi dispersi gas CFD yang lebih sedikit. Metode ini juga menunjukkan efisiensi yang tinggi dalam mendeteksi awan gas yang mudah terbakar dengan volume sekecil beberapa meter kubik dalam waktu kurang dari 10 detik.

Penelitian yang dilakukan oleh (Rahman et al., 2021) yang berjudul "*Location-allocation modeling for emergency evacuation planning with GIS and remote sensing: A case study of Northeast Bangladesh*" mengembangkan model untuk mengidentifikasi distribusi spasial optimal dari pusat evakuasi darurat (EECs) di wilayah Sylhet, Bangladesh. Model *location-allocation* (LAM) digunakan untuk meminimalkan risiko bencana dengan memetakan daerah rawan banjir menggunakan machine learning models (MLMs) seperti Levenberg–Marquardt back propagation (LM-BP) dan decision trees (DT). Studi ini menemukan bahwa distribusi EEC yang ada belum optimal, dan beberapa daerah tidak terlayani dengan baik dalam waktu tempuh 60 menit. Model yang diusulkan dapat digunakan untuk meningkatkan perencanaan distribusi EECs, yang dapat berkontribusi dalam mengurangi korban jiwa, kerugian properti, dan meningkatkan operasi darurat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Puspita et al., 2023) yang berjudul "*Formulation of Set covering problem Using Myopic Algorithm and Greedy Reduction Algorithm in Determining the Location of Temporary Landfills in Semambu Island Village, Ogan Ilir Regency, South Sumatra*" membahas penerapan *Set covering problem* (SCP) dalam merancang lokasi optimal Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPSS) di Desa Pulau Semambu. Penelitian ini menggunakan Myopic Algorithm (MA) dan Greedy Reduction Algorithm (GRA) dengan membandingkan jarak maksimum 500m dan 1000m untuk mendapatkan solusi terbaik dari dua metode tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa lokasi TPSS yang dihasilkan dari perhitungan *P-Median Problem* dengan menggunakan LINGO 13.0 dan MA pada jarak maksimum 500m dan 1000m menunjukkan kesamaan lokasi TPSS di beberapa Wilayah Administrasi (WA). Pada jarak 500m, lokasi TPSS yang optimal terletak di WA 1, 2, 3, 4, dan 5, sedangkan pada jarak 1000m, lokasi optimal berada di WA 1, 2, dan 3. Penggunaan GRA menghasilkan empat lokasi TPSS yang optimal, yaitu di Dusun 1, 2, 3, dan 5, dengan dua

solusi dominan pada Kolom 2 dan 5. Berdasarkan hasil analisis ini, disarankan agar TPSS ditempatkan pada lokasi yang paling dekat dengan titik permintaan di setiap dusun di Desa Pulau Semambu, seperti yang tertera pada Tabel 31, Tabel 32, dan ditampilkan secara jelas pada Gambar 1 dan Gambar 2. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat mempertimbangkan faktor-faktor populasi dalam menentukan lokasi TPSS.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nugraha & Riano, 2024) yang berjudul "*Optimizing the Placement of Fighter Aircraft Squadrons Using the Set covering problem (SCP) Method in Indonesia*" membahas perencanaan tata letak dan fasilitas dalam konteks pertahanan nasional Indonesia. Indonesia yang berbatasan langsung dengan tiga negara sering kali menghadapi ancaman infiltrasi, dan salah satu tantangan utama adalah menentukan lokasi optimal bagi skuadron pesawat tempur. Penelitian ini menerapkan model pemrograman matematika, yaitu *Set covering problem (SCP)*, untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan pesawat tempur F-16 Fighting Falcon dan Sukhoi SU 27/30. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Angkatan Udara Indonesia memerlukan tambahan tujuh pangkalan udara operasional untuk mengoptimalkan kemampuan cakupan skuadron pesawat tempur. Jarak total yang ditempuh oleh pesawat tempur F-16 adalah 4.479 km dengan rata-rata jarak 497,67 km, sementara jarak total yang ditempuh oleh pesawat tempur Sukhoi SU 27/30 adalah 11.398 km dengan rata-rata jarak 542,76 km. Waktu rata-rata untuk mencapai target adalah 15,79 menit. Penelitian ini dapat digunakan untuk mengoptimalkan peralatan pertahanan dalam Sistem Pertahanan Udara Nasional.

Penelitian yang dilakukan oleh (Labita & Namoco, 2023) yang berjudul "*Location Analysis of Fire Stations in Cagayan de Oro City using Minimum Impedance (P-Median Problem) and Maximal Covering Location Problem (MCLP) with Q-Coverage Requirement Approaches*" bertujuan untuk menentukan lokasi strategis stasiun pemadam kebakaran di Kota Cagayan de Oro, Filipina, guna memberikan respons cepat dan tepat waktu. Penelitian ini membandingkan dua model masalah lokasi fasilitas (FLP), yaitu minimum impedance (PMP) dan maximal covering *location problem (MCLP)* untuk menemukan jumlah dan lokasi optimal stasiun pemadam kebakaran. Hasilnya menunjukkan bahwa MCLP memberikan performa lebih baik dibandingkan PMP, dengan jarak tempuh rata-rata yang lebih pendek (1,19 km, 3,43 km, dan 4,44 km untuk nilai Q 1, 2, dan 3). Model MCLP disarankan untuk digunakan oleh pemerintah untuk meminimalkan jarak antara permintaan dan stasiun pemadam kebakaran utama serta cadangan, sehingga meningkatkan efektivitas perlindungan masyarakat dari

kebakaran dan keadaan darurat lainnya. Penelitian ini menyimpulkan bahwa MCLP lebih efektif dibandingkan PMP dalam menentukan lokasi optimal stasiun pemadam kebakaran di Cagayan de Oro, dan model ini dapat diterapkan pada masalah lokasi fasilitas serupa di tempat lain. Penelitian juga menyarankan agar di masa depan, pemeringkatan dan prioritas lokasi optimal yang diidentifikasi untuk pendirian stasiun pemadam kebakaran dapat dipertimbangkan, serta menyertakan analisis sensitivitas untuk memahami dampak variasi terhadap model matematika yang digunakan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Iravani, 2022) yang berjudul "*A Multicriteria GIS-based Decision-making Approach for Locating Electric Vehicle Charging stations*" mengembangkan metodologi untuk menentukan lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik (EV) dengan mempertimbangkan aspek kesetaraan dan efisiensi untuk memaksimalkan aksesibilitas dan penggunaan. Metodologi ini terdiri dari dua tingkatan. Pertama, menyelesaikan *Set covering Location Problem* (SCLP) untuk memastikan jarak antara konsumen dan stasiun pengisian EV tidak melebihi ambang batas tertentu, yang memastikan stasiun pengisian tersebar merata. Kedua, menyelesaikan *Maximum Covering Location Problem* (MCLP) dengan mempertimbangkan serangkaian kriteria evaluasi untuk memenuhi permintaan pengguna awal. Hasilnya menunjukkan bahwa pendekatan berbasis GIS ini memberikan cakupan populasi, pekerjaan, dan perjalanan yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Meskipun metodologi ini bersifat teoretis, keuntungannya signifikan untuk perencanaan penempatan stasiun pengisian EV di Dubai.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ridwan, 2022) yang berjudul "*Model Optimasi Jumlah dan Lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dengan Maximal Covering Location Problem (MCLP)*" mengembangkan model matematis untuk menentukan jumlah dan lokasi optimal SPKLU di Kota Surabaya guna memaksimalkan profit. Dengan mempertimbangkan persebaran dan jumlah kendaraan listrik roda 2 dan roda 4, model ini menggunakan MCLP yang dijalankan melalui Microsoft Excel dan OpenSolver. Empat skenario waktu tempuh maksimal diuji, dan hasilnya menunjukkan bahwa tiga lokasi SPKLU, yaitu SPKLU 1, SPKLU 4, dan SPKLU 9/10, memberikan profit harian terbesar sebesar Rp 21.631.256,-. Model ini menjadi acuan dalam menentukan lokasi SPKLU baru untuk mendukung implementasi ekosistem kendaraan listrik di Surabaya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Li et al., 2023) yang berjudul "*Optimal Layout of Electric Vehicle Charging station Locations Considering Dynamic Charging Demand*"

mengembangkan metode optimasi untuk penentuan lokasi stasiun pengisian kendaraan listrik (EV) dengan mempertimbangkan permintaan pengisian daya yang dinamis. Menggunakan data karakteristik perjalanan dan pengisian daya kendaraan listrik yang diperoleh dari lintasan perjalanan, penelitian ini memprediksi permintaan pengisian menggunakan simulasi Monte Carlo. Model matematis yang dikembangkan bertujuan untuk meminimalkan total biaya dengan mempertimbangkan emisi karbon. *Whale Optimization Algorithm* yang ditingkatkan digunakan untuk menyelesaikan model ini. Dalam studi kasus di Shenzhen, hasil menunjukkan bahwa penempatan 19 stasiun pengisian menghasilkan biaya total sebesar ¥1.267.585, dengan biaya konstruksi dan operasi tahunan sebesar ¥666.791,3, biaya waktu ¥240.545,8, penalti sebesar ¥360.247,5, dan emisi karbon sebesar 76,138 kg. Algoritma yang diusulkan menunjukkan akurasi solusi dan kecepatan konvergensi yang lebih baik dibandingkan algoritma klasik lainnya.

Penelitian yang dilakukan oleh (Wang et al., 2022) yang berjudul "*Research on Location of Logistics Distribution Center Based on K-Means Clustering Algorithm*" mengkaji penentuan lokasi pusat distribusi logistik dengan pendekatan algoritma *K-Means* yang dipadukan dengan metode D-S evidence. Tujuan utama dari pusat distribusi logistik adalah memastikan penyimpanan dan distribusi material yang efektif dari sumber ke tempat konsumsi. Pemilihan lokasi yang ilmiah dapat mengurangi biaya logistik, mempercepat distribusi, dan meningkatkan daya saing perusahaan. Dalam penelitian ini, algoritma *K-Means* digunakan untuk mengelompokkan lokasi yang paling sesuai berdasarkan kedekatan geografis, sementara metode D-S evidence memperhitungkan ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan. Evaluasi lokasi dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi lalu lintas, hukum, sumber daya, lingkungan bisnis, biaya, dan kualitas informasi. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan evaluasi multiatribut dan fleksibilitas dalam perubahan bobot faktor yang mempengaruhi pemilihan lokasi di berbagai situasi nyata, menjadikan pendekatan ini praktis dan efektif dalam menentukan lokasi pusat distribusi multilevel.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No	Penulis	Metode Penelitian						Objek Penelitian				
		<i>Set covering</i>	<i>K-Means Clustering</i>	<i>P-Median</i>	Genetic Algorithm	<i>Maximal Coverage Location Problem</i>	Analytical Model	Fasilitas Publik	<i>Charging station</i>	Fasilitas Logistik	Fasilitas Pemerintah	Optimasi Sistem
1	(Ramadhan et al., 2024)	✓		✓						✓		✓
2	(Bangun et al., 2022)	✓		✓	✓			✓			✓	✓
3	(Aslan Özşahin & Erdebilli, 2023)	✓					✓		✓			✓
4	(Leutwiler & Corman, 2023)	✓					✓				✓	✓
5	(Ahmad et al., 2022)				✓			✓	✓			✓

No	Penulis	Metode Penelitian						Objek Penelitian				
		<i>Set covering</i>	<i>K-Means Clustering</i>	<i>P-Median</i>	Genetic Algorithm	<i>Maximal Coverage Location Problem</i>	Analytical Model	Fasilitas Publik	<i>Charging station</i>	Fasilitas Logistik	Fasilitas Pemerintah	Optimasi Sistem
6	(Zhou et al., 2022)				✓		✓		✓			
7	(Gong et al., 2019)					✓	✓	✓	✓			
8	(Vianna, 2019)	✓			✓		✓					✓
9	(Rahman et al., 2021)	✓					✓	✓			✓	
10	(Puspita et al., 2023)	✓		✓						✓		
11	(Nugraha & Riano, 2024)	✓					✓				✓	

No	Penulis	Metode Penelitian						Objek Penelitian				
		<i>Set covering</i>	<i>K-Means Clustering</i>	<i>P-Median</i>	Genetic Algorithm	<i>Maximal Coverage Location Problem</i>	Analytical Model	Fasilitas Publik	<i>Charging station</i>	Fasilitas Logistik	Fasilitas Pemerintah	Optimasi Sistem
12	(Labita & Namoco, 2023)			✓		✓		✓			✓	
13	(Iravani, 2022)	✓				✓			✓			
14	(Ridwan, 2022)	✓				✓			✓			
15	(Li et al., 2023)				✓	✓	✓		✓			
16	(Wang et al., 2022)		✓							✓		

Dari 16 jurnal yang telah ditinjau, dapat dilihat bahwa metode *Set covering problem*, *P-Median*, dan Maximal Covering Location Problem (MCLP) merupakan metode yang paling umum dalam menentukan lokasi optimal dari berbagai fasilitas. Metode *Set covering problem* sering digunakan untuk memastikan cakupan area yang luas dengan fasilitas yang minimal. Sedangkan metode *P-Median* lebih efektif untuk meminimalkan total jarak tempuh dan biaya distribusi (Ramadhan et al., 2024). MCLP digunakan untuk memaksimalkan jumlah permintaan yang tercakup dengan jumlah fasilitas yang terbatas (Labita & Namoco, 2023). *K-Means Clustering* juga bisa digunakan dalam studi kasus optimasi lokasi *charging station* dengan cara mengelompokkan permintaan dan mendistribusikan fasilitas secara merata, sehingga dapat memastikan bahwa setiap *cluster* permintaan memiliki akses yang dekat ke fasilitas (Wang et al., 2022). Metode-metode tersebut memiliki kelebihan dan kekurangannya masing masing, seperti penggunaan data statis serta asumsi permintaan yang tidak dinamis. Penelitian ini akan menggunakan jarak *Euclidean* untuk memastikan efisiensi dalam jarak tempuh. Rekomendasi yang dihasilkan dari penelitian ini berupa strategi penentuan lokasi yang efektif dan efisien agar dapat melayani wilayah luas dengan efisiensi yang tinggi.

2.2 Landasan Teori

Berikut merupakan landasan teori yang berisikan tentang istilah, teori, atau formula yang terkait dengan topik penelitian:

2.2.1. *Set covering problem* (SCP)

Dalam menentukan lokasi *charging station* yang optimal, terdapat beberapa hal yang harus dipertimbangkan seperti demand yang variatif untuk setiap area, jumlah dan kapasitas stasiun pengisian yang tersedia, jarak *charging station* ke lokasi kendaraan. *Set covering problem* digunakan sebagai metode untuk menentukan lokasi optimal *charging station* yang dapat mendukung perkembangan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik secara optimal. Metode *Set covering problem* digunakan untuk memastikan setiap area dengan demand kendaraan listrik tertentu dapat dilayani oleh minimal satu *charging station*. Prinsip dasar dari *Set covering problem* dalam penelitian ini adalah untuk meminimalkan biaya penempatan *charging station* dengan memperhitungkan bahwa setiap stasiun dapat melayani permintaan dari lingkup area tertentu sesuai dengan kapasitasnya. *Set covering problem* dalam penentuan lokasi *charging station* ini akan meminimalkan biaya pembangunan fasilitas ke area permintaan dengan memastikan bahwa area tersebut memiliki demand yang sesuai, sehingga

dapat dilayani oleh setidaknya satu *charging station* yang sesuai dengan kapasitasnya. Berikut merupakan model matematika dari *Set covering problem*:

$$\text{Min}(z) = \sum_{j=1}^n X_j \quad (2.1)$$

Dengan Batasan:

$$\sum_{j=1}^n X_j \geq 1 \quad (2.2)$$

Dimana:

- X_j = Variabel keputusan dalam metode *Set covering* model, dengan nilai 0 dan 1. Apabila bernilai 1 maka fasilitas terpilih untuk dibangun di titik j , sedangkan jika bernilai 0 maka fasilitas tidak akan dibangun di titik j .

2.2.2. *P-Median Model*

P-Median merupakan salah satu metode yang umum digunakan dalam penyelesaian permasalahan penentuan lokasi, yang termasuk dalam kelompok Median-based model. Median-based model merupakan turunan dari discrete *location* model dan merupakan cabang dari *location problem*. Berbagai pendekatan dapat dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan *P-Median*, seperti pendekatan algoritma heuristik, metaheuristik, dan metode Linear Programming. Teknik tersebut digunakan untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal dalam menentukan lokasi fasilitas untuk meminimalkan biaya atau jarak total. *P-Median* dapat diterapkan dalam penyelesaian masalah penentuan lokasi optimal *charging station* dengan meminimalkan jarak antara *charging station* dengan area permintaan kendaraan listrik. Berikut merupakan model matematika dari *P-Median Model*:

$$\text{Min}(z) = \sum_{j \in 1} \sum_{i \in 1} a_{ij} w_{ij} d_{ij} \quad (2.3)$$

Dengan batasan:

$$\sum_{j \in 1} a_{ij} = 1, \forall i \in 1 \quad (2.4)$$

$$\sum_{j \in 1} y_j = p \quad (2.5)$$

- a_{ij} = Variabel keputusan, bernilai 1 apabila dilayani fasilitas, dan 0 jika tidak
- w_{ij} = Permintaan pada titik i yang akan dicakup oleh fasilitas di titik j
- d_{ij} = Jarak antara titik permintaan dan fasilitas
- y_j = 1 jika fasilitas dibangun di titik j , dan 0 jika tidak
- i = Titik permintaan barang/deman node
- j = Titik lokasi fasilitas didirikan
- p = Jumlah fasilitas yang akan ada

2.2.3. *K-Means Clustering*

K-Means Clustering merupakan metode yang digunakan untuk mengelompokkan data berdasarkan rata rata terdekat (Maori & Evanita, 2023). Metode ini dapat diimplementasikan dalam studi kasus optimasi lokasi fasilitas berdasarkan jarak ke pusat *cluster* (centroid). Dalam konteks ini, *K-Means Clustering* membantu mengidentifikasi lokasi optimal untuk *charging station* dengan mengelompokkan kelurahan berdasarkan jarak mereka ke titik pusat *cluster*. Setiap *cluster* setidaknya memiliki satu buah *charging station*. Dengan metode ini, dapat dilakukan distribusi fasilitas *charging station* secara efisien dan merata. Berikut merupakan rumus *K-Means Clustering*:

$$d_{Euclidean}(x, y) = \sqrt{\sum_{j \in 1} (x_j - y_j)^2} \quad (2.5)$$

$$Cluster\ Center = \sum \frac{a_i}{n} \quad (2.6)$$

- $d(x, y)$ = Jarak antara titik x dan y
- y_j = Titik vector y
- x_j = Titik vector x
- a_i = Jarak seluruh vektor yang mewakili titik data ke- i data dalam *cluster*
- n = Jumlah total titik data dalam *cluster*

2.2.4. Maximal Coverage Location Problem

$$\max \sqrt{\sum_{j \in I} d_j y_j} \quad (2.7)$$

Dengan Batasan:

$$\sum_{j \in I} x_j \geq y_j \quad (2.8)$$

$$\sum_{j \in I} x_j \leq p \quad (2.9)$$

- d_j = Demand pada titik j
- y_j = Variabel yang menunjukkan apakah demand tercakup oleh oleh fasilitas
- x_j = Variabel yang menunjukkan apakah fasilitas ditempatkan di lokasi j
- p = Jumlah fasilitas yang akan ada

2.2.5. Euclidean Distance

Euclidean Distance atau jarak *Euclidean* merupakan metode yang digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik koordinat pada ruang *Euclidean*. (Kusuma & Oktavianto, 2022). *Euclidean Distance* merupakan alat yang penting dalam melakukan analisis data yang melibatkan pengukuran jarak. Metode ini memberikan dasar yang kuat untuk berbagai aplikasi, seperti analisis spasial hingga machine learning. Implementasi *Euclidean Distance* dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma Greedy Algorithm untuk *Set covering problem*, dan K Means untuk P Median, sehingga dapat ditemukan solusi optimal dengan menggunakan *Euclidean Distance* sebagai metode perhitungan jarak (Miftahuddin et al., 2020). *Euclidean Distance* dihitung berdasarkan teorema Pythagoras yang menyatakan jarak antara dua titik dapat dihitung dengan rumus:

$$d = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (2.10)$$

d = jarak antara dua titik

x_1x_2 = koordinat x dari titik pertama dan kedua

y_1y_2 = koordinat y dari titik pertama dan kedua

2.2.6. *Python Optimization*

Python Optimization merupakan proses penggunaan bahasa pemrograman *Python* sebagai alat untuk meningkatkan efisiensi dan kecepatan dalam melakukan berbagai aplikasi, terutama dalam bidang komputasi dan analisis data. Dalam penelitian ini, optimasi digunakan menggunakan berbagai *library Python* untuk mengoptimalkan lokasi *charging station*, berikut merupakan penjelasan terkait *library* yang akan digunakan:

1. *Pandas*

Pandas merupakan *library Python* yang umum digunakan dalam analisis data. Dengan menggunakan *library Pandas*, pengguna akan dengan mudah mengelola dan mengolah data geospasial, termasuk pengambilan, penyarigan, dan transformasi data

2. *Numpy*

Numpy digunakan untuk operasi numerik yang efisien. Dalam optimasi lokasi, *Numpy* dapat membantu dalam melakukan perhitungan matematis yang diperlukan untuk menghitung jarak antara titik titik geografis

3. *Pulp*

Pulp adalah *library* untuk optimasi linear dan integer programming. Dalam optimasi lokasi, *Pulp* digunakan untuk menyelesaikan masalah *P-Median*, yang bertujuan untuk menentukan lokasi optimal dengan cara meminimalkan total jarak ke titik permintaan.

