

Pengembangan Model Masalah Set *Covering Problem* untuk Menentukan Lokasi Pontensial SPBU (Studi Kasus: Kota Tangerang Selatan)

Ronald Sukwadi^{1,2}, Agustinus Silalahi², Hans Louis Olinger³, Hsiang-Ling Chen³, Trifenaus Prabu Hidayat^{1,2*}, Sandra Oktaviani⁴

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

²Program Studi Teknik Industri, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

³Department of Industrial & Systems Engineering, Chung Yuan Christian University, No. 200, Zhongbei Rd., Zhongli Dist., Taoyuan City 320314, Taiwan (R.O.C.)

⁴Program Studi Program Teknik Elektro, Fakultas Biosains, Teknologi, dan Inovasi, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Sudirman 51, Jakarta 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 28 Mei 2026 Accepted 15 June 2026 <i>Keywords:</i> IBM ILOG CPLEX, Objective Function, Decision Variables, Distance, SPBU.	<i>This study utilises IBM ILOG CPLEX to solve the set covering problem. The model is designed to minimise the total coverage distance whilst maximising the number of demand points in South Tangerang. Constraints were set to ensure that petrol stations are assigned as both intra-cluster and inter-cluster stations. Data was collected using Google Maps and recorded in an Excel spreadsheet. The final results show the decision variables for AssignIntra, AssignInter and Route. The objective function minimises distance and maximises demand coverage. The global optimal solution covers the entire South Tangerang area with petrol stations, thereby eliminating unnecessary petrol stations. Maps and cluster analysis were used to identify redundant petrol stations for elimination. The computation time was recorded at 14.18 seconds, and verification and validation processes were carried out. The validated results show a total distance of 115.99 km.</i>

Info Artikel	Abstrak
<i>Histori Artikel:</i> Diserahkan: 28 Mei 2026 Diterima: 15 Juni 2026 <i>Kata Kunci:</i> IBM ILOG CPLEX, fungsi tujuan, variabel keputusan, jarak, SPBU.	Penelitian ini menggunakan IBM ILOG CPLEX untuk memecahkan masalah set <i>covering</i> . Model ini dirancang untuk meminimalkan jarak total cakupan sekaligus memaksimalkan jumlah titik permintaan di Tangerang Selatan. Batasan-batasan ditetapkan untuk memastikan SPBU ditugaskan baik sebagai SPBU intra-kluster maupun inter-kluster. Data dikumpulkan menggunakan Google Maps dan dicatat dalam lembar kerja Excel. Hasil akhir menunjukkan variabel keputusan untuk AssignIntra, AssignInter, dan Route. Fungsi tujuan meminimalkan jarak dan memaksimalkan cakupan permintaan. Solusi global optimal mencakup seluruh wilayah Kota Tangerang Selatan dengan SPBU, sehingga menghilangkan SPBU yang tidak diperlukan. Peta dan analisis kluster digunakan untuk mengidentifikasi SPBU yang berlebih untuk dihilangkan. Waktu komputasi tercatat sebesar 14,18 detik, dan proses verifikasi serta validasi telah dilakukan. Hasil yang telah divalidasi menunjukkan jarak total sebesar 115,99 km.

*Corresponding author. Trifenaus Prabu Hidayat
Email address: trifenaus.hidayat@atmajaya.ac.id

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah negara yang luas dengan lima pulau utama yang terkenal akan keanekaragamannya. Hingga saat ini, berdasarkan laporan CNBC Indonesia tanggal 17 November 2022, terdapat 38 provinsi yang terdaftar di Indonesia (cnbcindonesia.com, 2017). Luas wilayah setiap kota di Indonesia cukup besar, misalnya, luas wilayah Provinsi Banten adalah 9662,92 km² berdasarkan situs web resmi Provinsi Banten (bantenprov.go.id). Oleh karena itu, penelitian ini akan lebih berfokus pada Provinsi Banten. Berdasarkan situs web resmi, Provinsi Banten memiliki 8 kota, yaitu Kota Tangerang, Kota Tangerang Selatan, Kabupaten Tangerang, Kota Cilegon, Kota Serang, Kabupaten Serang, Kabupaten Lebak, dan Kabupaten Pandeglang (penghubung.bantenprov.go.id). Semua kota yang disebutkan berukuran besar dan masing-masing memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pertumbuhan ekonomi Banten.