4. *Matplotlib*

Matplotlib digunakan untuk visualisasi data, visualisasi ini akan membantu dalam memahami distribusi geografis dari tiap titik serta efektivitas dari penempatan *charging station*

5. *Scipy*

Scipy menyediakan berbagai fungsi yang diperlukan menghitung matriks antara titik titik menggunakan metode tertentu. Dalam penelitian, *Scipy* dapat dengan cepat menghitung jarak antara semua kombinasi titik, yang sangat penting dalam analisis.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini adalah lokasi optimal untuk pembangunan *charging station* kendaraan listrik di Kota Yogyakarta. Pemilihan lokasi ini berdasar pada analisis jarak *Euclidean* dengan pendekatan *Set covering problem* dan *P-Median*. Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan jarak antara lokasi *charging station* dengan kelurahan yang dicakup, serta memastikan bahwa infrastruktur dapat memenuhi kebutuhan pengguna secara efisien. Koordinat *charging station* yang dibangun akan diposisikan di SPBU yang sudah ada, karena SPBU dianggap sudah dapat mencakup Sebagian besar daerah di Kota Yogyakarta

3.2 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan analisis data sekunder. Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data koordinat kelurahan yang diperoleh melalui *website* kependudukan.jogjaprov.go.id, serta data koordinat SPBU yang dikumpulkan secara manual melalui *Google maps*. Data ini digunakan sebagai dasar untuk menentukan lokasi optimal *charging*

3.3 Jenis dan Sumber Data

Sumber dalam penelitian ini terdiri dari:

a. Data Sekunder

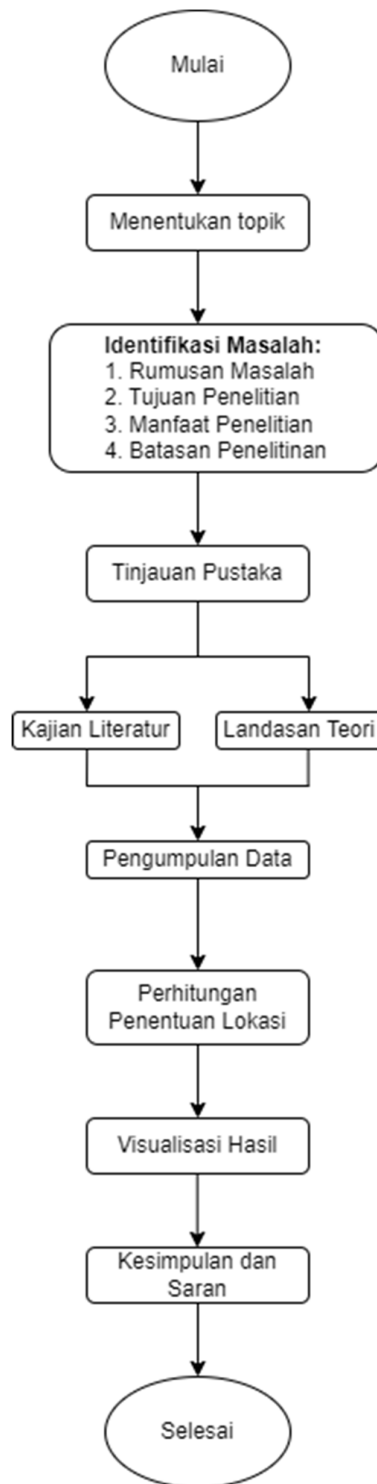
Data dalam penelitian ini diperoleh dari *website* kependudukan.jogjaprov.go.id untuk informasi koordinat kelurahan. Data ini akan dianalisis untuk menentukan lokasi optimal *charging station* di SPBU yang sudah ada

b. Data Sekunder lainnya

Selain data koordinat kelurahan, penelitian ini juga mengumpulkan data koordinat SPBU melalui *Google maps*. Selain itu. Penelitian ini juga menggunakan data dari referensi berbagai jurnal ilmiah yang membahas tentang metode penentuan lokasi fasilitas seperti *Set covering problem*, dan *P-Median*. Jurnal jurnal ini digunakan untuk memperkuat kerangka teori dan metodologi pada penelitian ini

3.4 Alur Penelitian

Adapun contoh alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1 sebagai berikut:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari alur di atas:

1. Mulai

2. Menentukan Topik

Tahap penelitian diawali dengan penentuan topik yang spesifik, dalam hal ini merupakan optimasi lokasi *charging station*. Pemilihan topik dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan data maupun kontribusi yang dapat diberikan oleh peneliti terhadap praktik di dunia nyata

3. Identifikasi Masalah

Pada tahap ini, peneliti mengidentifikasi masalah serta merumuskan masalah secara rinci. Meliputi rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta batasan penelitian. Tahap ini membantu dalam menentukan fokus utama penelitian serta faktor yang harus diperhatikan selama proses penelitian.

4. Tinjauan Pustaka

Pada tahap ini, peneliti melakukan kajian literatur untuk memahami teori maupun konsep yang berhubungan dengan topik penelitian. Tinjauan pustaka terbagi menjadi 2 bagian, yaitu:

a. Kajian literatur

Proses pengumpulan dan analisis penelitian terdahulu yang memiliki kesamaan dari segi metodologi atau topik dengan penelitian ini

b. Landasan teori

Berfokus pada penjelasan teori dasar yang akan sering digunakan dalam penelitian, meliputi *Set covering problem* dan *P-Median*

5. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan pada penelitian ini dikumpulkan dari sumber yang relevan. Dalam penelitian ini, data koordinat kelurahan akan diambil dari *website* Dinas Kependudukan Yogyakarta dan koordinat SPBU akan dikumpulkan secara manual melalui *Google maps*

6. Penentuan Lokasi

Dari data yang sudah dikumpulkan, peneliti menggunakan *Python* untuk menghitung lokasi optimal *charging station* berdasarkan jarak *Euclidean* menggunakan metode *Set covering problem* dan *P-Median*

7. Visualisasi Hasil

Setelah perhitungan selesai, hasil akan divisualisasikan dengan menggunakan *library Matplotlib* pada *Python*

8. Kesimpulan dan Saran

Pada tahap terakhir ini akan disusun kesimpulan yang mencakup temuan utama dari penelitian ini, serta memberikan saran berdasarkan hasil analisis

9. Selesai

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pengambilan data dilakukan dengan mengumpulkan titik koordinat dari seluruh kelurahan yang ada di Kota Yogyakarta melalui situs resmi Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta di <https://kependudukan.jogjaprov.go.id/datawilayah.clear>. Data ini berisikan informasi terkait letak geografis setiap kelurahan yang ada di Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Terdapat 45 kelurahan dan berikut merupakan koordinat dari seluruh kelurahan yang ada di Kota Yogyakarta:

Tabel 4. 1 Koordinat Kelurahan

No	Kelurahan	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	Baciro	-7.79194444	110.38527780
2	Bausasran	-7.79555556	110.37472220
3	Bener	-7.77666667	110.35333330
4	Brontokusuman	-7.81638889	110.37305560
5	Bumijo	-7.78638889	110.35861110
6	Cokrodiningratan	-7.78000000	110.36638890
7	Demangan	-7.78611111	110.38916670
8	Gedongkiwo	-7.81888889	110.35444440
9	Giwangan	-7.82500000	110.38666670
10	Gowongan	-7.78444444	110.36500000
11	Gunungketur	-7.80111111	110.37777780
12	Kadipaten	-7.80777778	110.35777780
13	Karangwaru	-7.77222222	110.36444440
14	Keparakan	-7.81472222	110.37388890
15	Klitren	-7.78138889	110.38666670
16	Kotabaru	-7.78611111	110.37777780
17	Kricak	-7.77416667	110.35944440
18	Mantrijeron	-7.82333333	110.36583330
19	Muja Muju	-7.79638889	110.39444440
20	Ngampilan	-7.80055556	110.35805560
21	Ngupasan	-7.80027778	110.37027780
22	Notoprajan	-7.80444444	110.35583330
23	Pakuncen	-7.79361111	110.35194440

No	Kelurahan	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
24	Pandeyan	-7.81194444	110.38611110
25	Panembahan	-7.81138889	110.36611110
26	Patangpuluhan	-7.81027778	110.34805560
27	Patehan	-7.81138889	110.35916670
28	Prawirodirjan	-7.80777778	110.37138890
29	Prenggan	-7.82277778	110.39944440
30	Pringgokusuman	-7.79250000	110.35694440
31	Purbayan	-7.82250000	110.40138890
32	Purwokinanti	-7.79861111	110.37472220
33	Rejowinangun	-7.81638889	110.40000000
34	Semaki	-7.79888889	110.38555560
35	Sorosutan	-7.82555556	110.38000000
36	Sosromenduran	-7.79166667	110.36416670
37	Suryatmajan	-7.79333333	110.36777780
38	Suryodiningratan	-7.82000000	110.35972220
39	Tahunan	-7.80666667	110.38000000
40	Tegalpanggung	-7.79055556	110.37250000
41	Tegalrejo	-7.79222222	110.35250000
42	Terban	-7.77944444	110.37472220
43	Warungboto	-7.80944444	110.38888890
44	Wirobrajan	-7.80472222	110.35333330
45	Wirogunan	-7.81000000	110.37555560

Untuk data lokasi SPKLU, digunakan titik koordinat SPBU yang sudah ada, karena SPBU dianggap memiliki cakupan wilayah yang memadai untuk seluruh Kota Yogyakarta. Titik koordinat SPBU dikumpulkan secara manual melalui *google maps*. Dalam penelitian ini, analisis terbatas pada penggunaan jarak *Euclidean* serta tidak mempertimbangkan kapasitas SPKLU. Terdapat 16 SPBU yang telah dikumpulkan, berikut merupakan koordinat SPBU di Kota Yogyakarta:

Tabel 4. 2 Koordinat SPBU

No.	SPBU Location	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>
1	SPBU GODEAN 44.552.11	-7.780869827	110.3518782
2	SPBU TEGALREJO 41.552.02	-7.785018161	110.352704
3	SPBU GEDONG TENGEN 44.552.14	-7.791681375	110.357609
4	SPBU TUGU 44.55215	-7.7816129	110.3674763
5	SPBU TERBAN 44.552.06	-7.782036707	110.371828
6	SPBU MUNGUR 44.552.16	-7.785326122	110.3881915

No.	SPBU Location	Latitude	Longitude
7	SPBU COCO 41.551.01	-7.790328054	110.379991
8	SPBU TIMOHO 44.551.19	-7.797813164	110.39307
9	SPBU SEMAKI 44.551.09	-7.801489373	110.3863373
10	SPBU SENTUL PAKUALAMAN 44.551.15	-7.801988603	110.3785733
11	SPBU KASAM 44.551.17	-7.815567893	110.3744347
12	SPBU LOWANU 44.551.13	-7.822047215	110.3784688
13	SPBU JOGOKARIYAN 44.551.08	-7.824274409	110.3678352
14	SPBU GIWANGAN 44.551.11	-7.835891429	110.3933392
15	SPBU DUKUH 44-55101	-7.818984989	110.3562632
16	SPBU BUGISAN 44.551.04	-7.812254325	110.3515395

4.2 Pengolahan Data

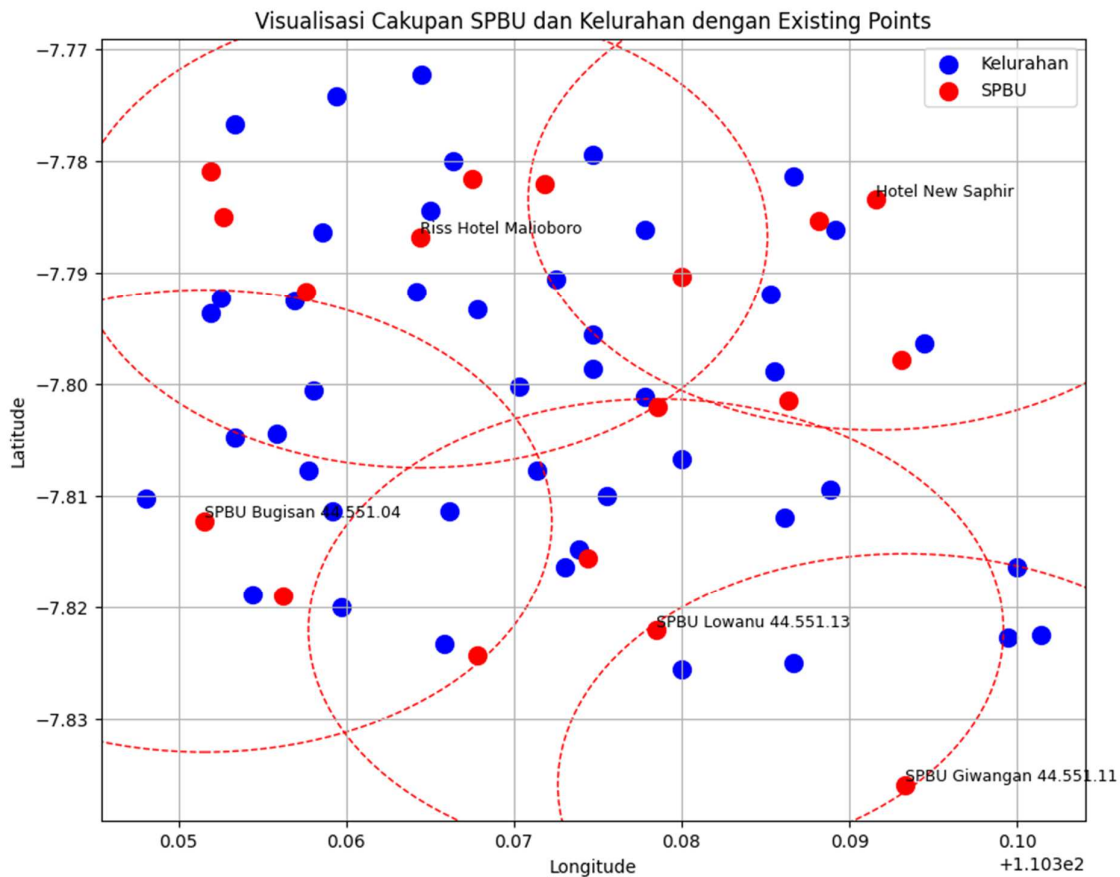
Proses pengambilan data koordinat kelurahan diambil melalui situs resmi Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta dan untuk lokasi SPBU diambil secara manual dengan menggunakan *google maps*. Terdapat total sebanyak 45 kelurahan dan 16 SPBU yang akan dijadikan data pada penelitian ini.

4.2.1 Output Skenario Set covering problem dengan Python

Berikut ini merupakan hasil dari setiap skenario yang dihasilkan menggunakan metode *Set covering problem* dengan *Python* berdasarkan jarak *Euclidean*. Analisis ini bertujuan untuk menemukan lokasi optimal dari *charging station* dengan mempertimbangkan variasi jarak cakupan *charging station* yang berbeda. Penentuan lokasi optimal ini penting dilakukan untuk memastikan seluruh kelurahan berada dalam radius *charging station*.

1. Set covering problem Radius 2.3 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan maximum *coverage charging station* sebesar 2.3 km menggunakan metode *Set covering problem*:



Gambar 4. 1 Coverage Skenario Radius 2.3 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.3 km. Berdasarkan analisis, diputuskan lima lokasi optimal yaitu di SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap lokasi beserta jaraknya:

Tabel 4. 3 Coverage Skenario Radius 2.3 km

SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4
	Pandeyan	1.4
	Prawirodirjan	1.77
	Sorosutan	0.43
	Tahunan	1.72

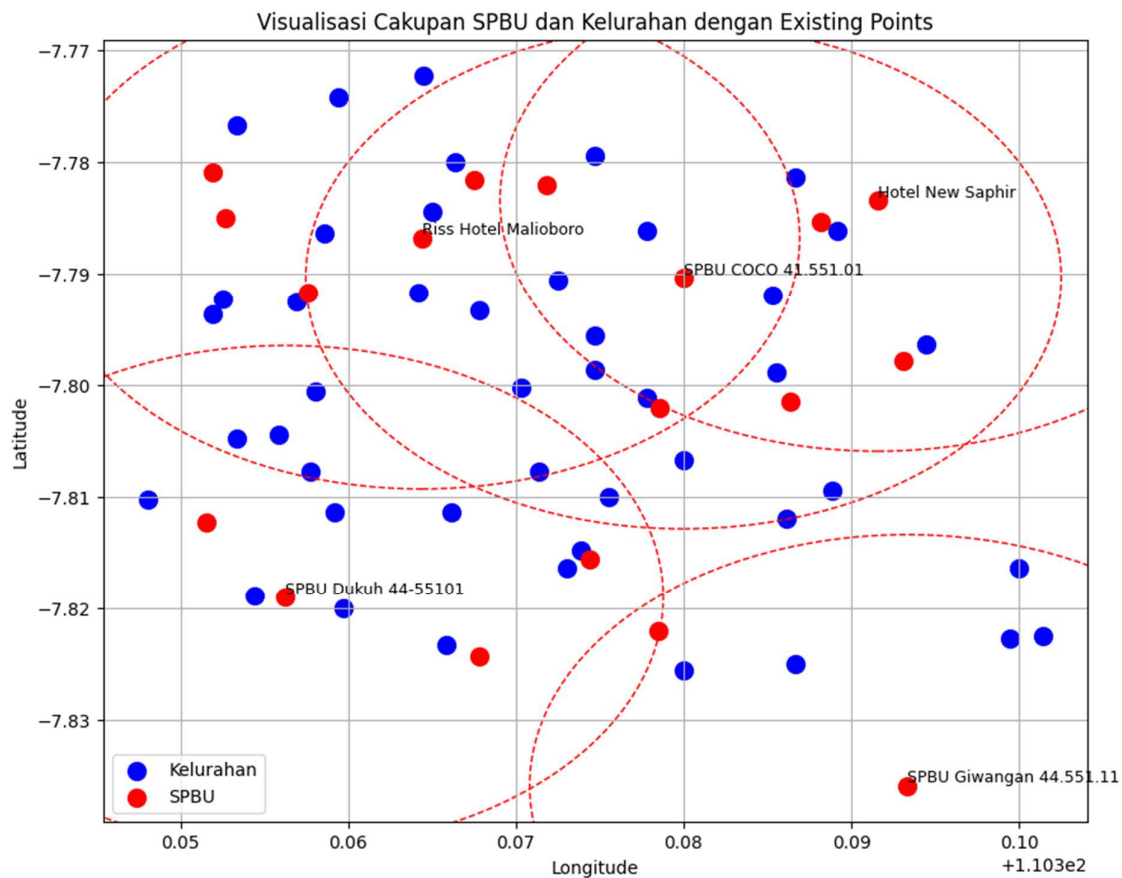
	Warungboto	1.81	
	Wirogunan	1.38	
SPBU Giwangan 44.551.11			
Kelurahan	Prenggan	1.61	
	Purbayan	1.73	
	Rejowinangun	2.29	
	SPBU Bugisan 44.551.04		
	Gedongkiwo	0.8	
	Kadipaten	0.85	
	Ngampilan	1.49	
	Notoprajan	0.99	
	Panembahan	1.61	
	Patangpuluhan	0.44	
	Patehan	0.85	
	Suryodiningratan	1.25	
	Wirobrajan	0.86	
Riss Hotel Malioboro			
Kelurahan	Bausasran	1.5	
	Bener	1.66	
	Bumijo	0.64	
	Cokrodiningratan	0.78	
	Gowongan	0.27	
	Gunungketur	2.17	
	Karangwaru	1.62	
	Kotabaru	1.48	
	Kricak	1.5	
	Ngupasan	1.64	
	Pakuncen	1.57	
	Pringgokusuman	1.04	
	Purwokinanti	1.74	
	Sosromenduran	0.55	
	Suryatmajan	0.82	
	Tegalpanggung	0.99	
	Tegalrejo	1.44	
Terban	1.4		
Hotel New Saphir			
Kelurahan	Baciro	1.18	
	Demangan	0.4	
	Klitren	0.58	
	Muja Muju	1.48	

	Semaki	1.85
	Total <i>Distance</i>	55.73
	Average <i>Distance</i>	1.24

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 55.73 km, dengan jarak rata-rata 1.24 km.