Dari semua kota yang disebutkan di Provinsi Banten, fokus penelitian ini adalah Tangerang Selatan yang merupakan kota besar berikutnya setelah Jakarta. Tangerang Selatan juga merupakan kota yang sangat terorganisir dengan baik, di mana perusahaan-perusahaan besar pun membuka kantor pusat atau kantor baru mereka di sana. Kota ini bukan hanya kawasan pemukiman, tetapi juga kawasan komersial karena semua infrastruktur yang diperlukan untuk menghubungkannya dengan kota-kota lain, seperti ibu kota Jakarta, telah tersedia. Seperti disebutkan di atas, Tangerang Selatan juga merupakan kota yang sibuk dengan populasi yang terus bertambah setiap tahun. Tabel populasi di Tangerang Selatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1.

Penduduk Tangerang Selatan

Kecamatan	Jumlah Penduduk												
	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Setu	66667	69391	72170	75002	77881	80811	83777	86783	89825	92890	95565	98483	101400
Serpong	138177	144378	150736	157252	163915	170731	177677	184761	191968	199283	205264	212060	218856
Pamulang	287955	296915	305909	314931	323957	332984	341967	350923	359810	368603	3777772	386750	395727
Ciputat	193369	199807	206293	212824	219384	225974	232559	239152	245727	252262	258787	265342	271987
Ciputat Timur	179792	184391	188957	193484	197960	202386	206729	211003	215186	219261	224087	228482	232877
Pondok Aren	305073	316988	329103	341416	353904	366568	379354	392284	405316	418420	430203	442814	455425
Serpong Utara	127471	134232	141237	148494	155998	163755	171749	179993	188476	197187	203474	211223	218971

(Sumber: <https://tangseltkota.bps.go.id/>)

Tabel 1. menunjukkan jumlah penduduk di setiap kecamatan di Tangerang Selatan. Jumlah penduduk Kecamatan Setu meningkat hampir dua kali lipat dari tahun 2010 hingga 2022 (tangseltkota.bps.go.id). Di Serpong, jumlah penduduk meningkat sebesar 36% dari tahun 2010 hingga 2022, sedangkan saat ini terdapat 218.856 penduduk (tangseltkota.bps.go.id). Tren peningkatan ini menunjukkan semakin banyaknya penduduk di Tangerang Selatan selama beberapa tahun terakhir; oleh karena itu, kami memperkirakan akan ada lebih banyak orang yang pindah ke kawasan perkotaan baru ini.

Seiring dengan peningkatan populasi, jumlah kendaraan bermotor dan permintaan konsumsi bahan bakar juga meningkat di Tangerang Selatan. Namun, jumlah SPBU untuk kendaraan bermotor di Tangerang Selatan kurang dari 40. Dengan meningkatnya permintaan bahan bakar dan jumlah SPBU yang stagnan di Tangerang Selatan, lalu lintas di setiap SPBU menjadi sangat padat. Selama jam sibuk (07.00-09.00 dan 16.00-18.00), sebuah SPBU akan dipenuhi orang-orang yang menunggu kendaraan mereka diisi bahan bakar karena mereka tidak memiliki pilihan lain selain SPBU tersebut karena SPBU lain lebih jauh atau bahkan lebih ramai.

Untuk mengatasi masalah ini, perlu dibangun SPBU baru di wilayah tertentu (kabupaten) guna memenuhi permintaan. Namun, pendirian SPBU baru bukanlah tugas yang mudah. Ada banyak faktor yang perlu dipertimbangkan. Pertama, pemilihan lokasi yang sesuai untuk fasilitas yang memiliki dampak positif maupun negatif terhadap lingkungan sekitar merupakan hal yang rumit, terutama jika terdapat penerima dampak yang sensitif terhadap efek negatif tersebut (Welch dan Salhi, 1997). Misalnya, stasiun pengisian bahan bakar yang mengandung bahan berbahaya dan mudah terbakar menimbulkan potensi masalah lingkungan dan ancaman keamanan. Oleh karena itu, memilih dan membangun lokasi yang tepat menjadi cukup menantang karena mungkin harus berada di kawasan komersial, industri, atau perumahan.

Seperti disebutkan di atas, jumlah kendaraan bermotor di Tangerang Selatan meningkat setiap tahun. Data ini disediakan oleh pemerintah daerah Tangerang Selatan (bantenprov.go.id). Tabel dan grafiknya ditampilkan di bawah ini. Dengan meningkatnya jumlah kendaraan, tingkat keramaian setiap SPBU ternyata sangat tinggi, terutama pada jam sibuk, seperti di pagi hari atau setelah jam kerja. Peningkatan jumlah kendaraan sejalan dengan peningkatan populasi. Situasi ini memperjelas bahwa masyarakat cenderung membeli lebih banyak kendaraan (baik mobil maupun sepeda motor). Dengan bertambahnya jumlah mobil atau sepeda motor setiap tahun, permintaan bahan bakar tumbuh lebih cepat daripada peningkatan jumlah kendaraan di Tangerang Selatan.

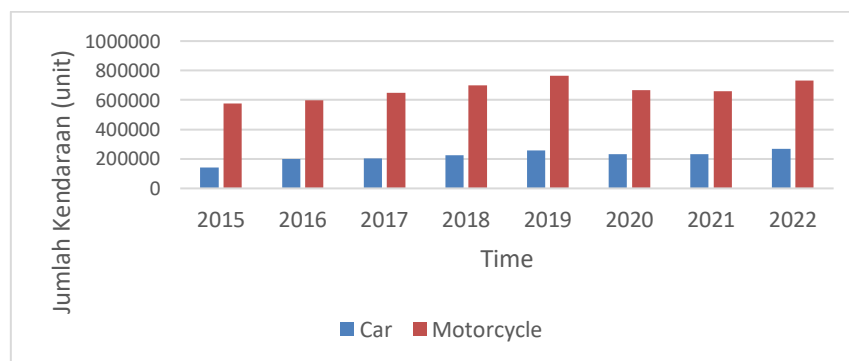
Tabel 1.

Jumlah Kendaraan Bermotor di Tangerang Selatan

Tahun	Jumlah Kendaraan Bermotor di Tangerang Selatan	
	Kendaraan	
	Mobil	Motor
2015	142821	577126
2016	198133	598796
2017	205061	648493
2018	226548	698867
2019	257258	764939
2020	231525	667432
2021	234005	660821
2022	269698	731611

(Source: <https://tangseltkota.bps.go.id/>)

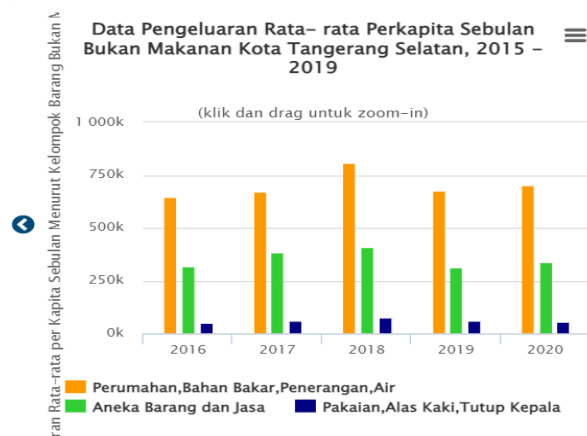
Tabel 2. di atas bersumber dari situs web Pemerintah Kota Tangerang Selatan. Jumlah kendaraan bermotor di Tangerang Selatan menunjukkan tren peningkatan setiap tahunnya mulai dari tahun 2015 hingga 2022 (banten.bps.go.id). Jumlah sepeda motor di Tangerang Selatan lebih banyak daripada mobil. Jumlah sepeda motor meningkat dari tahun 2015 hingga 2019, tetapi menurun pada tahun 2020 dan 2021. Namun, perubahan serupa juga terjadi pada mobil, tetapi dengan besaran yang lebih kecil.



Gambar 1.

Persebaran Kendaraan Bermotor di Tangerang Selatan

Gambar 1. menunjukkan jumlah kendaraan bermotor, baik mobil maupun sepeda motor, di Tangerang Selatan. Sumbu y menunjukkan jumlah kendaraan bermotor (unit), sedangkan sumbu x menunjukkan waktu (tahun). Dari tahun 2015 hingga 2022, jumlah sepeda motor di Tangerang Selatan meningkat setiap tahun. Namun, akibat pandemi Covid-19, jumlah mobil di Tangerang Selatan mengalami sedikit penurunan pada tahun 2020 dan 2021.