2. *Set covering problem* Radius 2.5 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan maximum *coverage charging station* sebesar 2.5 km menggunakan metode *Set covering problem*:



Gambar 4. 2 *Coverage* Skenario Radius 2.5 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.5 km. Berdasarkan analisis, diputuskan lima lokasi optimal yaitu di SPBU COCO 41.551.01, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Dukuh 44-55101, Riss Hotel

Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 4 *Coverage* Skenario Radius 2.5 km

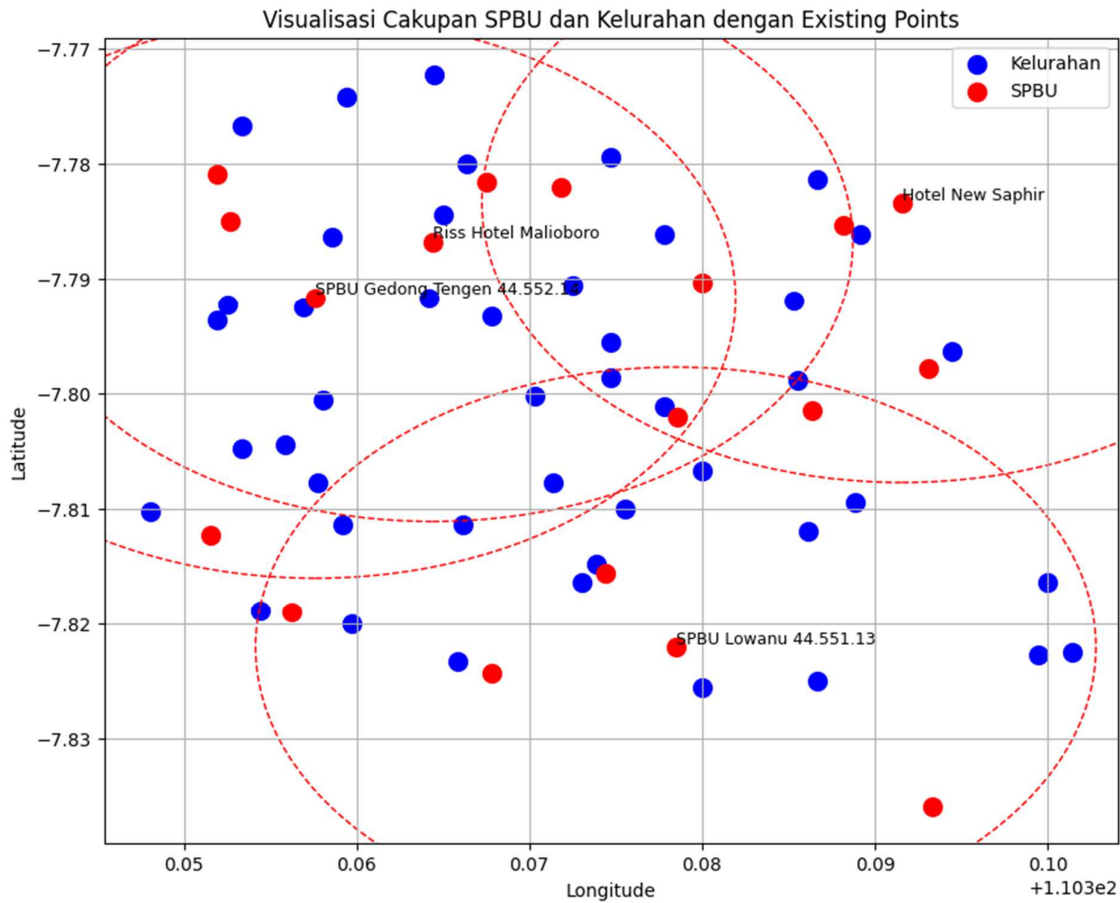
SPBU COCO 41.551.01		
Kelurahan	Baciro	0.61
	Bausasran	0.82
	Gunungketur	1.22
	Kotabaru	0.53
	Ngupasan	1.54
	Pandeyan	2.5
	Purwokinanti	1.09
	Semaki	1.13
	Tahunan	1.82
	Tegalpanggung	0.83
	Terban	1.34
	Warungboto	2.34
	Wirogunan	2.24
SPBU Giwangan 44.551.11		
Kelurahan	Giwangan	1.42
	Prenggan	1.61
	Purbayan	1.73
	Rejowinangun	2.29
	Sorosutan	1.87
SPBU Dukuh 44-55101		
Kelurahan	Brontokusuman	1.87
	Gedongkiwo	0.2
	Kadipaten	1.26
	Keparakan	2
	Mantrijeron	1.16
	Notoprajan	1.62
	Panembahan	1.37
	Patangpuluhan	1.32
	Patehan	0.9
	Prawirodirjan	2.08
	Suryodiningratan	0.4
	Wirobrajan	1.62
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66

	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Ngampilan	1.69
	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalrejo	1.44
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
Total <i>Distance</i>		58.76
Average <i>Distance</i>		1.31

Total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 58.76 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.31 km.

3. *Set covering problem* Radius 2.7 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan maximum *coverage charging station* sebesar 2.7 km menggunakan metode *Set covering problem*:



Gambar 4. 3 Coverage Skenario Radius 2.7 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.7 km. Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Lowanu 44.551.13, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 5 Coverage Skenario Radius 2.7 km

SPBU Gedong Tengen 44.552.14		
Kelurahan	Bumijo	0.6
	Kadipaten	1.79
	Ngampilan	0.99
	Notoprajan	1.43
	Pakuncen	0.66
	Patangpuluhan	2.32

	Patehan	2.2
	Pringgokusuman	0.12
	Tegalrejo	0.57
	Wirobrajan	1.52
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Gedongkiwo	2.67
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4
	Pandeyan	1.4
	Panembahan	1.8
	Prawirodirjan	1.77
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Suryodiningratan	2.08
	Tahunan	1.72
	Warungboto	1.81
Wirogunan	1.38	
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bausasran	1.5
	Bener	1.66
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Gunungketur	2.17
	Karangwaru	1.62
	Kotabaru	1.48
	Kricak	1.5
	Ngupasan	1.64
	Purwokinanti	1.74
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99
	Terban	1.4
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48

	Semaki	1.85
	Total <i>Distance</i>	62.32
	Average <i>Distance</i>	1.38

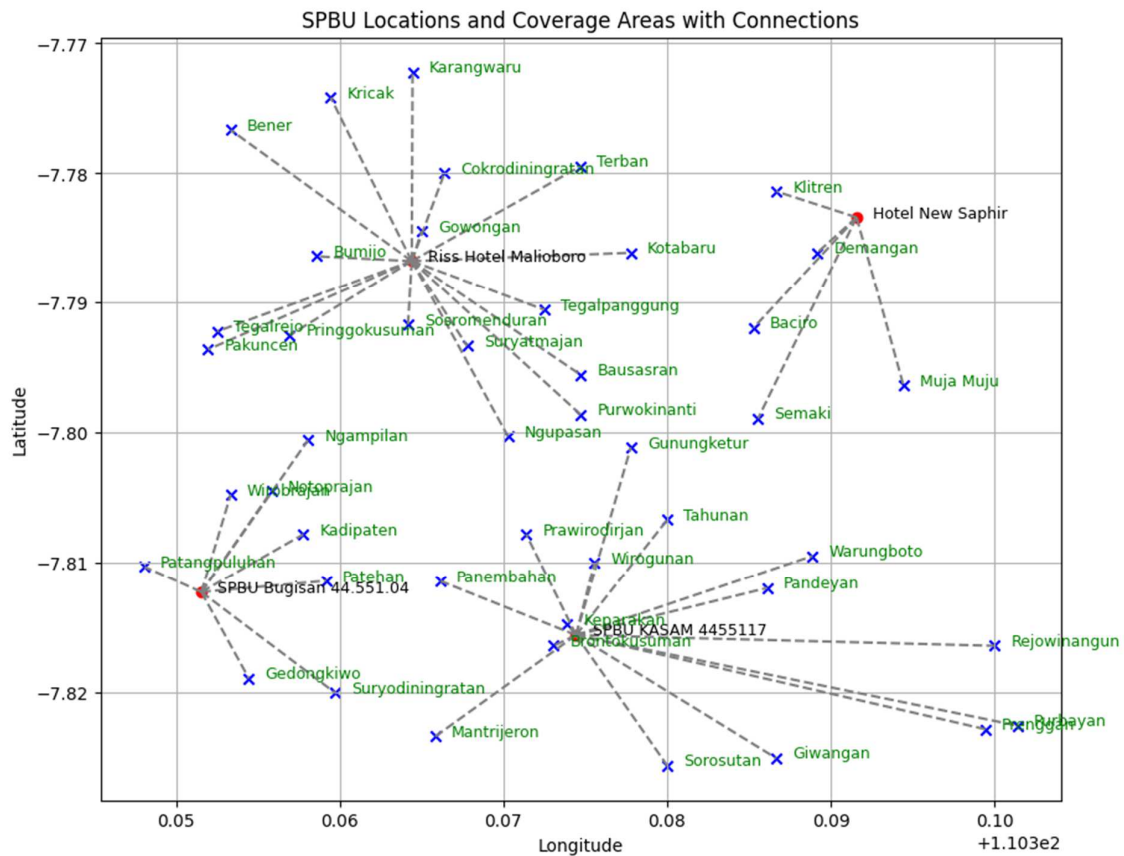
Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 62.32 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.38 km.

4.2.2 *Output Skenario P-Median dengan Python*

Berikut ini merupakan hasil dari setiap skenario yang dihasilkan menggunakan metode *P-Median* dengan *Python* berdasarkan jarak *Euclidean*. Analisis ini bertujuan untuk menemukan lokasi optimal dari *charging station* dengan mempertimbangkan variasi jumlah *charging station* yang berbeda. Penentuan lokasi optimal ini penting dilakukan untuk mendapatkan jarak minimal bagi individu serta mengoptimalkan efisiensi biaya.

1. *P-Median* dengan P=4

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *charging station* yang dibangun sebanyak 4 menggunakan metode *P-Median*:



Gambar 4. 4 Coverage Skenario 4 Charging station

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah *charging station* ($P=4$) menggunakan metode *P-Median*. Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di SPBU KASAM 4455117, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 6 Coverage Skenario 4 Charging station

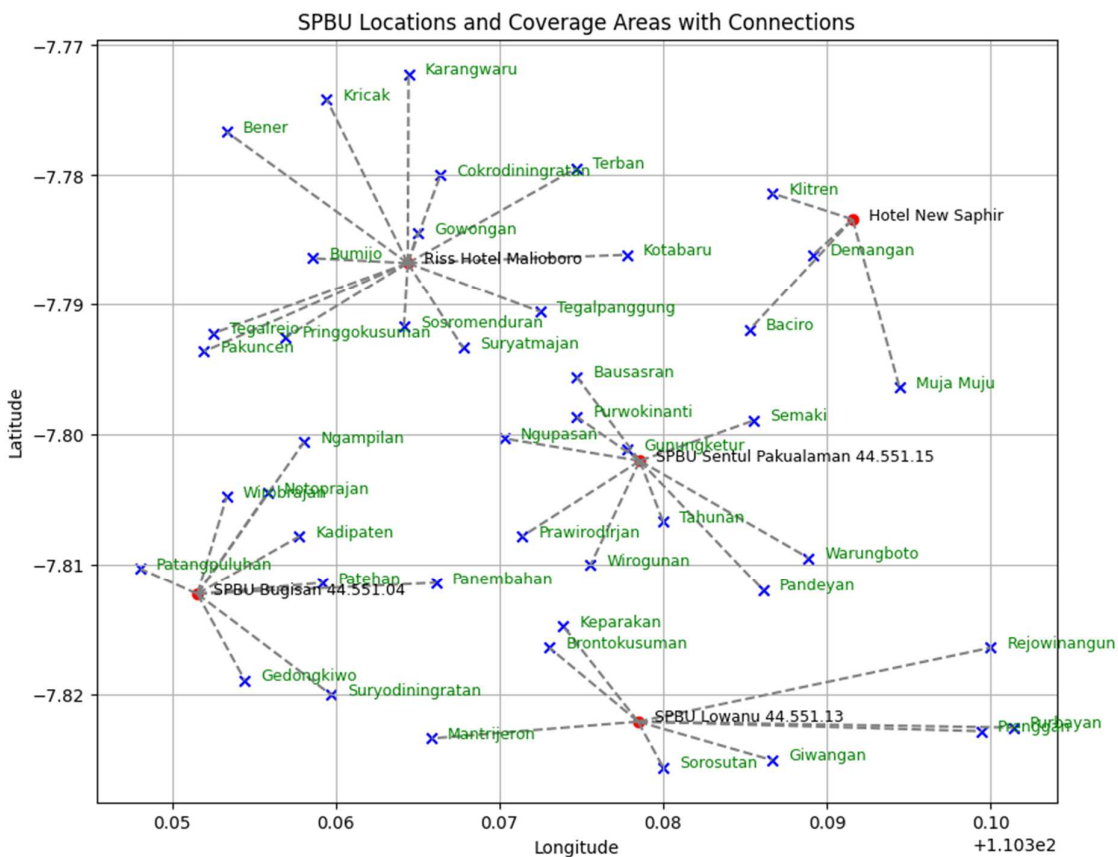
SPBU KASAM 4455117		
Kelurahan	Brontokusuman	0.18
	Giwangan	1.71
	Gunungketur	1.65
	Keparakan	0.11
	Mantrijeron	1.28
	Pandeyan	1.35
	Panembahan	1.03
	Prawirodirjan	0.93
	Prenggan	2.87

	Purbayan	3.07
	Rejowinangun	2.82
	Sorosutan	1.27
	Tahunan	1.16
	Warungboto	1.73
	Wirogunan	0.63
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Ngampilan	1.49
	Notoprajan	0.99
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25
	Wirobrajan	0.86
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bausasran	1.5
	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kotabaru	1.48
	Kricak	1.5
	Ngupasan	1.64
	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04
	Purwokinanti	1.74
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99
	Tegalrejo	1.44
	Terban	1.4
	Hotel New Saphir	
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
	Semaki	1.85
Total Distance		55.42
Average Distance		1.23

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 55.42 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.23 km.

2. *P-Median* dengan $P=5$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *charging station* yang dibangun sebanyak 5 menggunakan metode *P-Median*:



Gambar 4. 5 *Coverage* Skenario 5 *Charging station*

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah *charging station* ($P=5$) menggunakan metode *P-Median*. Berdasarkan analisis, diputuskan lima lokasi optimal yaitu di SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 7 Coverage Skenario 5 Charging station

SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Pandeyan	1.38
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Warungboto	1.41
	Wirogunan	0.95
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Ngampilan	1.49
	Notoprajan	0.99
	Panembahan	1.61
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25
	Wirobrajan	0.86
	Riss Hotel Malioboro	
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kotabaru	1.48
	Kricak	1.5

	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99
	Tegalrejo	1.44
	Terban	1.4
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
Total Distance		49.03
Average Distance		1.09

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 49.03 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.09 km.

3. *P-Median* dengan $P=6$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *charging station* yang dibangun sebanyak 6 menggunakan metode *P-Median*:

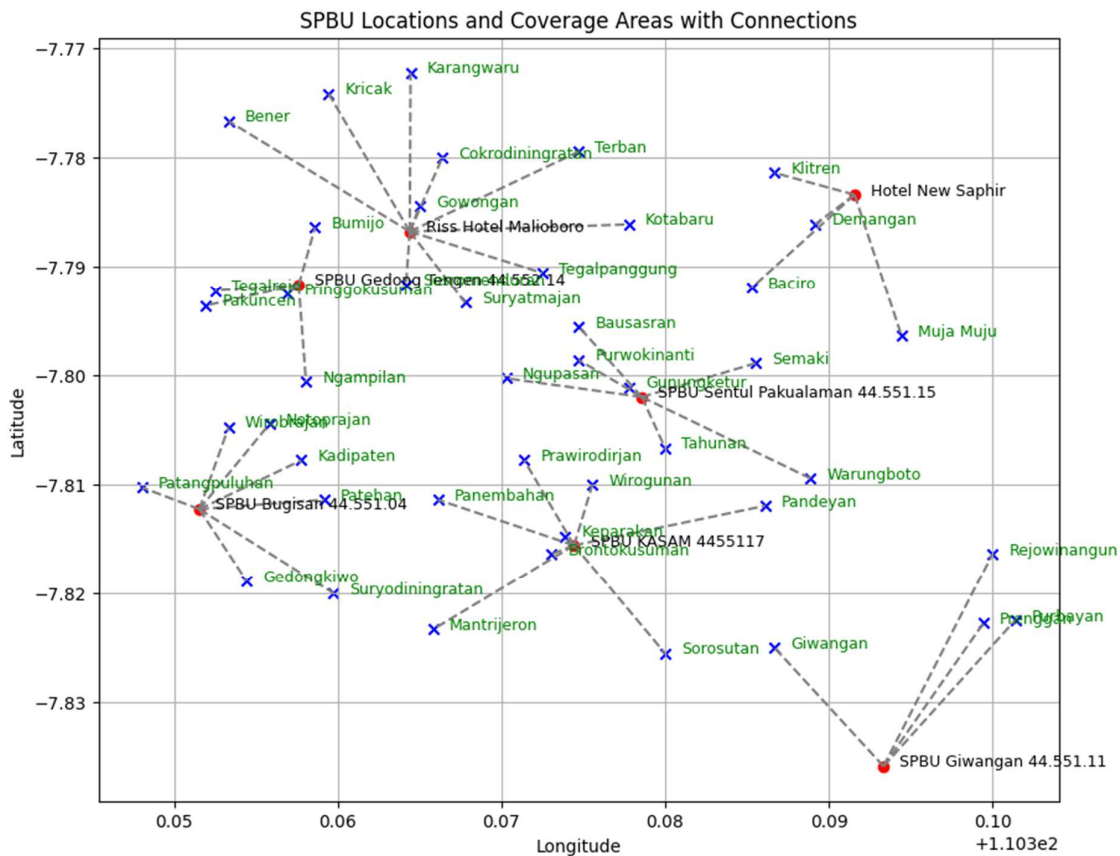
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Pandeyan	1.38
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Warungboto	1.41
	Wirogunan	0.95
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Notoprajan	0.99
	Panembahan	1.61
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25
	Wirobrajan	0.86
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kotabaru	1.48
	Kricak	1.5
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58

	Muja Muju	1.48
Total Distance		45.79
Average Distance		1.02

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 45.79 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.02 km.