Gambar 1.

Rata-rata Pengeluaran Per Kapita

(Source: <https://tangseltkota.bps.go.id/>)

Sebagaimana disebutkan pada paragraf sebelumnya, penelitian ini berupaya menemukan lokasi potensial untuk SPBU guna memenuhi seluruh permintaan di Tangerang Selatan. Untuk itu, masalah ini dipandang sebagai Masalah *Set Covering Problem* di mana fungsi tujuannya adalah memaksimalkan cakupan wilayah permintaan dengan jumlah SPBU yang dibangun seminimal mungkin. Penentuan lokasi fasilitas telah diteliti dalam literatur oleh Degel dan Lutter (2013), Farahani *et al.*, (2014), Aleisa *et al.*, (2014), Başar *et al.*, (2015), Wang *et al.*, (2016), Drakulić *et al.*, (2016) serta Argun (2019). Mereka menyajikan tinjauan literatur terperinci mengenai penentuan lokasi fasilitas dalam kondisi ketidakpastian dan untuk model hierarkis dan juga meneliti pemodelan lokasi dengan integrasi. Disamping itu mengembangkan heuristik efisien untuk masalah lokasi dinamis, Crawford *et al.*, (2014), Crawford *et al.*, (2018), sebelumnya menyajikan bibliografi kategori masalah fundamental dalam ilmu lokasi diskrit. Banyak penelitian berfokus pada optimalisasi Masalah *Set Covering*, namun penerapan konsep tersebut untuk memecahkan kasus nyata di Tangerang Selatan belum pernah dilakukan sebelumnya. Berdasarkan data, SPBU di Tangerang Selatan memiliki kepadatan penduduk di semua kecamatan setiap tahun. Selain itu, SPBU yang ada di Tangerang Selatan tidak tersebar merata di seluruh kecamatan.

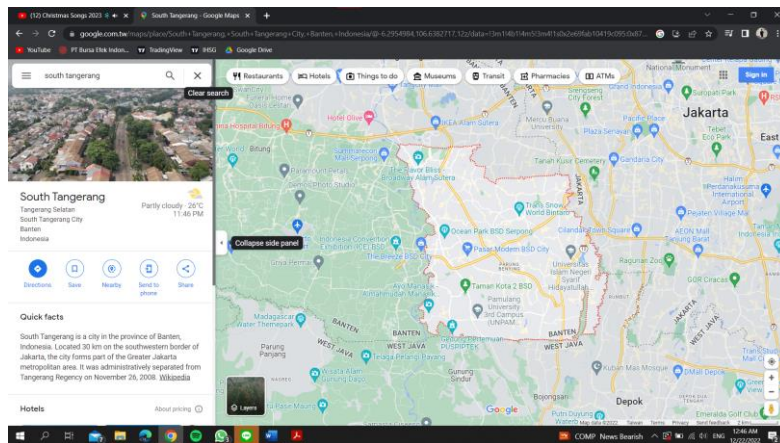
2. METODE PELAKSANAAN

Penelitian ini diawali dengan mengidentifikasi masalah spesifik yang perlu diselesaikan di wilayah Tangerang Selatan. Langkah pertama ini tidak hanya sekadar menemukan masalah, tetapi juga memikirkan metode apa yang akan digunakan untuk memecahkan masalah yang ditemukan pada tahap ini. Setelah masalah teridentifikasi, penulis akan menyusun judul yang sesuai dengan masalah dan metode yang digunakan. Selanjutnya, langkah berikutnya adalah pengumpulan data. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini meliputi jumlah penduduk, jumlah mobil, dan jumlah sepeda motor di semua kecamatan di Tangerang Selatan dari tahun 2015 hingga 2022. Setelah semua data dikumpulkan, termasuk perhitungan kepadatan di semua kecamatan, jumlah SPBU di Tangerang Selatan, dan jarak

antar SPBU, serta pembentukan jaringan, langkah selanjutnya adalah membuat persamaan matematika untuk memecahkan masalah. Persamaan matematika ini sangat penting karena pada langkah berikutnya akan diuji menggunakan perangkat lunak untuk mengetahui apakah persamaan tersebut berfungsi atau tidak. Jika persamaan tersebut berfungsi, maka langkah terakhir adalah menulis laporan lengkap yang menjelaskan seluruh proses dan analisis secara terperinci.

Perangkat keras yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini adalah laptop dan ponsel. Penggunaan laptop dalam penelitian ini bertujuan untuk menyusun naskah laporan secara keseluruhan serta mengumpulkan data yang diperlukan, seperti lokasi SPBU yang ada, jarak antar SPBU, mencari tahu peraturan yang berlaku di Indonesia mengenai SPBU, dan menggunakan perangkat lunak untuk menguji model matematis. Ponsel digunakan sebagai perangkat tambahan setelah laptop. Ponsel digunakan untuk mengetahui jarak antara satu SPBU dengan SPBU lainnya dengan bantuan Google Maps. Dengan menggunakan ponsel, waktu yang dibutuhkan untuk mencari jarak tersebut dapat dihemat karena aplikasi Google Maps telah terpasang sebelumnya.

Perangkat lunak yang digunakan untuk melaksanakan penelitian ini adalah IBM ILOG CPLEX dan Google Map. IBM ILOG CPLEX adalah perangkat lunak utama yang akan digunakan untuk menjalankan dan menguji model. Perangkat lunak ini merupakan rangkaian alat yang populer untuk pemodelan dan pemecahan masalah terkait optimisasi bilangan bulat dan linier (Nickel, et. al.,2022). Mesin pemecahan atau solver CPLEX, yang terus dikembangkan sejak akhir tahun 1980-an, menjadi dasar pengembangan CPLEX Optimization Studio. Google Map digunakan untuk mendukung pengumpulan data guna menandai lokasi SPBU di Tangerang Selatan serta untuk menghitung jarak tempuh dengan mobil dari satu SPBU ke SPBU lainnya.



Gambar 3.

Peta Tangerang Selatan

Data dalam penelitian ini seluruhnya menggunakan data sekunder yang diperoleh peneliti melalui situs web resmi pemerintah daerah. Data yang diambil adalah data mengenai jumlah penduduk (populasi masyarakat) di Tangerang Selatan dan jumlah kendaraan bermotor di Tangerang Selatan. Data tersebut diambil dari <https://tangselkota.bps.go.id>. Penggunaan data populasi masyarakat dan jumlah kendaraan bermotor di Tangerang Selatan untuk mendukung tujuan penelitian ini, yang menyoroti kebutuhan akan stasiun pengisian bahan bakar di setiap kecamatan, mengingat masih ada kecamatan yang belum memiliki setidaknya satu stasiun pengisian bahan bakar. Data lain yang dikumpulkan untuk penelitian ini meliputi jarak antara stasiun pengisian bahan bakar yang sudah ada di Tangerang Selatan pada tahun 2022, jarak dari stasiun pengisian bahan bakar potensial ke stasiun yang sudah

ada di satu kecamatan, serta jarak antar stasiun pengisian bahan bakar di seluruh kecamatan. Data akan dikumpulkan dengan bantuan Google Maps di mana titik-titik (nodes) dihubungkan satu sama lain untuk menentukan jarak. Semua jarak ini diperlukan guna mencapai jarak minimum antar SPBU di Tangerang Selatan sambil memastikan setiap kecamatan memiliki setidaknya satu SPBU. Untuk kecamatan yang belum memiliki SPBU, akan dipilih lokasi potensial dengan menggunakan sekolah negeri terpopuler (berdasarkan jumlah siswa yang terdaftar). Perangkat lunak yang digunakan untuk menghitung jarak adalah Google Maps, di mana peneliti menandai satu per satu untuk mengumpulkan semua jarak antara SPBU potensial – SPBU yang sudah ada, SPBU yang sudah ada – SPBU yang sudah ada, dan SPBU potensial – SPBU potensial.

Dari data yang dikumpulkan, nantinya akan diselesaikan menggunakan model matematika. Model matematika akan dikembangkan sesuai kebutuhan dan kemudian diuji menggunakan perangkat lunak (IBM ILOG CPLEX). Model matematika tersebut akan dibuat untuk memecahkan masalah, yaitu meminimalkan jumlah jarak antar SPBU sambil mencakup seluruh wilayah di Tangerang Selatan.