4. *P-Median* dengan $P=7$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *charging station* yang dibangun sebanyak 7 menggunakan metode *P-Median*:



Gambar 4. 7 *Coverage Skenario 7 Charging station*

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah *charging station* ($P=7$) menggunakan metode *P-Median*. Berdasarkan analisis, diputuskan tujuh lokasi optimal yaitu di SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU

Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 9 *Coverage Skenario 7 Charging station*

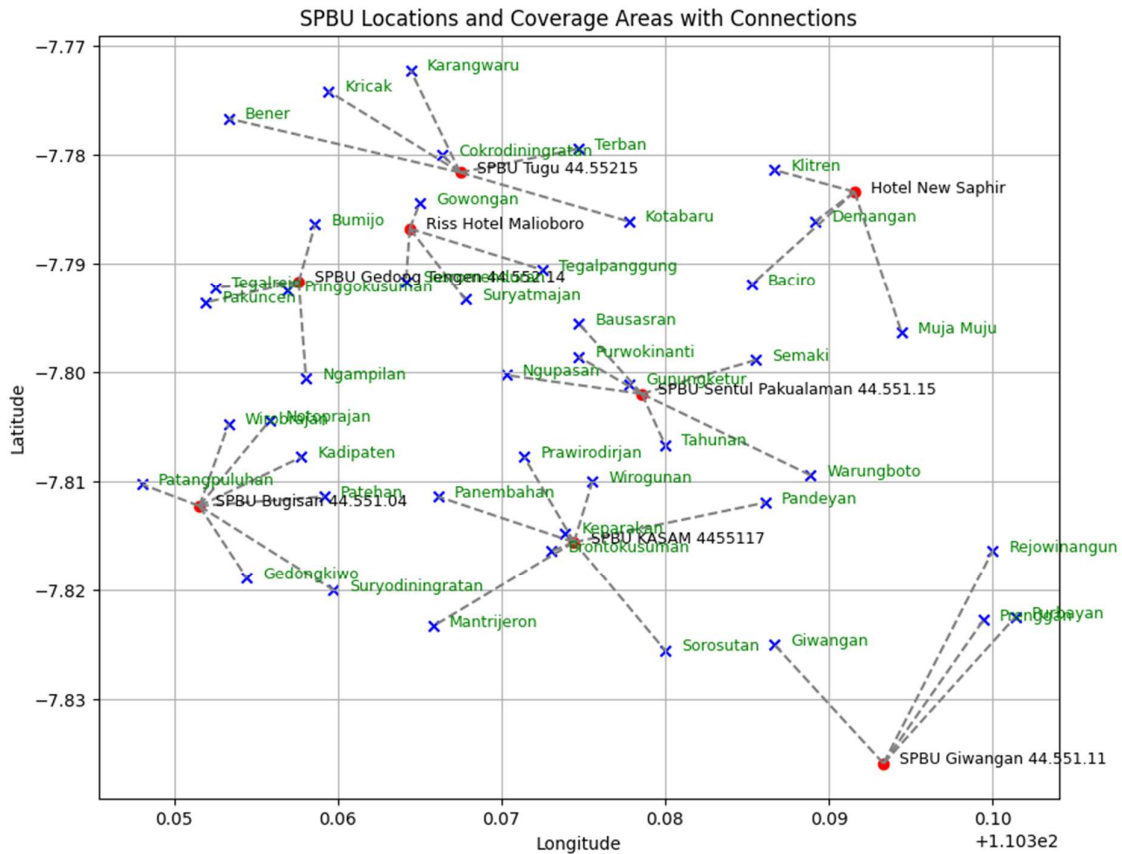
SPBU Gedong Tengen 44.552.14		
Kelurahan	Bumijo	0.6
	Ngampilan	0.99
	Pakuncen	0.66
	Pringgokusuman	0.12
	Tegalrejo	0.57
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Warungboto	1.41
SPBU KASAM 4455117		
Kelurahan	Brontokusuman	0.18
	Keparakan	0.11
	Mantrijeron	1.28
	Pandeyan	1.35
	Panembahan	1.03
	Prawirodirjan	0.93
	Sorosutan	1.27
	Wirogunan	0.63
SPBU Giwangan 44.551.11		
Kelurahan	Giwangan	1.42
	Prenggan	1.61
	Purbayan	1.73
	Rejowinangun	2.29
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Notoprajan	0.99
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25

	Wirobrajan	0.86
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kotabaru	1.48
	Kricak	1.5
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99
	Terban	1.4
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
Total Distance		42.74
Average Distance		0.95

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 42.74 km, dengan jarak rata-rata sebesar 0.95 km.

5. *P-Median* dengan $P=8$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *charging station* yang dibangun sebanyak 8 menggunakan metode *P-Median*:



Gambar 4. 8 Coverage Skenario 8 Charging station

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah *charging station* (P=8) menggunakan metode *P-Median*. Berdasarkan analisis, diputuskan delapan lokasi optimal yaitu di SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 10 Coverage Skenario 8 Charging station

SPBU Gedong Tengen 44.552.14		
Kelurahan	Bumijo	0.6
	Ngampilan	0.99
	Pakuncen	0.66
	Pringgokusuman	0.12
	Tegalrejo	0.57
SPBU Tugu 44.55215		

Kelurahan	Bener	1.65
	Cokrodingratan	0.22
	Karangwaru	1.1
	Kotabaru	1.24
	Kricak	1.21
	Terban	0.83
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Warungboto	1.41
SPBU KASAM 4455117		
Kelurahan	Brontokusuman	0.18
	Keparakan	0.11
	Mantrijeron	1.28
	Pandeyan	1.35
	Panembahan	1.03
	Prawirodirjan	0.93
	Sorosutan	1.27
	Wirogunan	0.63
SPBU Giwangan 44.551.11		
Kelurahan	Giwangan	1.42
	Prenggan	1.61
	Purbayan	1.73
	Rejowinangun	2.29
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Notoprajan	0.99
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25
	Wirobrajan	0.86
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Gowongan	0.27
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalpanggung	0.99

Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
Total Distance		40.58
Average Distance		0.90

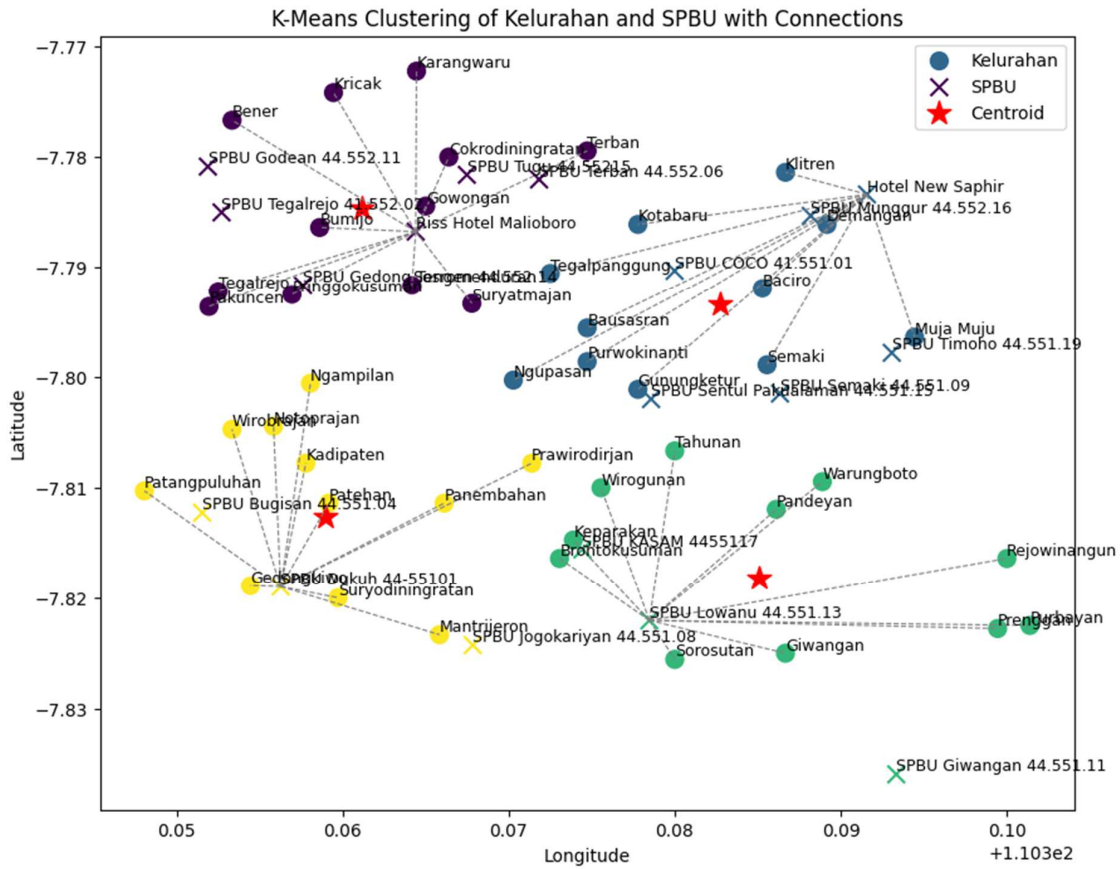
Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 40.58 km, dengan jarak rata-rata sebesar 0.90 km.

4.2.3 *Output Skenario K-Means Clustering dengan Python*

Berikut ini merupakan hasil dari setiap skenario yang dihasilkan menggunakan metode *K-Means Clustering* dengan *Python* berdasarkan jarak *Euclidean*. Analisis ini bertujuan untuk mengelompokkan lokasi optimal dari *charging station* dengan mempertimbangkan variasi jumlah *charging station* yang berbeda. Pengelompokan lokasi optimal ini penting untuk dilakukan untuk mendapatkan jarak minimal bagi individu serta mengoptimalkan efisiensi biaya

1. *K-Means* dengan $K=4$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *cluster* sebanyak 4 menggunakan metode *K-Means Clustering*:



Gambar 4. 9 Coverage Skenario 4 Cluster

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan metode *K-Means Clustering* dan jumlah kluster ($K=4$). Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Dukuh 44-55101. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 11 Coverage Skenario 4 Cluster

Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04

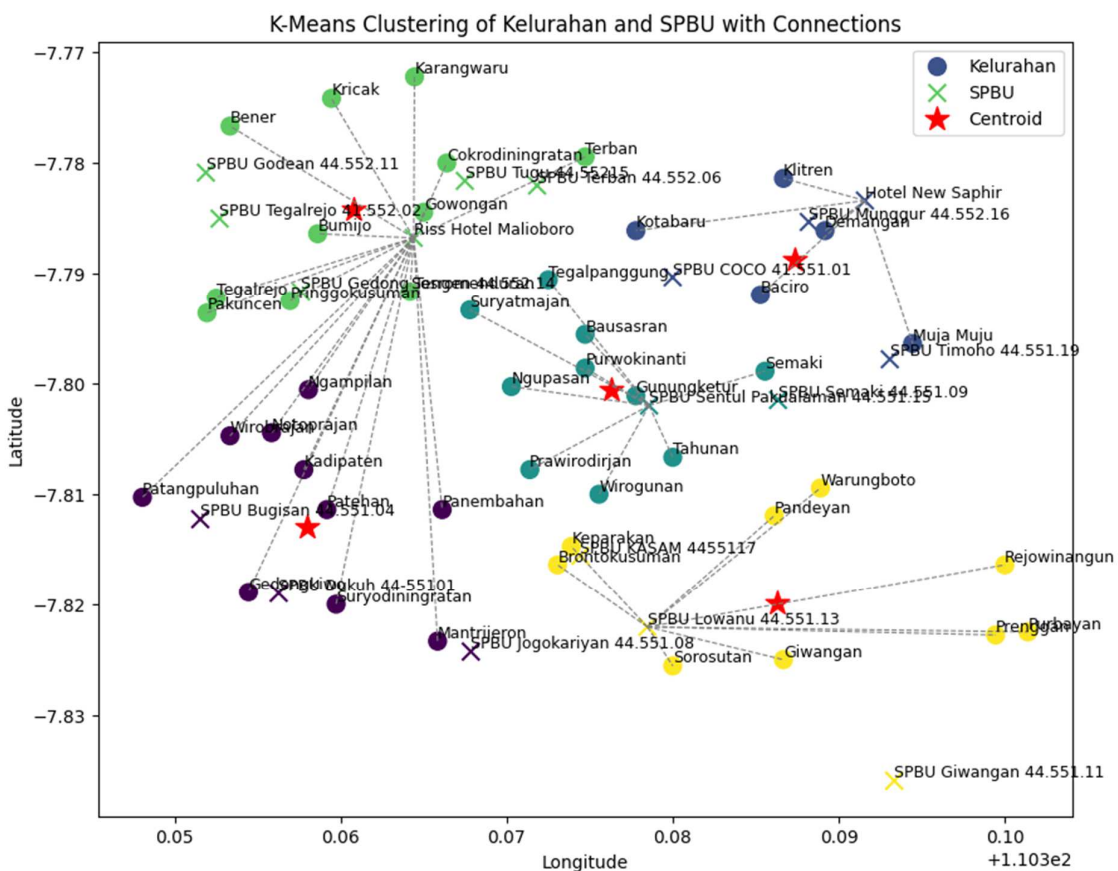
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalrejo	1.44
	Terban	1.4
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Bausasran	2.3
	Demangan	0.4
	Gunungketur	2.49
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	Muja Muju	1.48
	Ngupasan	3.01
	Purwokinanti	2.51
	Semaki	1.85
	Tegalpanggung	2.25
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Pandeyan	1.4
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Tahunan	1.72
	Warungboto	1.81
	Wirogunan	1.38
	SPBU Dukuh 44-55101	
Kelurahan	Gedongkiwo	0.2
	Kadipaten	1.26
	Mantrijeron	1.16
	Ngampilan	2.06
	Notoprajan	1.62
	Panembahan	1.37
	Patangpuluhan	1.32
	Patehan	0.9
	Prawirodirjan	2.08
	Suryodiningratan	0.4
	Wirobrajan	1.62
	Total Distance	

Average Distance	1.42
-------------------------	-------------

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 63.68 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.42 km.

2. *K-Means* dengan $K=5$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *cluster* sebanyak 4 menggunakan metode *K-Means Clustering*:



Gambar 4. 10 Coverage Skenario 5 Cluster

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah kluster ($K=5$) menggunakan metode *K-Means Clustering*. Berdasarkan analisis, diputuskan lima lokasi optimal yaitu di Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, dan SPBU Lowanu 44.551.13. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 12 Coverage Skenario 5 Cluster Charging station

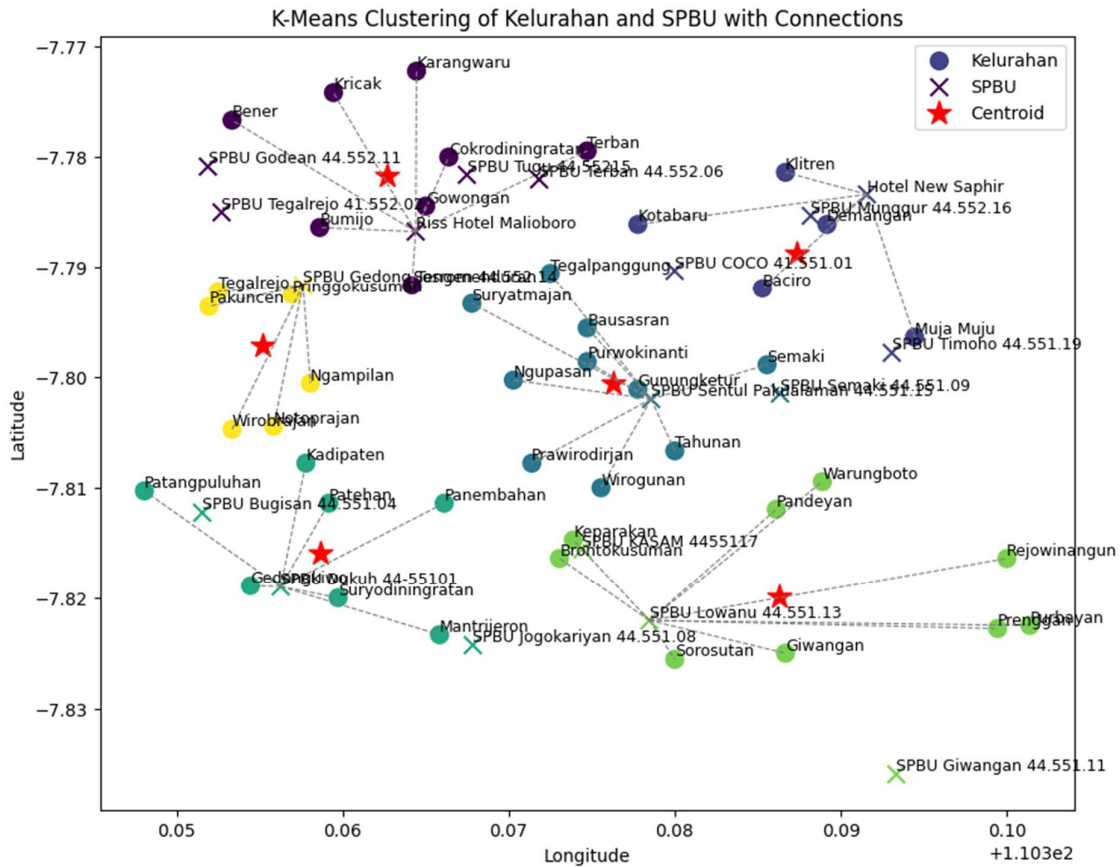
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gedongkiwo	3.74
	Gowongan	0.27
	Kadipaten	2.45
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Mantrijeron	4.07
	Ngampilan	1.69
	Notoprajan	2.18
	Pakuncen	1.57
	Panembahan	2.74
	Patangpuluhan	3.17
	Patehan	2.8
	Pringgokusuman	1.04
	Sosromenduran	0.55
	Suryodiningratan	3.73
	Tegalrejo	1.44
	Terban	1.4
Wirobrajan	2.34	
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	Muja Muju	1.48
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Suryatmajan	1.53
	Tahunan	0.54
	Tegalpanggung	1.44

	Wirogunan	0.95
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Pandeyan	1.4
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Warungboto	1.81
Total Distance		69.07
Average Distance		1.53

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 69.07 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.53 km.

3. *K-Means* dengan $K=6$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *cluster* sebanyak 4 menggunakan metode *K-Means Clustering*:



Gambar 4. 11 Coverage Skenario 6 Cluster

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah kluster ($K=6$) menggunakan metode *K-Means Clustering*. Berdasarkan analisis, diputuskan enam lokasi optimal yaitu di Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Dukuh 44-55101, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Gedong Tengen 44.552.14. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 13 Coverage Skenario 6 Cluster Charging station

Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5

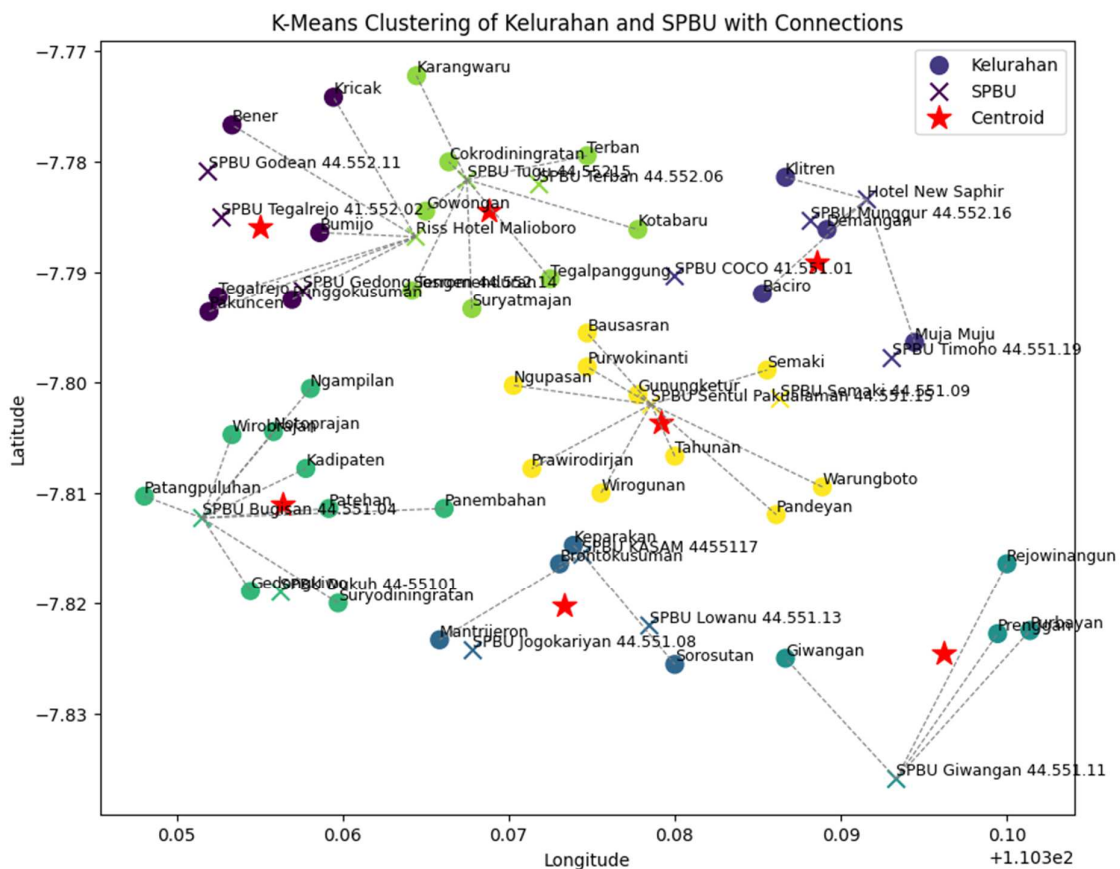
	Sosromenduran	0.55
	Terban	1.4
	Hotel New Saphir	
	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	Muja Muju	1.48
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Suryatmajan	1.53
	Tahunan	0.54
	Tegalpanggung	1.44
	Wirogunan	0.95
SPBU Dukuh 44-55101		
	Gedongkiwo	0.2
Kelurahan	Kadipaten	1.26
	Mantrijeron	1.16
	Panembahan	1.37
	Patangpuluhan	1.32
	Patehan	0.9
	Suryodiningratan	0.4
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Pandeyan	1.4
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Warungboto	1.81
SPBU Gedong Tengen 44.552.14		
Kelurahan	Ngampilan	0.99
	Notoprajan	1.43
	Pakuncen	0.66

	Pringgokusuman	0.12
	Tegalrejo	0.57
	Wirobrajan	1.52
Total Distance		48.01
Average Distance		1.07

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 48.01 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.07 km.