Disebutkan dalam pendahuluan bahwa membangun stasiun pengisian bahan bakar bukan sekadar memilih lokasi potensial yang memberikan keuntungan tertinggi bagi perusahaan itu sendiri, melainkan ada banyak faktor yang harus dipertimbangkan. Berdasarkan panduan dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral tahun 2018, terdapat beberapa peraturan dan langkah-langkah pencegahan yang perlu diperhatikan. Peraturan dan langkah-langkah pencegahan tersebut adalah sebagai berikut:

- Lokasi SPBU harus cukup luas dan aman dari bahan berbahaya/mudah terbakar serta berpotensi menyebabkan kecelakaan (terhadap manusia dan/atau lingkungan)
- Bebas dari banjir dan tidak boleh ada kabel di atas SPBU.
- Jauh dari trafo listrik
- Pertimbangkan kondisi lalu lintas di jalan tertentu agar tidak mengganggu lalu lintas secara umum.

Model yang diusulkan dalam penelitian ini akan dituliskan sebagai berikut. Selanjutnya, model tersebut akan diuji untuk menemukan solusi yang layak bagi pembangunan stasiun pengisian bahan bakar, yang nantinya dapat digunakan sebagai rekomendasi bagi pemerintah daerah. Model matematisnya adalah:

Variabel Keputusan:

$$y_i = \begin{cases} 0 & \text{jika tidak} \\ 1 & \text{jika SPBU terletak di lokasi } i \end{cases} \quad i = \{1, 2, \dots, n\}$$

$$z_j = \begin{cases} 0 & \text{jika tidak} \\ 1 & \text{jika SPBU terletak di lokasi } j \end{cases} \quad j = \{1, 2, \dots, m\}$$

$$x_{ij} = \begin{cases} 0 & \text{jika tidak} \\ 1 & \text{jika rute dari lokasi } i \text{ ke } j \text{ dipilih} \end{cases} \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, \\ j = \{1, 2, \dots, m\}$$

Indeks:

n = jumlah SPBU potensial

m = jumlah SPBU yang sudah ada

i = SPBU di titik y_i dan z_i

j = SPBU di titik y_j dan z_j

Parameter:

x_{ij} = rute dari SPBU i ke SPBU j

d_{ij} = jarak dari SPBU i ke SPBU j

$$\text{Min } \sum_i^n \sum_j^m y_i x_{ij} d_{ij} + \sum_i^n \sum_j^m z_i x_{ij} d_{ij} \quad \dots\dots\dots (1)$$

batasan:

$$y_i + z_i = 1 \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\sum x_{ij} \geq 1 \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, j = \{1, 2, \dots, m\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$x_{ij} = \{1, 0\} \quad i = \{1, 2, \dots, n\}, j = \{1, 2, \dots, m\} \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$y_i = \{1, 0\} \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$z_i = \{1, 0\} \quad i = \{1, 2, \dots, n\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan jarak (d_{ij}) antar SPBU di Tangerang Selatan, sebuah wilayah yang memiliki banyak kecamatan dan distribusi SPBU yang tidak merata. Fungsi tujuan direpresentasikan oleh persamaan (1), di mana x_{ij} bersifat biner, yang menunjukkan apakah rute tersebut dipilih atau tidak untuk jarak tertentu. Jarak (d_{ij}) dalam fungsi tujuan harus diminimalkan. Dalam persamaan (1), terdapat y_i dan z_i di mana perbedaannya adalah hubungan antara SPBU (potensial atau yang sudah ada) di suatu kelurahan (intra-kluster) dan dengan semua kelurahan di Tangerang Selatan (inter-kluster). Dengan mempertimbangkan cakupan intra-kluster dan inter-kluster, jarak minimum akan dihitung untuk mencakup semua kelurahan di Tangerang Selatan.

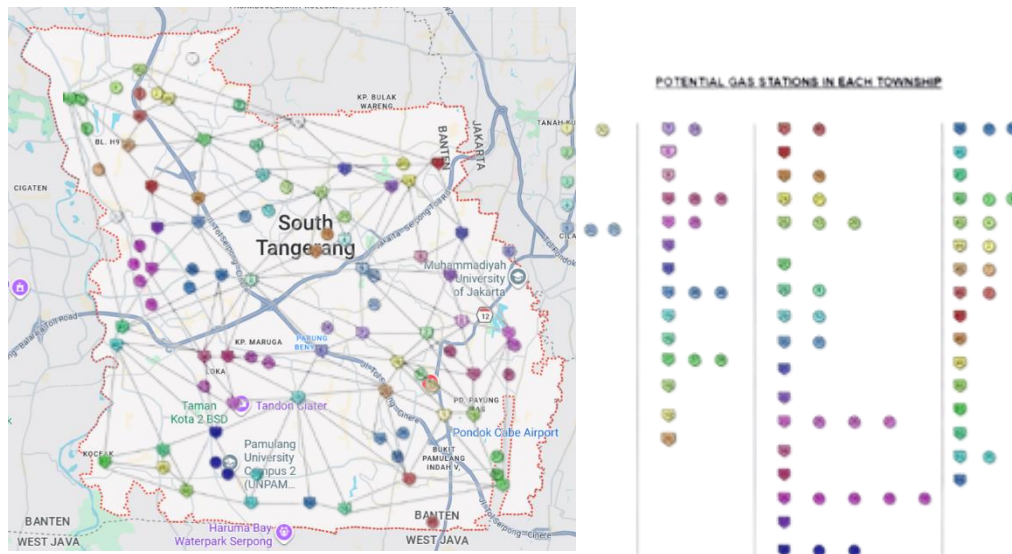
Penelitian ini mempertimbangkan lima batasan. Persamaan (2) menunjukkan bahwa sebuah SPBU dapat dibangun untuk cakupan intra-kluster (hanya mencakup area di dalam kecamatan) atau dibangun untuk cakupan inter-kluster di mana SPBU tersebut dapat mencakup SPBU lain (titik permintaan) di kecamatan lain. Batasan persamaan (3) memungkinkan SPBU terpilih memiliki rute ganda ke SPBU terpilih lainnya. Penelitian ini mencakup beberapa variabel keputusan, yang diwakili oleh persamaan (4), (5), dan (6). Variabel x_{ij} bersifat biner, menunjukkan apakah rute dari lokasi i ke j dipilih (1) atau tidak (0). Variabel y_i dan z_i (5 & 6) juga bersifat biner, yang menunjukkan apakah sebuah SPBU terletak di lokasi i (1) atau tidak (0).

Secara garis besar penelitian ini mengusulkan sebuah model matematis untuk meminimalkan jarak antar SPBU di Tangerang Selatan, dengan mempertimbangkan distribusi SPBU yang tidak merata serta banyaknya kawasan pemukiman di wilayah tersebut. Model yang diusulkan mencakup empat batasan dan empat variabel keputusan, yang bertujuan untuk mengoptimalkan penempatan SPBU dan jangkauan jaraknya.

Model yang diusulkan tidak membedakan i dan j sebagai SPBU potensial atau yang sudah ada dalam sistem. Sebaliknya, keduanya dianggap sebagai semua SPBU potensial, dan sistem akan menghitung solusi optimal. Model ini tidak mempertimbangkan apakah SPBU yang ada sudah dibangun dalam situasi kehidupan nyata. Tujuan utamanya adalah meminimalkan jarak antar SPBU, dan solusi yang diusulkan akan tetap optimal, terlepas dari keberadaan SPBU. Dengan kata lain, model yang diusulkan tidak memprioritaskan SPBU yang sudah ada dibandingkan dengan SPBU potensial. Jika sudah ada SPBU di suatu lokasi, model yang diusulkan tetap akan mempertimbangkan lokasi tersebut sebagai lokasi potensial untuk SPBU, dengan tujuan mengoptimalkan penempatan SPBU dan cakupan jarak minimum. SPBU yang sudah ada (dalam kenyataannya) dapat berfungsi sebagai SPBU pelengkap bagi SPBU yang baru ditempatkan (sesuai solusi dari model yang diusulkan), sehingga memastikan cakupan SPBU yang efisien dan menyeluruh di wilayah tersebut.

Oleh karena itu, model yang diusulkan menawarkan solusi yang fleksibel dan adaptif untuk penempatan dan optimasi stasiun pengisian bahan bakar, dengan mempertimbangkan semua stasiun pengisian bahan bakar potensial di wilayah tersebut tanpa mengorbankan

tujuan utama untuk meminimalkan jarak antar stasiun pengisian bahan bakar.



Gambar 4.