4. *K-Means* dengan $K=7$

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *cluster* sebanyak 4 menggunakan metode *K-Means Clustering*:



Gambar 4. 12 Coverage Skenario 7 Cluster

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah *cluster* (K=7) menggunakan metode *K-Means Clustering*. Berdasarkan analisis, diputuskan

tujuh lokasi optimal yaitu di Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, SPBU Tugu 44.55215, dan SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 14 *Coverage Skenario 7 Cluster Charging station*

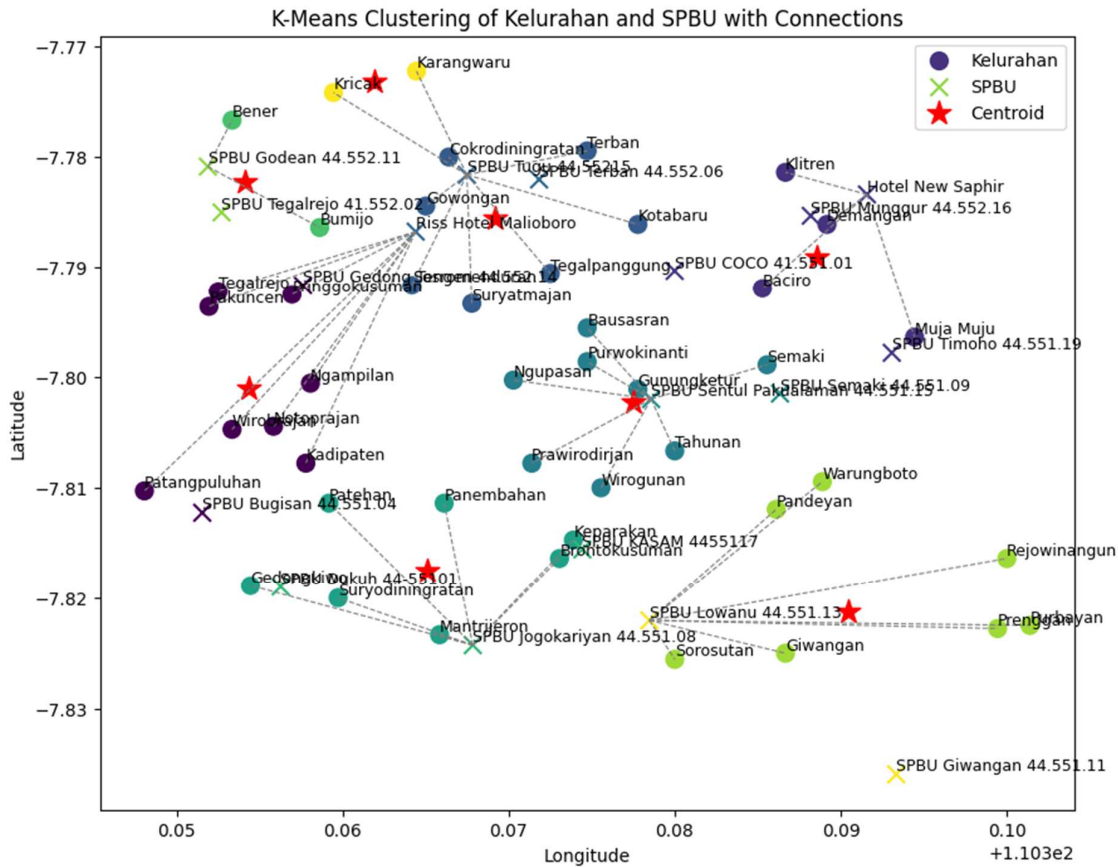
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Kricak	1.5
	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04
	Tegalrejo	1.44
	Hotel New Saphir	
	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
SPBU KASAM 4455117		
Kelurahan	Brontokusuman	0.18
	Keparakan	0.11
	Mantrijeron	1.28
	Sorosutan	1.27
SPBU Giwangan 44.551.11		
Kelurahan	Giwangan	1.42
	Prenggan	1.61
	Purbayan	1.73
	Rejowinangun	2.29
SPBU Bugisan 44.551.04		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.8
	Kadipaten	0.85
	Ngampilan	1.49
	Notoprajan	0.99
	Panembahan	1.61
	Patangpuluhan	0.44
	Patehan	0.85
	Suryodiningratan	1.25
	Wirobrajan	0.86
SPBU Tugu 44.55215		

Kelurahan	Cokrodiningratan	0.22
	Gowongan	0.42
	Karangwaru	1.1
	Kotabaru	1.24
	Sosromenduran	1.18
	Suryatmajan	1.3
	Tegalpanggung	1.14
	Terban	0.83
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Pandeyan	1.38
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Warungboto	1.41
	Wirogunan	0.95
Total Distance		46.54
Average Distance		1.03

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 46.54 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.03 km.

5. *K-Means* dengan K=8

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan total *cluster* sebanyak 4 menggunakan metode *K-Means Clustering*:



Gambar 4. 13 Coverage Skenario 8 Cluster

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan jumlah kluster ($K=8$) menggunakan metode *K-Means Clustering*. Berdasarkan analisis, diputuskan delapan lokasi optimal yaitu di Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Jogokariyan 44.551.08, SPBU Godean 44.552.11, dan SPBU Lowanu 44.551.13. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 15 Coverage Skenario 8 Cluster Charging station

Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Kadipaten	2.45
	Ngampilan	1.69
	Notoprajan	2.18
	Pakuncen	1.57
	Patangpuluhan	3.17
	Pringgokusuman	1.04

	Tegalrejo	1.44
	Wirobrajan	2.34
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Muja Muju	1.48
SPBU Tugu 44.55215		
Kelurahan	Cokrodiningratan	0.22
	Gowongan	0.42
	Karangwaru	1.1
	Kotabaru	1.24
	Kricak	1.21
	Sosromenduran	1.18
	Suryatmajan	1.3
	Tegalpanggung	1.14
	Terban	0.83
SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15		
Kelurahan	Bausasran	0.83
	Gunungketur	0.13
	Ngupasan	0.93
	Prawirodirjan	1.02
	Purwokinanti	0.57
	Semaki	0.84
	Tahunan	0.54
	Wirogunan	0.95
SPBU Jogokariyan 44.551.08		
Kelurahan	Brontokusuman	1.05
	Gedongkiwo	1.59
	Keparakan	1.25
	Mantrijeron	0.24
	Panembahan	1.45
	Patehan	1.72
	Suryodiningratan	1.01
SPBU Godean 44.552.11		
Kelurahan	Bener	0.49
	Bumijo	0.96
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Giwangan	0.96
	Pandeyan	1.4
	Prenggan	2.31

	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Warungboto	1.81
Total Distance		55.64
Average Distance		1.24

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 55.64 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.24 km.

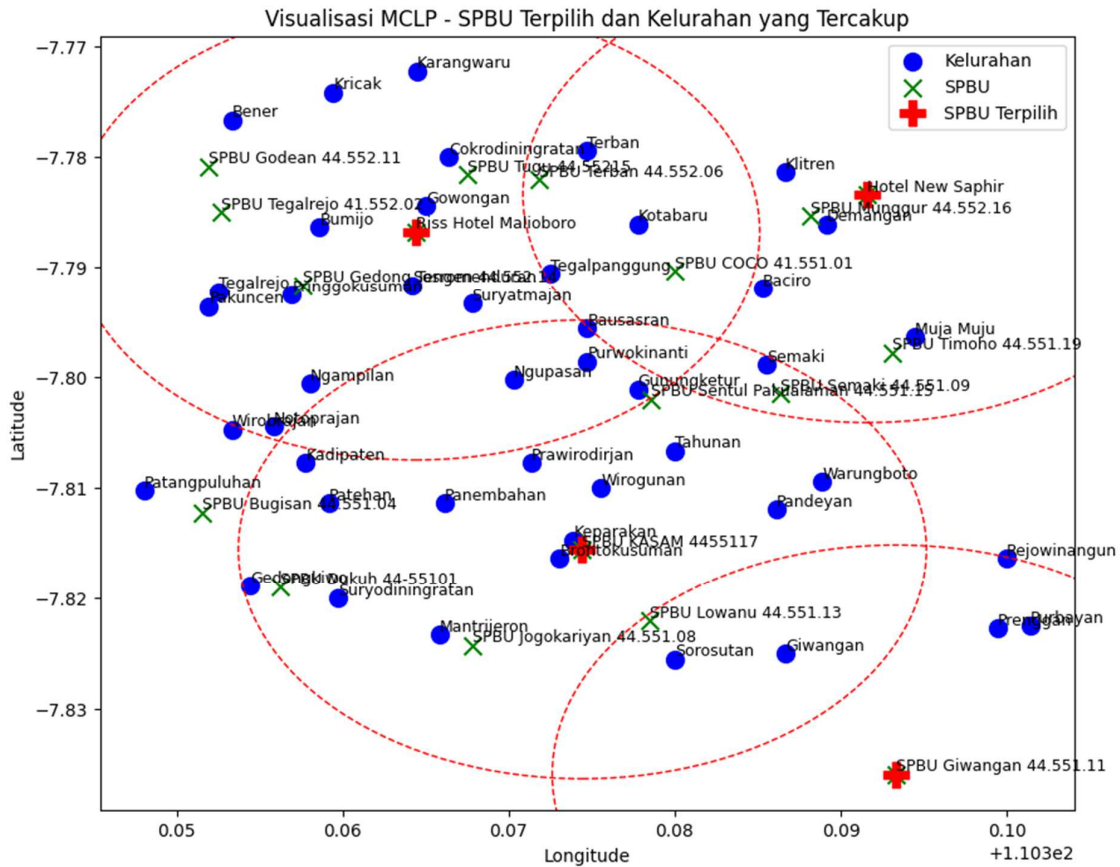
4.2.4 *Output Skenario MCLP dengan Python*

Berikut ini merupakan hasil dari setiap skenario yang dihasilkan menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem* dengan *Python* berdasarkan jarak *Euclidean*. Analisis ini bertujuan untuk menemukan lokasi optimal dari *charging station* untuk memaksimalkan jumlah permintaan yang dapat dilayani oleh fasilitas. Penentuan lokasi optimal ini penting dilakukan untuk memaksimalkan jumlah permintaan yang dilayani serta mengoptimalkan efisiensi biaya.

Berikut merupakan perbandingan total jarak yang harus ditempuh dengan menggunakan metode

1. MCLP dengan *Coverage* 2.3 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan radius *coverage* sebesar 2.3 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem*:



Gambar 4. 14 Coverage Skenario Radius 2.3 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.3 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem* (MCLP). Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Giwangan 44.551.11, dan SPBU KASAM 4455117. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 16 Coverage Skenario Radius 2.3 km *Charging station*

Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Bausasaran	2.3
	Demangan	0.4
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	MujaMuju	1.48
	Semaki	1.85
	Tegalpanggung	2.25

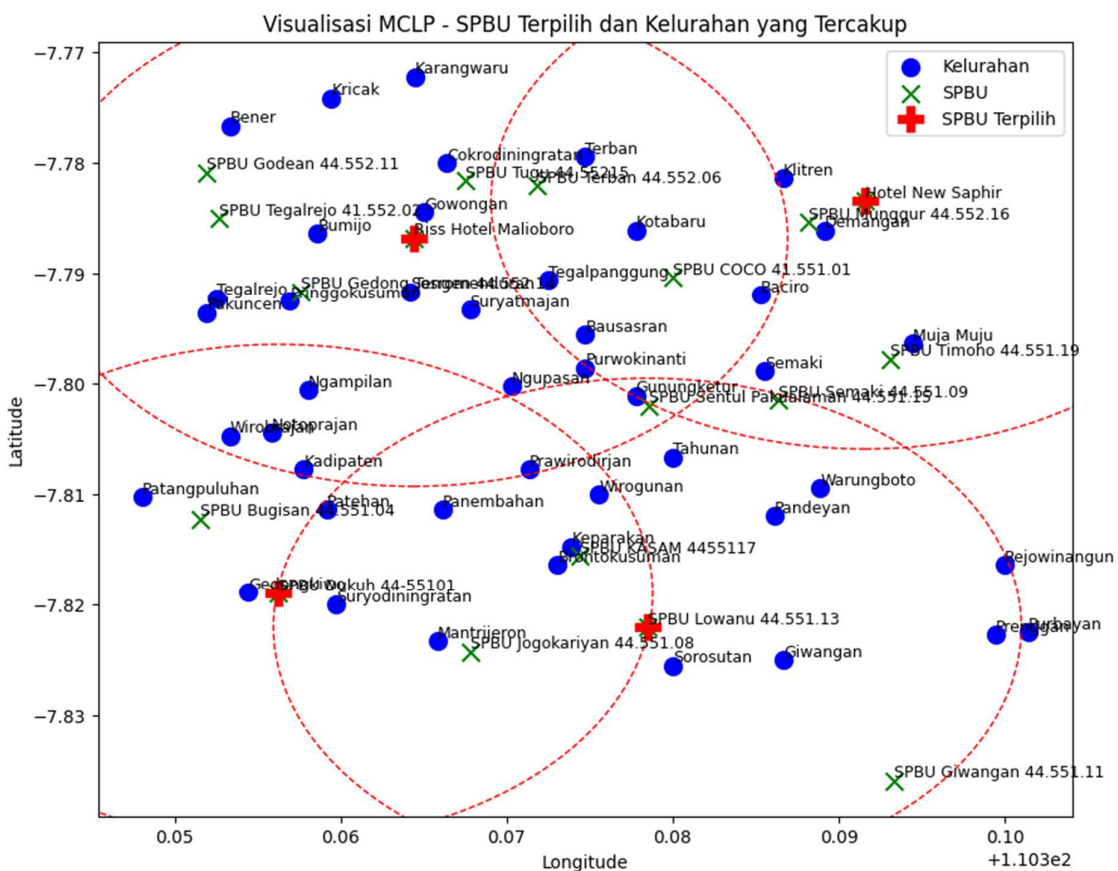
	Terban	1.91
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Gunungketur	2.17
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Ngampilan	1.69
	Ngupasan	1.64
	Notoprajan	2.18
	Pakuncen	1.57
	Pringgokusuman	1.04
	Purwokinanti	1.74
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalrejo	1.44
Wirobrajan	2.34	
SPBU Giwangan 44.551.11		
Kelurahan	Prenggan	1.61
	Purbayan	1.73
	Rejowinangun	2.29
SPBU KASAM 4455117		
Kelurahan	Brontokusuman	0.18
	Gedongkiwo	2.23
	Giwangan	1.71
	Kadipaten	2.03
	Keparakan	0.11
	Mantrijeron	1.28
	Pandeyan	1.35
	Panembahan	1.03
	Patehan	1.74
	Prawirodirjan	0.93
	Sorosutan	1.27
	Suryodiningratan	1.69
	Tahunan	1.16
	Warungboto	1.73
	Wirogunan	0.63
	Patangpuluhan	2.96
Total Distance		64.81

Average Distance	1.440222
-------------------------	----------

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 64.81 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.44 km.

2. MCLP dengan Coverage 2.5 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan radius *coverage* sebesar 2.5 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem*:



Gambar 4. 15 Coverage Skenario Radius 2.5 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.5 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem* (MCLP). Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Dukuh 44-55101, dan SPBU Lowanu 44.551.13. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 17 Coverage Skenario Radius 2.5 km Charging station

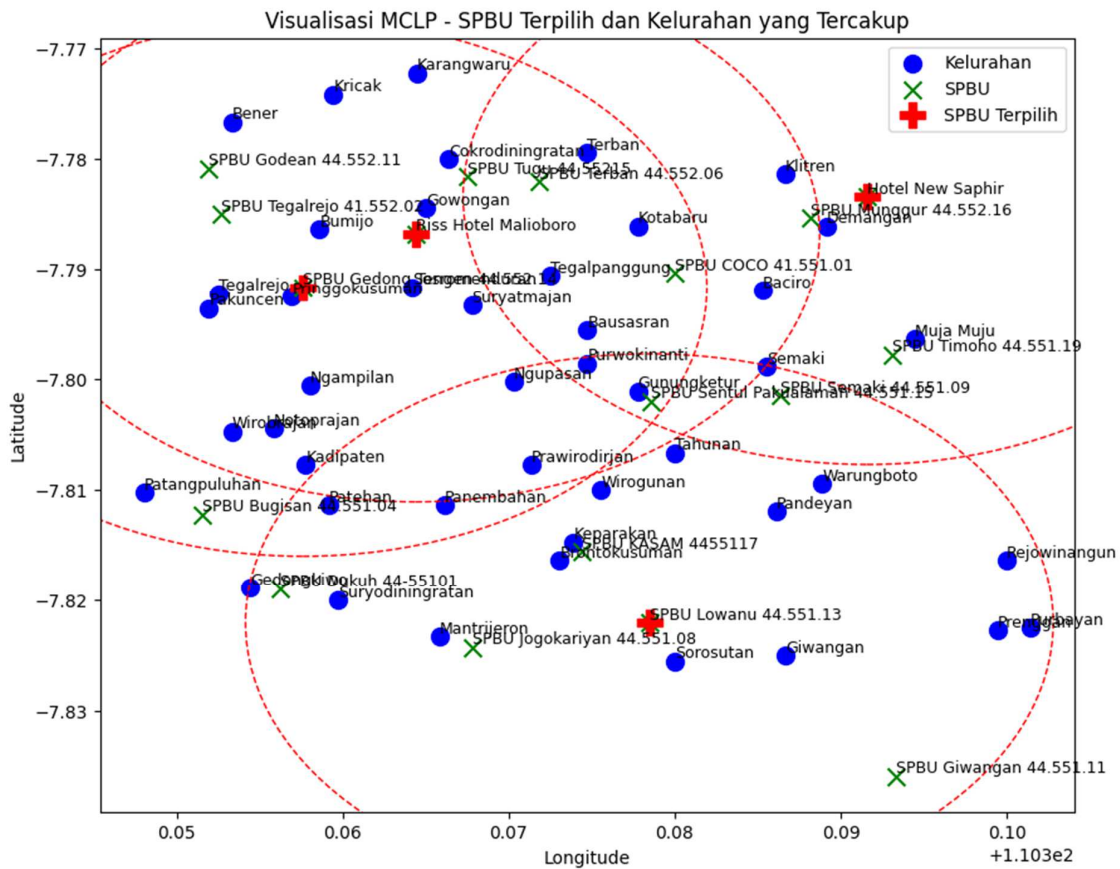
Hotel New Saphir		
Kelurahan	Baciro	1.18
	Bausasran	2.3
	Demangan	0.4
	Gunungketur	2.49
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	MujaMuju	1.48
	Semaki	1.85
	Tegalpanggung	2.25
	Terban	1.91
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Kadipaten	2.45
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Ngampilan	1.69
	Ngupasan	1.64
	Notoprajan	2.18
	Pakuncen	1.57
	Prawirodirjan	2.46
	Pringgokusuman	1.04
	Purwokinanti	1.74
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalrejo	1.44
	Wirobrajan	2.34
SPBU Dukuh 44-55101		
Kelurahan	Gedongkiwo	0.2
	Patangpuluhan	1.32
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4

Pandeyan	1.4
Panembahan	1.8
Patehan	2.43
Prenggan	2.31
Rejowinangun	2.45
Sorosutan	0.43
Suryodiningratan	2.08
Tahunan	1.72
Warungboto	1.81
Wirogunan	1.38
Purbayan	2.53
Total Distance	68.43
Average Distance	1.52067

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 68.43 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.52 km.

3. MCLP dengan Coverage 2.7 km

Berikut ini merupakan hasil skenario dengan radius *coverage* sebesar 2 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem*:



Gambar 4. 16 Coverage Skenario Radius 2.7 km

Telah dilakukan penentuan lokasi optimal untuk area *coverage* dengan radius maksimal 2.5 km menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem* (MCLP). Berdasarkan analisis, diputuskan empat lokasi optimal yaitu di Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Dukuh 44-55101, dan SPBU Lowanu 44.551.13. Berikut adalah rincian kelurahan yang dicakup oleh setiap SPBU beserta jaraknya:

Tabel 4. 18 Coverage Skenario Radius 2.7 km Charging station

		Hotel New Saphir
Kelurahan	Baciro	1.18
	Bausasran	2.3
	Demangan	0.4
	Gunungketur	2.49
	Klitren	0.58
	Kotabaru	1.55
	MujaMuju	1.48

	Purwokinanti	2.51
	Semaki	1.85
	Tegalpanggung	2.25
	Terban	1.91
Riss Hotel Malioboro		
Kelurahan	Bener	1.66
	Bumijo	0.64
	Cokrodiningratan	0.78
	Gowongan	0.27
	Kadipaten	2.45
	Karangwaru	1.62
	Kricak	1.5
	Ngampilan	1.69
	Ngupasan	1.64
	Notoprajan	2.18
	Pakuncen	1.57
	Prawirodirjan	2.46
	Pringgokusuman	1.04
	Sosromenduran	0.55
	Suryatmajan	0.82
	Tegalrejo	1.44
Wirobrajan	2.34	
SPBU Gedong Tengen 44.552.14		
Kelurahan	Patangpuluhan	2.32
SPBU Lowanu 44.551.13		
Kelurahan	Brontokusuman	0.87
	Gedongkiwo	2.67
	Giwangan	0.96
	Keparakan	0.96
	Mantrijeron	1.4
	Pandeyan	1.4
	Panembahan	1.8
	Patehan	2.43
	Prenggan	2.31
	Purbayan	2.53
	Rejowinangun	2.45
	Sorosutan	0.43
	Suryodiningratan	2.08
	Tahunan	1.72
	Warungboto	1.81
	Wirogunan	1.38

Total Distance	72.67
Average Distance	1.62

Berdasarkan perhitungan, total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk dari tiap kelurahan menuju lokasi optimal terdekat adalah 68.43 km, dengan jarak rata-rata sebesar 1.52 km.

4.2.5 Perbandingan Hasil

1. Hasil *Set covering problem*

Berikut merupakan perbandingan total jarak yang harus ditempuh dengan menggunakan metode *Set covering problem*:

Tabel 4. 19 Hasil *Set covering problem*

Radius Maksimal	Lokasi Optimal (SPBU)	<i>Charging station</i>	Total Jarak (km)	Jarak Rata-rata (km)
2.3 km	SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	5	55.73	1.24
2.5 km	SPBU COCO 41.551.01, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Dukuh 44-55101, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	5	58.76	1.31
2.7 km	SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	5	62.32	1.38

Pada radius maksimal 2.3 km, lima lokasi optimal untuk *charging station* adalah SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir, dengan total jarak yang harus ditempuh adalah 55.73 km dan jarak rata-rata sebesar 1.24 km. Pada radius maksimal 2.5 km, lima lokasi optimal adalah SPBU COCO 41.551.01, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Dukuh 44-55101, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir, dengan total jarak 58.76 km dan jarak rata-rata 1.31 km. Sedangkan pada radius maksimal 2.7 km, lima lokasi optimal adalah SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir, dengan total jarak

62.32 km dan jarak rata-rata 1.38 km. Analisis ini menunjukkan bagaimana variasi dalam radius maksimal mempengaruhi jumlah *charging station* yang diperlukan dan total jarak yang harus ditempuh untuk mencakup seluruh area.

2. Hasil *P-Median*

Berikut merupakan perbandingan total jarak yang harus ditempuh dengan menggunakan metode *P-Median*:

Tabel 4. 20 Hasil *P-Median*

P	Lokasi Optimal (SPBU)	Total Jarak (km)	Jarak Rata-rata (km)
4	SPBU KASAM 4455117, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	55.42	1.23
5	SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	49.03	1.09
6	SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	45.79	1.02
7	SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	42.74	0.95
8	SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir	40.58	0.9

Pada skenario dengan 4 SPBU ($P = 4$), lokasi optimal yang terpilih adalah SPBU KASAM 4455117, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 55.42 km dan jarak rata-rata sebesar 1.23 km. Ketika jumlah SPBU meningkat menjadi 5 ($P = 5$), lokasi optimalnya adalah SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 49.03 km dan jarak rata-rata 1.09 km. Dalam skenario $P = 6$, lokasi yang dipilih adalah SPBU Gedong Tengen

44.552.14, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 45.79 km dan jarak rata-rata 1.02 km. Untuk skenario dengan 7 SPBU ($P = 7$), lokasi optimal adalah SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 42.74 km dan jarak rata-rata 0.95 km. Pada skenario $P = 8$, lokasi terpilih adalah SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 40.58 km dan jarak rata-rata 0.9 km. Analisis ini menunjukkan bagaimana variasi dalam jumlah SPBU mempengaruhi total jarak yang harus ditempuh untuk mencapai lokasi-lokasi tersebut.

3. Hasil *K-Means Clustering*

Berikut merupakan perbandingan total jarak yang harus ditempuh dengan menggunakan metode *K-Means Clustering*:

Tabel 4. 21 Hasil *K-Means Clustering*

K	Lokasi Optimal (SPBU)	Total Jarak (km)	Jarak Rata-rata (km)
4	Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Dukuh 44-55101	63.68	1.42
5	Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13	69.07	1.53
6	Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Dukuh 44-55101, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Gedong Tengen 44.552.14	48.01	1.07
7	Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15	46.54	1.03
8	Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Jogokariyan 44.551.08, SPBU Godean 44.552.11, SPBU Lowanu 44.551.13	55.64	1.24

Pada skenario dengan 4 kluster ($K = 4$), lokasi optimal yang terpilih adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Dukuh 44-55101, dengan total jarak yang harus ditempuh adalah 63.68 km dan jarak rata-rata sebesar 1.42 km. Ketika jumlah kluster meningkat menjadi 5 ($K = 5$), lokasi optimalnya adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 69.07 km dan jarak rata-rata 1.53 km. Dalam skenario $K = 6$, lokasi yang dipilih adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Dukuh 44-55101, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Gedong Tengen 44.552.14 dengan total jarak 48.01 km dan jarak rata-rata 1.07 km. Untuk skenario dengan 7 kluster ($K = 7$), lokasi optimal adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU KASAM 4455117, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU Bugisan 44.551.04, SPBU Tugu 44.55215, dan SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15 dengan total jarak 46.54 km dan jarak rata-rata 1.03 km. Pada skenario $K = 8$, lokasi terpilih adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Tugu 44.55215, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Jogokariyan 44.551.08, SPBU Godean 44.552.11, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 55.64 km dan jarak rata-rata 1.24 km. Analisis ini menunjukkan bagaimana variasi dalam jumlah kluster mempengaruhi total jarak yang harus ditempuh untuk mencapai lokasi-lokasi tersebut.

4. Hasil *Maximal Coverage Location Problem*

Berikut merupakan perbandingan total jarak yang harus ditempuh dengan menggunakan metode *Maximal Coverage Location Problem*:

Tabel 4. 22 Hasil Set MCLP

Radius Maksimal	Lokasi Optimal (SPBU)	<i>Charging station</i>	Total Jarak (km)	Jarak Rata-rata (km)
2.3 km	Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Giwangan 44.551.11, SPBU KASAM 4455117	4	64.81	1.44
2.5 km	Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Dukuh 44-55101, SPBU Lowanu 44.551.13	4	68.43	1.52
2.7 km	Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Gedong Tengen 44.552.14, SPBU Lowanu 44.551.13	4	72.67	1.61

Pada radius maksimal 2.3 km, empat lokasi optimal untuk *charging station* adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Giwangan 44.551.11, dan SPBU KASAM 4455117, dengan total jarak yang harus ditempuh adalah 64.81 km dan jarak rata-rata sebesar 1.44 km. Pada radius maksimal 2.5 km, empat lokasi optimal adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Dukuh 44-55101, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 68.43 km dan jarak rata-rata 1.52 km. Sedangkan pada radius maksimal 2.7 km, empat lokasi optimal adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Gedong Tengen 44.552.14, dan SPBU Lowanu 44.551.13, dengan total jarak 72.67 km dan jarak rata-rata 1.61 km. Analisis ini menunjukkan bagaimana variasi dalam radius maksimal mempengaruhi jumlah *charging station* yang diperlukan dan total jarak yang harus ditempuh untuk mencakup seluruh area.

BAB V

ANALISA DAN PEMBAHASAN

5.1 Evaluasi Hasil Seluruh Metode

Pada tahap ini, akan dilakukan evaluasi terkait hasil yang diperoleh dari berbagai metode yang digunakan dalam penelitian ini. Evaluasi dilakukan untuk mengukur performa dan efektivitas seriap metode dalam optimasi lokasi *charging station* kendaraan listrik. Pada tahap ini, akan dilakukan evaluasi terkait hasil yang diperoleh dari berbagai metode yang digunakan dalam penelitian ini. Evaluasi dilakukan untuk mengukur performa dan efektivitas setiap metode dalam optimasi lokasi *charging station*. Metode *Set covering problem (SCP)* berfokus pada cakupan area maksimal dengan menggunakan jumlah fasilitas yang seminimal mungkin. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam memastikan cakupan area yang luas, namun total jarak tempuh dalam beberapa skenario lebih tinggi dibandingkan metode lainnya. Pada radius maksimal 2.3 km, metode SCP memerlukan 5 *charging station* dengan total jarak tempuh 55.73 km dan jarak rata-rata sebesar 1.24 km. Pada radius maksimal 2.5 km, metode SCP memerlukan 5 *charging station* dengan total jarak tempuh 58.76 km dan jarak rata-rata sebesar 1.31 km. Sedangkan pada radius maksimal 2.7 km, metode SCP memerlukan 5 *charging station* dengan total jarak tempuh 62.32 km dan jarak rata-rata sebesar 1.38 km. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam mencakup area yang luas dengan jumlah fasilitas minimal, namun kekurangannya adalah total jarak yang harus ditempuh bisa lebih tinggi.

Metode *P-Median* bertujuan meminimalkan total jarak tempuh antara permintaan dan fasilitas. Hasil menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif dalam memastikan aksesibilitas maksimal bagi pengguna. Pada skenario $P = 4$ hingga $P = 8$, jumlah *charging station* yang digunakan bervariasi antara 4 hingga 8, dengan total jarak tempuh yang semakin berkurang. Pada skenario $P = 4$, lokasi optimal yang terpilih adalah SPBU KASAM 4455117, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 55.42 km dan jarak rata-rata sebesar 1.23 km. Ketika jumlah SPBU meningkat menjadi 5 ($P = 5$), lokasi optimalnya adalah SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 49.03 km dan jarak rata-rata 1.09 km. Pada skenario $P = 6$, lokasi yang dipilih adalah SPBU Gedong

Tengen 44.552.14, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Lowanu 44.551.13, SPBU Bugisan 44.551.04, Riss Hotel Malioboro, dan Hotel New Saphir dengan total jarak 45.79 km dan jarak rata-rata 1.02 km. Hasil terbaik diperoleh pada skenario $P = 8$ dengan total jarak tempuh 40.58 km dan jarak rata-rata 0.90 km. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam meminimalkan jarak tempuh secara signifikan, menjadikannya sangat efektif dalam memastikan aksesibilitas bagi pengguna.

Metode *K-Means Clustering* mengelompokkan lokasi berdasarkan kedekatan geografis. Metode ini efektif dalam meminimalkan total jarak tempuh. Misalnya, pada skenario $K = 4$, lokasi optimal yang terpilih adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Dukuh 44-55101 dengan total jarak 63.68 km dan jarak rata-rata sebesar 1.42 km. Pada skenario $K = 5$, lokasi optimal adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 69.07 km dan jarak rata-rata sebesar 1.53 km. Sedangkan pada skenario $K = 6$, lokasi optimal yang dipilih adalah Riss Hotel Malioboro, Hotel New Saphir, SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15, SPBU Dukuh 44-55101, SPBU Lowanu 44.551.13, dan SPBU Gedong Tengen 44.552.14 dengan total jarak 48.01 km dan jarak rata-rata sebesar 1.07 km. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam mengurangi total jarak tempuh secara signifikan, namun metode ini mungkin tidak selalu memastikan cakupan yang merata jika distribusi permintaan tidak homogen

Metode *Maximal Coverage Location Problem (MCLP)* memaksimalkan jumlah permintaan yang dilayani oleh fasilitas terbatas. Hasil menunjukkan bahwa metode ini efektif dalam skenario di mana permintaan tersebar luas. Pada radius maksimal 2.3 km, empat lokasi optimal untuk *charging station* adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Giwangan 44.551.11, dan SPBU KASAM 4455117 dengan total jarak tempuh 64.81 km dan jarak rata-rata sebesar 1.44 km. Pada radius maksimal 2.5 km, empat lokasi optimal adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Dukuh 44-55101, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 68.43 km dan jarak rata-rata 1.52 km. Sedangkan pada radius maksimal 2.7 km, empat lokasi optimal adalah Hotel New Saphir, Riss Hotel Malioboro, SPBU Gedong Tengen 44.552.14, dan SPBU Lowanu 44.551.13 dengan total jarak 72.67 km dan jarak rata-rata 1.61 km. Kelebihan metode ini adalah kemampuannya dalam memenuhi permintaan yang luas, namun kekurangannya adalah total jarak tempuh bisa lebih tinggi jika permintaan terpusat di beberapa lokasi.

Berbagai metode *Location Allocation* digunakan untuk menentukan lokasi optimal *charging station* di Kota Yogyakarta. Setiap metode memiliki pendekatan dan tujuan yang berbeda dalam mengoptimalkan lokasi, yang mencerminkan keunggulan dan keterbatasan tertentu. Berikut adalah kelebihan dan kekurangan dari metode yang telah digunakan:

Tabel 5. 1 Perbandingan Metode

Metode	Kelebihan	Kekurangan
<i>Set covering problem</i>	Dapat memastikan cakupan maksimal area dengan jumlah fasilitas minimal	Total jarak yang harus ditempuh dalam beberapa skenario bisa lebih tinggi dibandingkan metode lain
<i>K-Means Clustering</i>	Mengelompokkan lokasi berdasarkan kedekatan geografis, efektif dalam meminimalkan total jarak tempuh	Tidak selalu memastikan cakupan yang merata jika distribusi permintaan tidak homogen
<i>P-Median</i>	Meminimalkan total jarak tempuh, efektif dalam memastikan aksesibilitas maksimal pengguna	Mungkin memerlukan jumlah fasilitas yang lebih banyak untuk mencapai cakupan yang sama dengan metode lain
<i>Maximal Coverage Location Problem</i>	Memaksimalkan jumlah permintaan yang dilayani oleh fasilitas terbatas	Total jarak tempuh bisa lebih tinggi jika permintaan terpusat di beberapa lokasi

Metode *Set covering problem* memberikan cakupan area maksimal dengan jumlah fasilitas minimal, tetapi mungkin kurang efisien dalam hal total jarak tempuh. Sementara itu, metode *K-Means Clustering* sangat efisien dalam meminimalkan total jarak tempuh dan memastikan aksesibilitas yang tinggi, meskipun cakupan area mungkin tidak merata jika distribusi permintaan tidak homogen. Metode *P-Median* menawarkan keseimbangan antara cakupan area dan efisiensi jarak tempuh, menjadikan lokasi-lokasi yang dipilih sangat strategis dan efektif. Di sisi lain, metode *Maximal Coverage Location Problem* memastikan cakupan area yang luas dengan memenuhi permintaan yang tersebar, tetapi bisa kurang efisien dalam hal total jarak tempuh.

Berdasarkan evaluasi dari seluruh metode yang digunakan, metode *P-Median* dan *K-Means Clustering* menunjukkan performa terbaik dalam meminimalkan total jarak tempuh. Namun, metode *Set covering problem* dan *Maximal Coverage Location Problem* memiliki

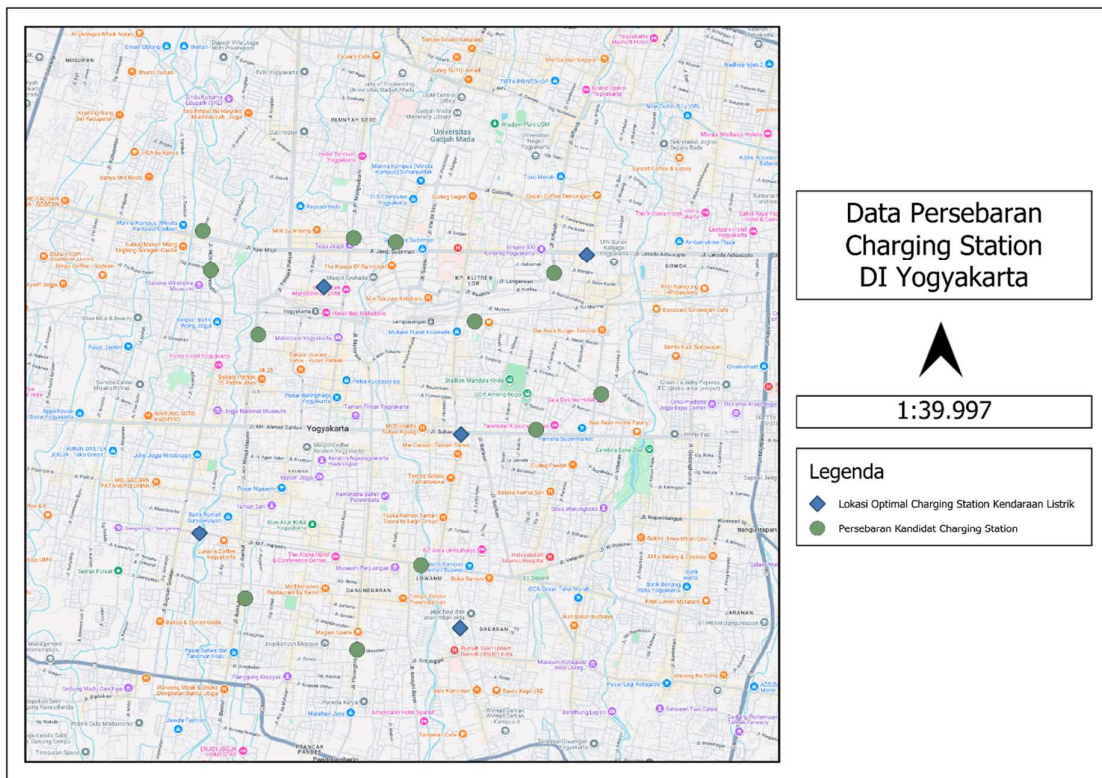
keunggulan dalam hal cakupan area dan pemenuhan permintaan. Pilihan metode yang digunakan akan sangat bergantung pada tujuan spesifik dari implementasi *charging station*, apakah lebih fokus pada minimisasi jarak, cakupan area, atau pemenuhan permintaan maksimal

5.2 Evaluasi Hasil Penentuan Lokasi *Charging station*

Metode *P-Median* terbukti mendapatkan hasil yang terbaik di antara metode lainnya dengan mempertimbangkan jarak *Euclidean* rata-rata dari tiap kelurahan ke *charging station* terdekat. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode ini sangat efektif dalam meminimalkan jarak tempuh, yang secara langsung meningkatkan aksesibilitas bagi pengguna.

Selain itu, metode *P-Median* sangat cocok untuk pembangunan berkelanjutan. Hal ini terlihat dari jumlah *charging station* yang berubah tiap P yang ditentukan, di mana SPBU sebelumnya masih digunakan semuanya. Misalnya, dari $P = 5$ ke $P = 6$ hanya perlu menambahkan SPBU Gedong Tengen. Dari $P = 6$ ke $P = 7$ hanya perlu menambahkan SPBU KASAM, dan dari $P = 7$ ke $P = 8$ hanya perlu menambahkan SPBU Tugu. Pendekatan ini memastikan bahwa setiap peningkatan jumlah SPBU tidak mengubah lokasi yang sudah dipilih sebelumnya, sehingga memudahkan perencanaan dan pelaksanaan pembangunan yang berkelanjutan.

Kelebihan utama metode *P-Median* adalah kemampuannya dalam meminimalkan jarak tempuh secara signifikan, menjadikannya sangat efektif dalam memastikan aksesibilitas bagi pengguna. Penentuan jumlah *charging station* yang ideal sangat mempengaruhi total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk. Penurunan jumlah *charging station* dapat secara signifikan meningkatkan total jarak tempuh. Beberapa kelurahan berada cukup jauh dari SPBU yang dipilih, yang menunjukkan bahwa distribusi geografis *charging station* mungkin perlu disesuaikan lebih lanjut untuk efisiensi yang lebih tinggi.



Gambar 5. 1 Persebaran *Charging Station*

Dengan demikian, stabilitas dan pendekatan bertahap dari metode *P-Median* menjadikannya lebih cocok untuk memastikan pelaksanaan pembangunan *charging station* yang koheren dan efisien dari waktu ke waktu. Metode *P-Median* menawarkan keseimbangan antara cakupan area dan efisiensi jarak tempuh, menjadikan lokasi-lokasi yang dipilih sangat strategis dan efektif. Di sisi lain, metode *K-Means Clustering* juga sangat efisien dalam meminimalkan total jarak tempuh dan memastikan aksesibilitas yang tinggi, namun cakupan area mungkin tidak merata jika distribusi permintaan tidak homogen.

Penentuan jumlah *charging station* yang ideal sangat mempengaruhi total jarak yang harus ditempuh oleh penduduk. Penurunan jumlah *charging station* dapat secara signifikan meningkatkan total jarak tempuh. Beberapa kelurahan berada cukup jauh dari SPBU yang dipilih, yang menunjukkan bahwa distribusi geografis *charging station* mungkin perlu disesuaikan lebih lanjut untuk efisiensi yang lebih tinggi. Meskipun metode *K-Means Clustering* efektif dalam menentukan lokasi optimal, pendekatan ini mungkin tidak selalu memberikan hasil terbaik dalam semua situasi karena bergantung pada variasi distribusi permintaan. Penempatan *charging station* di lokasi-lokasi strategis dapat mengoptimalkan

aksesibilitas bagi masyarakat dan mengurangi jarak tempuh. Analisis data menggunakan metode *K-Means Clustering* dan *P-Median* memberikan panduan yang kuat untuk pengambilan keputusan dalam perencanaan infrastruktur pengisian daya kendaraan listrik.

BAB VI PENUTUP

6.1 Kesimpulan

1. Berdasarkan analisis menggunakan berbagai metode Location-Allocation, *P-Median* terbukti paling efektif dalam meminimalkan jarak tempuh pengguna untuk mencapai *charging station*, sehingga ini menjadikannya pilihan terbaik di antara metode lainnya yang digunakan. Selain itu, metode ini sangat cocok untuk pembangunan berkelanjutan karena memungkinkan penambahan *charging station* secara bertahap tanpa perlu mengubah lokasi yang sudah ada sebelumnya. Setiap peningkatan jumlah SPBU, seperti dari $P=5$ ke $P=6$, hanya memerlukan penambahan SPBU baru tanpa mengubah yang sudah ada, memastikan perencanaan dan pelaksanaan pembangunan yang efisien dan terstruktur. Dengan cara ini, jaringan *charging station* dapat berkembang secara logis dan adaptif terhadap pertumbuhan permintaan kendaraan listrik di masa depan.
2. Metode *P-Median* menghasilkan jarak rata-rata terendah antara kelurahan dengan *charging station*, dengan jarak rata-rata sebesar 1.09 km pada skenario $P=5$. Penurunan jarak rata-rata ini memberikan manfaat untuk meningkatkan efisiensi pengguna untuk menempuh perjalanan ke lokasi *charging station*. Analisis lebih lanjut juga menunjukkan bahwa jarak rata-rata dengan menggunakan metode *P-Median* akan terus berkurang seiring dengan bertambahnya *charging station* dari $P=5$ menjadi $P=6$ dan seterusnya. Hal ini menjadikan *P-Median* menjadi solusi optimal yang adaptif terhadap peningkatan permintaan serta memungkinkan perencanaan pengembangan infrastruktur yang berkelanjutan.

6.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk memperhitungkan berbagai faktor penting yang dapat mempengaruhi pengadaan *charging station* seperti biaya pembangunan, biaya operasional, kapasitas, serta variabel lainnya. Dengan mempertimbangkan variabel tersebut ke dalam analisis, penelitian dapat memberikan Solusi yang lebih efektif dan efisien dalam konteks optimasi lokasi *charging station* kendaraan listrik. Selain itu, analisis komperhensif diharapkan dapat membantu pengambilan Keputusan yang lebih realistis dan ekonomis mengenai jumlah lokasi optimal *charging station*.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, F., Iqbal, A., Ashraf, I., Marzband, M., & Khan, I. (2022). Optimal location of electric vehicle *charging station* and its impact on distribution network: A review. In *Energy Reports* (Vol. 8). <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.180>
- Aslan Özşahin, S. G., & Erdebilli, B. (2023). Statistical-machine-learning-based intelligent relaxation for set-covering location models to identify locations of *charging stations* for electric vehicles. *EURO Journal on Transportation and Logistics*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.ejtl.2023.100118>
- Bangun, P. B. J., Octarina, S., Aniza, R., Hanum, L., Puspita, F. M., & Supadi, S. S. (2022). Set Covering Model Using Greedy Heuristic Algorithm to Determine The Temporary Waste Disposal Sites in Palembang. *Science and Technology Indonesia*, 7(1). <https://doi.org/10.26554/sti.2022.7.1.98-105>
- Cakrawati Sudjoko. (2021). Strategi Pemanfaatan Kendaraan Listrik Berkelanjutan Sebagai Solusi Untuk Mengurangi Emisi Karbon. *Jurnal Paradigma: Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana Indonesia*, 2(2).
- Gong, D., Tang, M., Buchmeister, B., & Zhang, H. (2019). Solving location problem for electric vehicle *charging stations* - A sharing charging model. *IEEE Access*, 7. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2943079>
- Iravani, H. (2022). A multicriteria GIS-based decision-making approach for locating electric vehicle *charging stations*. *Transportation Engineering*, 9. <https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100135>
- Kementerian Kominfo. (2023). *Emisi Terbesar di Jabodetabek dari Kendaraan Bermotor*. <https://www.kominfo.go.id/content/detail/51677/emisi-terbesar-di-jabodetabek-dari-kendaraan-bermotor/0/berita>
- Kementerian Perhubungan. (2022). *Kemenhub Upayakan Subsidi Konversi Kendaraan BBM ke Listrik*. Dephub.Go.Id. <https://portal.dephub.go.id/post/read/kemenhub-upayakan-subsidi-konversi-kendaraan-bbm-ke-listrik>
- Kusuma, A. P., & Oktavianto, A. D. (2022). Analisis Metode *Euclidean Distance* dalam Menentukan Koordinat Peta pada Alamat Rumah. *Jurnal Teknologi Dan Manajemen Informatika*, 8(2). <https://doi.org/10.26905/jtmi.v8i2.8871>
- Labita, A. S., & Namoco, R. A. (2023). Location Analysis of Fire Stations in Cagayan de Oro City using Minimum Impedance (*P-Median* Problem) and Maximal Covering Location Problem (MCLP) with *Q-Coverage* Requirement Approaches. *Mindanao Journal of Science and Technology*, 21(1). <https://doi.org/10.61310/mndjstimp.0910.23>
- Leutwiler, F., & Corman, F. (2023). Set covering heuristics in a Benders decomposition for railway timetabling. *Computers and Operations Research*, 159. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2023.106339>
- Li, Y., Pei, W., Zhang, Q., Xu, D., & Ma, H. (2023). Optimal Layout of Electric Vehicle *Charging station* Locations Considering Dynamic Charging Demand. *Electronics (Switzerland)*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/electronics12081818>
- Maori, N. A., & Evanita, E. (2023). Metode Elbow dalam Optimasi Jumlah *Cluster* pada *K-Means Clustering*. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro Dan Ilmu Komputer*, 14(2). <https://doi.org/10.24176/simet.v14i2.9630>
- Miftahuddin, Y., Umaroh, S., & Karim, F. R. (2020). Perbandingan Metode Perhitungan Jarak Eulidean, Haversine, dan Manhattan dalam Penentuan Posisi karyawan (Studi Kasus:

- Insitut Teknologi Nasional Bandung). *Jurnal Tekno Insentif*, 14(2).
- Nugraha, B. W., & Riano, G. (2024). Optimizing the Placement of Fighter Aircraft Squadrons Using the *Set covering problem* (SCP) Method in Indonesia. *International Journal of Advances in Scientific Research and Engineering*, 10(01). <https://doi.org/10.31695/ijasre.2024.1.2>
- Prastyono, A., & Sandrina, F. (2024). SUBSIDI KENDARAAN BERMOTOR LISTRIK BERBASIS BATERAI: SEBERAPA BESAR DAMPAK TERHADAP MASYARAKAT INDONESIA? *Edunomika*, 08(01).
- Puspita, F. M., Octarina, S., Hanum, L., Simamora, C. Y., Kemit, H. V. B., & Yuliza, E. (2023). Formulation of *Set covering problem* Using Myopic Algorithm and Greedy Reduction Algorithm in Determining the Location of Temporary Landfills in Semambu Island Village, Ogan Ilir Regency, South Sumatra. *Science and Technology Indonesia*, 8(2). <https://doi.org/10.26554/sti.2023.8.2.184-194>
- Rahman, M., Chen, N., Islam, M. M., Dewan, A., Pourghasemi, H. R., Washakh, R. M. A., Nepal, N., Tian, S., Faiz, H., Alam, M., & Ahmed, N. (2021). Location-allocation modeling for emergency evacuation planning with GIS and remote sensing: A case study of Northeast Bangladesh. *Geoscience Frontiers*, 12(3). <https://doi.org/10.1016/j.gsf.2020.09.022>
- Ramadhan, M. H., Setiawan, D., & Sulistio, J. (2024). *Comparative study on determining warehouse locations using set-covering and P-Median*.
- Ridwan, N. A. (2022). *Model Optimasi Jumlah dan Lokasi Stasiun Pengisian Kendaraan Listrik Umum (SPKLU) dengan Maximal Covering Location Problem (MCLP)*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Robia, E. (2021). *Pengamat: Keterbatasan SPKLU Hambatan untuk Ekosistem Kendaraan Listrik*. Jpnn.Com. <https://www.jpnn.com/news/pengamat-keterbatasan-spklu-hambatan-untuk-ekosistem-kendaraan-listrik>
- Vianna, S. S. V. (2019). The *Set covering problem* applied to optimisation of gas detectors in chemical process plants. *Computers and Chemical Engineering*, 121. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.11.008>
- Wang, P., Chen, X., & Zhang, X. (2022). Research on Location of Logistics Distribution Center Based on *K-Means Clustering* Algorithm. *Security and Communication Networks*, 2022. <https://doi.org/10.1155/2022/2546429>
- Zhou, G., Zhu, Z., & Luo, S. (2022). Location *Optimization* of electric vehicle *charging stations*: Based on cost model and genetic algorithm. *Energy*, 247. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.123437>

LAMPIRAN

```
# Library
!pip install pulp
!pip install matplotlib
!pip install numpy
!pip install scipy

# Import Library
import numpy as np
import pulp
from scipy.spatial import distance_matrix
import matplotlib.pyplot as plt

# Data Koordinat SPBU
spbu_data = {
    'SPBU Godean 44.552.11': (-7.780869827, 110.3518782),
    'SPBU Tegalrejo 41.552.02': (-7.785018161, 110.352704),
    'SPBU Gedong Tengen 44.552.14': (-7.791681375, 110.357609),
    'SPBU Tugu 44.55215': (-7.7816129, 110.3674763),
    'SPBU Terban 44.552.06': (-7.782036707, 110.371828),
    'SPBU Munggur 44.552.16': (-7.785326122, 110.3881915),
    'SPBU COCO 41.551.01': (-7.790328054, 110.379991),
    'SPBU Timoho 44.551.19': (-7.797813164, 110.39307),
    'SPBU Semaki 44.551.09': (-7.801489373, 110.3863373),
    'SPBU Sentul Pakualaman 44.551.15': (-7.801988603, 110.3785733),
    'SPBU KASAM 4455117': (-7.815567893, 110.3744347),
    'SPBU Lowanu 44.551.13': (-7.822047215, 110.3784688),
    'SPBU Jogokariyan 44.551.08': (-7.824274409, 110.3678352),
    'SPBU Giwangan 44.551.11': (-7.835891429, 110.3933392),
    'SPBU Dukuh 44-55101': (-7.818984989, 110.3562632),
    'SPBU Bugisan 44.551.04': (-7.812254325, 110.3515395),
    'Riss Hotel Malioboro': (-7.7867635669806505, 110.36439625342628),
    'Hotel New Saphir': (-7.783389539498397, 110.39157393101944)
}

# Data Koordinat Kelurahan
kelurahan_data = {
    'Baciro': (-7.79194444, 110.38527780),
    'Bausasran': (-7.79555556, 110.37472220),
    'Bener': (-7.77666667, 110.35333330),
    'Brontokusuman': (-7.81638889, 110.37305560),
    'Bumijo': (-7.78638889, 110.35861110),
    'Cokrodiningratan': (-7.78000000, 110.36638890),
    'Demangan': (-7.78611111, 110.38916670),
    'Gedongkiwo': (-7.81888889, 110.35444440),
```

```

'Giwangan': (-7.82500000, 110.38666670),
'Gowongan': (-7.78444444, 110.36500000),
'Gunungketur': (-7.80111111, 110.37777780),
'Kadipaten': (-7.80777778, 110.35777780),
'Karangwaru': (-7.77222222, 110.36444440),
'Keparakan': (-7.81472222, 110.37388890),
'Klitren': (-7.78138889, 110.38666670),
'Kotabaru': (-7.78611111, 110.37777780),
'Kricak': (-7.77416667, 110.35944440),
'Mantrijeron': (-7.82333333, 110.36583330),
'Muja Muju': (-7.79638889, 110.39444440),
'Ngampilan': (-7.80055556, 110.35805560),
'Ngupasan': (-7.80027778, 110.37027780),
'Notoprajan': (-7.80444444, 110.35583330),
'Pakuncen': (-7.79361111, 110.35194440),
'Pandeyan': (-7.81194444, 110.38611110),
'Panembahan': (-7.81138889, 110.36611110),
'Patangpuluhan': (-7.81027778, 110.34805560),
'Patehan': (-7.81138889, 110.35916670),
'Prawirodirjan': (-7.80777778, 110.37138890),
'Prenggan': (-7.82277778, 110.39944440),
'Pringokusuman': (-7.79250000, 110.35694440),
'Purbayan': (-7.82250000, 110.40138890),
'Purwokinanti': (-7.79861111, 110.37472220),
'Rejowinangun': (-7.81638889, 110.40000000),
'Semaki': (-7.79888889, 110.38555560),
'Sorosutan': (-7.82555556, 110.38000000),
'Sosromenduran': (-7.79166667, 110.36416670),
'Suryatmajan': (-7.79333333, 110.36777780),
'Suryodiningratan': (-7.82000000, 110.35972220),
'Tahunan': (-7.80666667, 110.38000000),
'Tegalpanggung': (-7.79055556, 110.37250000),
'Tegalrejo': (-7.79222222, 110.35250000),
'Terban': (-7.77944444, 110.37472220),
'Warungboto': (-7.80944444, 110.38888890),
'Wirobrajan': (-7.80472222, 110.35333330),
'Wirogunan': (-7.81000000, 110.37555560)
}

```

Set Covering Problem

Definisikan fungsi untuk menghitung jarak Haversine

```
def haversine(coord1, coord2):
```

```
    R = 6371 # Radius bumi dalam kilometer
```

```
    lat1, lon1 = np.radians(coord1)
```

```
    lat2, lon2 = np.radians(coord2)
```

```
    dlat = lat2 - lat1
```

```
    dlon = lon2 - lon1
```

```

    a = np.sin(dlat / 2)**2 + np.cos(lat1) * np.cos(lat2) * np.sin(dlon
/ 2)**2
    c = 2 * np.arctan2(np.sqrt(a), np.sqrt(1 - a))
    return R * c

# Konversi koordinat ke dalam array numpy
kelurahan_array = np.array(list(kelurahan_data.values()))
spbu_array = np.array(list(spbu_data.values()))

# Menghitung jarak Haversine antara kelurahan dan SPBU
dist_matrix = np.array([[haversine(k, s) for s in spbu_array] for k in
kelurahan_array])

# Radius cakupan
coverage_radius = 2.3 # dalam km

# Lokasi existing points yang harus selalu dipilih
existing_points = ['Riss Hotel Malioboro', 'Hotel New Saphir']

# Fungsi untuk menyelesaikan masalah set covering dengan existing
points
def solve_set_covering_with_existing():
    spbu_vars = pulp.LpVariable.dicts("SPBU", range(len(spbu_data)),
cat='Binary')
    model = pulp.LpProblem("Set_Covering_Problem", pulp.LpMinimize)

    # Objective: Minimalkan jumlah SPBU yang dipilih
    model += pulp.lpSum(spbu_vars[i] for i in range(len(spbu_data))),
"Total_SPBU"

    # Constraints: Pastikan semua kelurahan dicakup oleh setidaknya
satu SPBU dalam radius yang ditentukan
    for j in range(len(kelurahan_data)):
        model += pulp.lpSum(spbu_vars[i] for i in range(len(spbu_data))
if dist_matrix[j, i] <= coverage_radius) >= 1,
f"Coverage_Constraint_{j}"

    # Constraint untuk memastikan lokasi existing points selalu dipilih
    for point in existing_points:
        if point in spbu_data:
            point_index = list(spbu_data.keys()).index(point)
            model += spbu_vars[point_index] == 1,
f"Fixed_Point_{point}"
        else:
            print(f"Warning: Existing point '{point}' not found in SPBU
data.")

```

```

# Solve model
model.solve()

# Hasil SPBU terpilih
return [i for i in range(len(spbu_data)) if spbu_vars[i].varValue
== 1]

# Memanggil fungsi untuk menyelesaikan masalah set covering dengan
existing points
selected_spbu_indices = solve_set_covering_with_existing()

# Siapkan dictionary coverage berdasarkan SPBU yang terpilih
spbu_names = list(spbu_data.keys())
spbu_coverage = {spbu_names[i]: [] for i in selected_spbu_indices}

# Mengisi hasil cakupan ke dalam dictionary spbu_coverage dengan hanya
SPBU terdekat
for j, kelurahan in enumerate(kelurahan_data.keys()):
    # Mencari SPBU terdekat dalam radius untuk kelurahan j
    eligible_spbu_indices = [i for i in selected_spbu_indices if
dist_matrix[j, i] <= coverage_radius]
    if not eligible_spbu_indices:
        continue # Tidak ada SPBU yang mencakup kelurahan ini dalam
radius
    # Cari SPBU terdekat dari eligible SPBU
    min_dist = float('inf')
    nearest_spbu = None
    for i in eligible_spbu_indices:
        if dist_matrix[j, i] < min_dist:
            min_dist = dist_matrix[j, i]
            nearest_spbu = i
    if nearest_spbu is not None:
        spbu_name = spbu_names[nearest_spbu]
        spbu_coverage[spbu_name].append(kelurahan)

# Menampilkan hasil coverages dengan jarak, serta total dan rata-rata
jarak
total_distance = 0 # Variabel untuk menyimpan total jarak
total_kelurahans = 0 # Variabel untuk menghitung total kelurahan yang
tercakup

print("\nSelected Supply Points and their coverages with distances:")
for spbu_id, kelurahans in spbu_coverage.items():
    print(f"{spbu_id} is covering:")
    spbu_lat, spbu_lon = spbu_data[spbu_id] # Koordinat SPBU

    for kelurahan_id in kelurahans:

```

```

        kelurahan_lat, kelurahan_lon = kelurahan_data[kelurahan_id] #
Koordinat kelurahan
        distance = haversine((spbu_lat, spbu_lon), (kelurahan_lat,
kelurahan_lon)) # Hitung jarak Haversine
        print(f" - {kelurahan_id}: {distance:.2f} km")

        total_distance += distance # Tambahkan jarak ke total
        total_kelurahans += 1 # Hitung jumlah kelurahan yang tercakup

    print() # Baris kosong untuk memisahkan SPBU yang berbeda

# Hitung rata-rata jarak
average_distance = total_distance / total_kelurahans if
total_kelurahans > 0 else 0

# Menampilkan total dan rata-rata jarak
print(f"Total Distance: {total_distance:.2f} km")
print(f"Average Distance: {average_distance:.2f} km")

# Visualisasi hasil
plt.figure(figsize=(10, 8))

# Plot kelurahan
plt.scatter(kelurahan_array[:, 1], kelurahan_array[:, 0], c='blue',
label='Kelurahan', s=100)

# Plot semua SPBU
plt.scatter(spbu_array[:, 1], spbu_array[:, 0], c='red', label='SPBU',
s=100)

# Plot SPBU yang terpilih dengan radius cakupan
for i in selected_spbu_indices:
    spbu = spbu_array[i]
    circle = plt.Circle((spbu[1], spbu[0]), coverage_radius / 111,
color='red', fill=False, linestyle='--')
    plt.gca().add_artist(circle)
    plt.text(spbu[1], spbu[0], spbu_names[i], fontsize=9,
verticalalignment='bottom')

plt.xlabel("Longitude")
plt.ylabel("Latitude")
plt.legend(loc="best")
plt.title("Visualisasi Cakupan SPBU dan Kelurahan dengan Existing
Points")
plt.grid(True)
plt.show()
P-Median

```

```

# Menghitung jarak antara kelurahan dan SPBU
kelurahan_df = pd.DataFrame(kelurahan_data).T
spbu_df = pd.DataFrame(spbu_data).T

kelurahan_df.columns = ['Latitude', 'Longitude']
spbu_df.columns = ['Latitude', 'Longitude']

# Menghitung matriks jarak
dist_matrix = distance_matrix(kelurahan_df.values, spbu_df.values)

# Menentukan radius jangkauan dari setiap SPBU (dalam km)
radius = 1 # radius coverage dalam km

# Menentukan lokasi SPBU yang mencakup kelurahan
covering_stations_set_covering = {}
for i in range(len(kelurahan_df)):
    nearest_spbu = None
    min_distance = float('inf')
    for j in range(len(spbu_df)):
        if dist_matrix[i][j] <= radius and dist_matrix[i][j] <
min_distance:
            min_distance = dist_matrix[i][j]
            nearest_spbu = spbu_df.index[j]
    if nearest_spbu is not None:
        if nearest_spbu not in covering_stations_set_covering:
            covering_stations_set_covering[nearest_spbu] = []
            covering_stations_set_covering[nearest_spbu].append(kelurahan_d
f.index[i])

# Fungsi untuk P-Median dengan mempertahankan existing points
def solve_p_median_with_existing(supply_points, demand_points,
existing_points, p):
    # Distance matrix
    distances = {(supply_id, demand_id):
haversine(spbu_data[supply_id][0], spbu_data[supply_id][1],
kelurahan_data[de
mand_id][0], kelurahan_data[demand_id][1])
for supply_id in supply_points for demand_id in
demand_points}

    model = pulp.LpProblem("P-Median", pulp.LpMinimize)

    # Decision variables
    x = pulp.LpVariable.dicts("x", [(supply_id, demand_id) for
supply_id in supply_points for demand_id in demand_points],
cat='Binary')
    y = pulp.LpVariable.dicts("y", supply_points, cat='Binary')

```

```

    # Objective function
    model += pulp.lpSum(distances[(supply_id, demand_id)] *
x[(supply_id, demand_id)] for supply_id in supply_points for demand_id
in demand_points)

    # Constraints
    for demand_id in demand_points:
        model += pulp.lpSum(x[(supply_id, demand_id)] for supply_id in
supply_points) == 1 # each demand point must be assigned to one supply
point
        for supply_id in supply_points:
            model += pulp.lpSum(x[(supply_id, demand_id)] for demand_id in
demand_points) <= len(demand_points) * y[supply_id] # if assigned,
then can serve demand
            model += pulp.lpSum(y[supply_id] for supply_id in supply_points) ==
p # exactly p supply points are opened

    # Constraint to ensure existing points are always selected
    for existing_point in existing_points:
        model += y[existing_point] == 1

    # Solve the problem
    model.solve()

    # Extracting results
    selected_supply_points = [supply_id for supply_id in supply_points
if y[supply_id].varValue > 0]
    coverage = {supply_id: [] for supply_id in selected_supply_points}

    for supply_id in selected_supply_points:
        for demand_id in demand_points:
            if x[(supply_id, demand_id)].varValue > 0:
                coverage[supply_id].append(demand_id)

    return selected_supply_points, coverage

# Menentukan jumlah SPBU yang ingin dibuka, termasuk yang sudah ada
p = 4

# Menentukan titik existing yang sudah ada
existing_points = ['Riss Hotel Malioboro', 'Hotel New Saphir']

# Menjalankan fungsi P-Median dengan existing points
selected_supply_points, coverage =
solve_p_median_with_existing(spbu_data.keys(), kelurahan_data.keys(),
existing_points, p)

```

```

# Visualisasi hasil
plt.figure(figsize=(10, 8))

# Menampilkan SPBU dan Kelurahan
for spbu in selected_supply_points:
    # Menggambar SPBU
    spbu_lat, spbu_lon = spbu_data[spbu] # Koordinat SPBU
    plt.scatter(spbu_lon, spbu_lat, marker='o', color='red',
label=f'SPBU: {spbu}')
    plt.text(spbu_lon + 0.001, spbu_lat, spbu, fontsize=9,
color='black') # Menampilkan nama SPBU

    # Menggambar garis ke kelurahan yang dicakup
    for kelurahan in coverage[spbu]:
        kelurahan_lat, kelurahan_lon = kelurahan_data[kelurahan]
        plt.plot([spbu_lon, kelurahan_lon], [spbu_lat, kelurahan_lat],
color='gray', linestyle='--')

# Menampilkan Kelurahan
for kelurahan in kelurahan_data:
    kelurahan_lat, kelurahan_lon = kelurahan_data[kelurahan]
    plt.scatter(kelurahan_lon, kelurahan_lat, marker='x', color='blue',
label=f'Kelurahan: {kelurahan}')
    plt.text(kelurahan_lon + 0.001, kelurahan_lat, kelurahan,
fontsize=9, color='green') # Menampilkan nama Kelurahan

plt.title("SPBU Locations and Coverage Areas with Connections")
plt.xlabel("Longitude")
plt.ylabel("Latitude")
plt.grid()
plt.show()

# Menampilkan hasil coverages dengan jarak, serta menghitung total dan
rata-rata jarak
total_distance = 0 # Variabel untuk menyimpan total jarak
total_kelurahans = 0 # Variabel untuk menghitung total kelurahan yang
tercakup

print("\nSelected Supply Points and their coverages with distances:")
for spbu_id, kelurahans in coverage.items():
    print(f"SPBU {spbu_id} is covering:")
    spbu_lat, spbu_lon = spbu_data[spbu_id] # Koordinat SPBU

    for kelurahan_id in kelurahans:
        kelurahan_lat, kelurahan_lon = kelurahan_data[kelurahan_id] #
Koordinat kelurahan

```

```

        distance = haversine(spbu_lat, spbu_lon, kelurahan_lat,
kelurahan_lon) # Hitung jarak Haversine
        print(f" - {kelurahan_id}: {distance:.2f} km")

        total_distance += distance # Tambahkan jarak ke total
        total_kelurahans += 1 # Hitung jumlah kelurahan yang tercakup

    print()

# Hitung rata-rata jarak
average_distance = total_distance / total_kelurahans if
total_kelurahans > 0 else 0

# Menampilkan total dan rata-rata jarak
print(f"\nTotal Distance: {total_distance:.2f} km")
print(f"Average Distance: {average_distance:.2f} km")

K-Means Clustering
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from sklearn.cluster import KMeans

# Misalkan data kelurahan dan SPBU telah diatur dalam array numpy
kelurahan_array = np.array(list(kelurahan_coords.values()))
spbu_array = np.array(list(spbu_coords.values()))
spbu_names = list(spbu_coords.keys())

# Tentukan jumlah klaster (termasuk SPBU yang sudah ada)
num_clusters = 5

# Gabungkan data kelurahan dan SPBU untuk proses clustering
data = np.vstack((kelurahan_array, spbu_array))

# SPBU yang sudah ada
existing_spbu_indices = [spbu_names.index('Riss Hotel Malioboro'),
spbu_names.index('Hotel New Saphir')]
existing_spbu_coords = spbu_array[existing_spbu_indices]

# Membuat centroid tetap pada lokasi SPBU yang sudah ada, ditambah
centroid acak untuk klaster lainnya
initial_centroids = np.vstack((existing_spbu_coords,
data[np.random.choice(range(data.shape[0]), num_clusters -
len(existing_spbu_coords), replace=False)]))

# Lakukan K-Means clustering dengan centroid tetap

```

```

kmeans = KMeans(n_clusters=num_clusters, init=initial_centroids,
n_init=1, random_state=42)
kmeans.fit(data)
labels = kmeans.labels_
centroids = kmeans.cluster_centers_

# Fungsi untuk menghitung jarak Haversine
def haversine(coord1, coord2):
    R = 6371 # Radius Bumi dalam kilometer
    lat1, lon1 = np.radians(coord1)
    lat2, lon2 = np.radians(coord2)
    dlat = lat2 - lat1
    dlon = lon2 - lon1
    a = np.sin(dlat / 2)**2 + np.cos(lat1) * np.cos(lat2) * np.sin(dlon
/ 2)**2
    c = 2 * np.arctan2(np.sqrt(a), np.sqrt(1 - a))
    return R * c

# Pilih SPBU terdekat dari setiap centroid
selected_spbu = []
for i, centroid in enumerate(centroids):
    if i < len(existing_spbu_indices):
        selected_spbu.append(existing_spbu_indices[i])
    else:
        closest_spbu = None
        closest_distance = float('inf')
        for j, spbu in enumerate(spbu_array):
            distance = haversine(centroid, spbu)
            if distance < closest_distance:
                closest_distance = distance
                closest_spbu = j
        selected_spbu.append(closest_spbu)

# Output penjelasan SPBU mencakup kelurahan apa dan jaraknya
spbu_coverage = {spbu_names[i]: [] for i in selected_spbu}

total_distance = 0
total_kelurahans = 0

for i, kelurahan in enumerate(kelurahan_coords.keys()):
    cluster_label = labels[i]
    covered_spbu = selected_spbu[cluster_label]
    spbu_coverage[spbu_names[covered_spbu]].append(kelurahan)

# Menampilkan hasil dengan jarak Haversine
print("Penjelasan SPBU mencakup kelurahan apa dan jaraknya:")
for spbu, kelurahans in spbu_coverage.items():

```

```

if kelurahans:
    spbu_index = spbu_names.index(spbu)
    spbu_coord = spbu_array[spbu_index]
    print(f"{spbu} mencakup kelurahan:")
    for kelurahan in kelurahans:
        kelurahan_coord = np.array(kelurahan_coords[kelurahan])
        jarak = haversine(spbu_coord, kelurahan_coord)
        total_distance += jarak
        print(f" - {kelurahan} dengan jarak {jarak:.2f} km")
    total_kelurahans += len(kelurahans)
else:
    print(f"{spbu} tidak mencakup kelurahan apapun.")

# Hitung rata-rata jarak
average_distance = total_distance / total_kelurahans if
total_kelurahans > 0 else 0
print(f"\nTotal Distance: {total_distance:.2f} km")
print(f"Average Distance: {average_distance:.2f} km")

# Menampilkan hasil clustering dengan garis antara kelurahan dan SPBU
yang mencakupnya
plt.figure(figsize=(10, 8))

# Plot kelurahan dengan warna berdasarkan label cluster
plt.scatter(kelurahan_array[:, 1], kelurahan_array[:, 0],
c=labels[:len(kelurahan_array)], label='Kelurahan', s=100,
cmap='viridis')

# Plot SPBU dengan warna berdasarkan label cluster
plt.scatter(spbu_array[:, 1], spbu_array[:, 0],
c=labels[len(kelurahan_array):], label='SPBU', s=100, marker='x',
cmap='viridis')

# Plot centroids
plt.scatter(centroids[:, 1], centroids[:, 0], c='red',
label='Centroid', s=200, marker='*')

# Tambahkan nama kelurahan
for i, kelurahan in enumerate(kelurahan_coords.keys()):
    plt.text(kelurahan_array[i, 1], kelurahan_array[i, 0], kelurahan,
fontsize=9, verticalalignment='bottom')

# Tambahkan nama SPBU
for i, spbu in enumerate(spbu_coords.keys()):
    plt.text(spbu_array[i, 1], spbu_array[i, 0], spbu, fontsize=9,
verticalalignment='bottom')

```

```

# Tambahkan garis antara kelurahan dan SPBU yang mencakupnya
for spbu, kelurahans in spbu_coverage.items():
    spbu_index = spbu_names.index(spbu)
    spbu_coord = spbu_array[spbu_index]
    for kelurahan in kelurahans:
        kelurahan_coord = np.array(kelurahan_coords[kelurahan])
        plt.plot([spbu_coord[1], kelurahan_coord[1]], [spbu_coord[0],
kelurahan_coord[0]], color='gray', linestyle='--', linewidth=0.8)

plt.legend()
plt.title('K-Means Clustering of Kelurahan and SPBU with Connections')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.show()

Maximal Coverage Location Problem
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt
from math import radians, cos, sin, sqrt, atan2

# Fungsi untuk menghitung jarak Haversine
def haversine(coord1, coord2):
    R = 6371 # Radius bumi dalam kilometer
    lat1, lon1 = radians(coord1[0]), radians(coord1[1])
    lat2, lon2 = radians(coord2[0]), radians(coord2[1])
    dlat = lat2 - lat1
    dlon = lon2 - lon1
    a = sin(dlat / 2)**2 + cos(lat1) * cos(lat2) * sin(dlon / 2)**2
    c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a))
    return R * c # Jarak dalam kilometer

# Parameter radius cakupan SPBU (misalnya dalam km)
coverage_radius = 2.5

# Jumlah maksimal SPBU yang bisa dipilih (termasuk yang sudah ada)
max_spbu = 5

# Daftar charging station yang sudah ada
existing_spbu = ['Riss Hotel Malioboro', 'Hotel New Saphir']

# Hitung cakupan SPBU terhadap kelurahan
coverage_matrix = np.zeros((len(spbu_coords), len(kelurahan_coords)))
for i, spbu in enumerate(spbu_coords):
    for j, kelurahan in enumerate(kelurahan_coords):
        distance = haversine(spbu_coords[spbu],
kelurahan_coords[kelurahan])

```

```

        if distance <= coverage_radius:
            coverage_matrix[i, j] = 1 # SPBU mencakup kelurahan jika
dalam radius

# Greedy approach to solve MCLP
selected_spbu = existing_spbu.copy()
covered_kelurahan = set()
kelurahan_coverage = {} # Dictionary untuk menyimpan SPBU yang
mencakup setiap kelurahan

# Assign kelurahan to existing SPBUs first
for spbu in existing_spbu:
    spbu_index = list(spbu_coords.keys()).index(spbu)
    for j in range(len(kelurahan_coords)):
        if coverage_matrix[spbu_index, j] == 1:
            covered_kelurahan.add(j)
            kelurahan_coverage[j] = spbu

while len(selected_spbu) < max_spbu and len(covered_kelurahan) <
len(kelurahan_coords):
    # Temukan SPBU yang mencakup kelurahan terbanyak yang belum
tercakup
    best_spbu = None
    best_coverage = set()
    for i, spbu in enumerate(spbu_coords):
        if spbu not in selected_spbu:
            spbu_coverage = {j for j in range(len(kelurahan_coords)) if
coverage_matrix[i, j] == 1}
            spbu_coverage -= covered_kelurahan # Hanya kelurahan yang
belum tercakup
            if len(spbu_coverage) > len(best_coverage):
                best_spbu = spbu
                best_coverage = spbu_coverage
    if best_spbu is not None:
        selected_spbu.append(best_spbu)
        covered_kelurahan.update(best_coverage)
        for kel in best_coverage:
            kelurahan_coverage[kel] = best_spbu # Assign kelurahan ke
SPBU yang mencakupnya

# Check if there are still uncovered kelurahan and try to cover them
with remaining SPBU within limit
remaining_spbu = set(spbu_coords.keys()) - set(selected_spbu)
while len(selected_spbu) < max_spbu and len(covered_kelurahan) <
len(kelurahan_coords):
    for kel in range(len(kelurahan_coords)):
        if kel not in covered_kelurahan:

```

```

        for spbu in remaining_spbu:
            if
coverage_matrix[list(spbu_coords.keys()).index(spbu), kel] == 1:
                selected_spbu.append(spbu)
                covered_kelurahan.add(kel)
                kelurahan_coverage[kel] = spbu
                break

# Output SPBU yang dipilih dan kelurahan yang tercakup
print("SPBU yang dipilih:", selected_spbu)

# Visualisasi hasil
plt.figure(figsize=(10, 8))

# Plot kelurahan
for i, kelurahan in enumerate(kelurahan_coords):
    kelurahan_coord = kelurahan_coords[kelurahan]
    plt.scatter(kelurahan_coord[1], kelurahan_coord[0], c='blue',
s=100, label='Kelurahan' if i == 0 else "", marker='o')
    plt.text(kelurahan_coord[1], kelurahan_coord[0], kelurahan,
fontsize=9, verticalalignment='bottom')

# Plot SPBU
for i, spbu in enumerate(spbu_coords):
    spbu_coord = spbu_coords[spbu]
    plt.scatter(spbu_coord[1], spbu_coord[0], c='green', s=100,
label='SPBU' if i == 0 else "", marker='x')
    plt.text(spbu_coord[1], spbu_coord[0], spbu, fontsize=9,
verticalalignment='bottom')

# Plot SPBU yang dipilih dengan tanda checklist dan coverage area
for spbu in selected_spbu:
    spbu_coord = spbu_coords[spbu]
    plt.scatter(spbu_coord[1], spbu_coord[0], c='red', s=200,
label='SPBU Terpilih' if selected_spbu.index(spbu) == 0 else "",
marker='P')
    circle = plt.Circle((spbu_coord[1], spbu_coord[0]), coverage_radius
/ 111, color='red', fill=False, linestyle='--')
    plt.gca().add_artist(circle)

plt.title('Visualisasi MCLP - SPBU Terpilih dan Kelurahan yang
Tercakup')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.legend()
plt.show()

```

```
# Menampilkan hasil dengan jarak
print("\nPenjelasan SPBU mencakup kelurahan apa dan jaraknya:")
for kel in kelurahan_coverage:
    spbu = kelurahan_coverage[kel]
    spbu_coord = spbu_coords[spbu]
    kelurahan = list(kelurahan_coords.keys())[kel]
    kelurahan_coord = kelurahan_coords[kelurahan]
    jarak = haversine(spbu_coord, kelurahan_coord)
    print(f"{spbu} mencakup {kelurahan} dengan jarak {jarak:.2f} km")

# Menampilkan kelurahan yang tidak tercakup dengan informasi jarak ke
# SPBU terdekat
print("\nKelurahan yang tidak tercakup oleh SPBU manapun:")
not_covered_kelurahan = set(range(len(kelurahan_coords))) -
covered_kelurahan
if not_covered_kelurahan:
    for kel in not_covered_kelurahan:
        kelurahan = list(kelurahan_coords.keys())[kel]
        kelurahan_coord = kelurahan_coords[kelurahan]
        closest_spbu = None
        closest_distance = float('inf')
        for spbu in selected_spbu:
            spbu_coord = spbu_coords[spbu]
            jarak = haversine(spbu_coord, kelurahan_coord)
            if jarak < closest_distance:
                closest_distance = jarak
                closest_spbu = spbu
        print(f"Kelurahan {kelurahan} tidak tercakup oleh SPBU manapun.
        SPBU terdekat adalah {closest_spbu} dengan jarak {closest_distance:.2f}
        km")
else:
    print("Semua kelurahan tercakup oleh SPBU.")
```