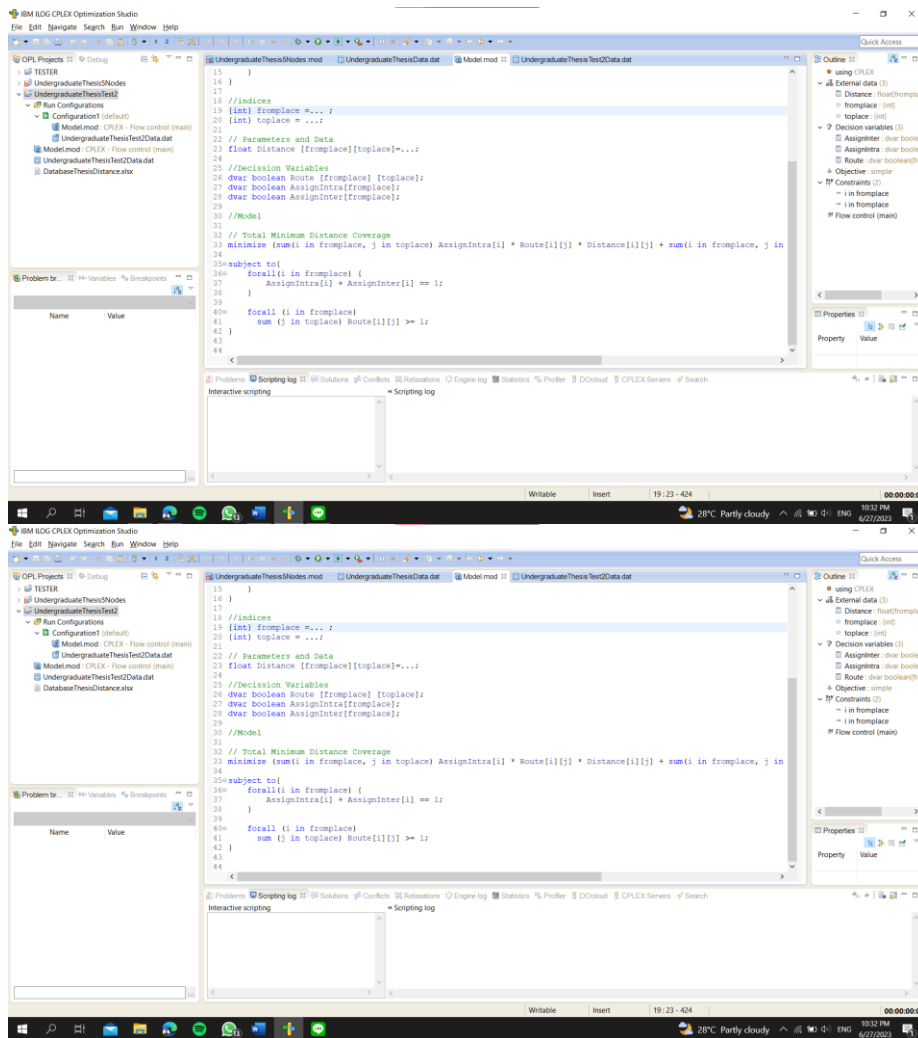
Peta Lokasi SPBU yang Direncanakan dan SPBU yang Sudah Ada di Tangerang Selatan

Gambar 4. menggambarkan jaringan SPBU yang sudah ada dan yang berpotensi dibangun di Tangerang Selatan. Diagram tersebut menampilkan sebaran spasial SPBU di wilayah tersebut. Bentuk lingkaran mewakili SPBU yang sudah ada di Tangerang Selatan. Pada saat penelitian ini ditulis, jumlah SPBU yang ada di Tangerang Selatan adalah 40. Di sisi lain, “penunjuk peta” pada gambar mewakili lokasi SPBU potensial di setiap kecamatan. Tujuan dari analisis ini adalah untuk memastikan bahwa setiap kecamatan di wilayah tersebut memiliki setidaknya satu SPBU.

Warna yang digunakan dalam gambar menunjukkan hubungan antara SPBU yang sudah ada dan yang berpotensi. Secara spesifik, warna-warna tersebut menandakan adanya kedua jenis SPBU tersebut di dalam setiap kecamatan. Misalnya, warna kuning mewakili adanya baik SPBU yang sudah ada maupun yang berpotensi di suatu kecamatan tertentu yang ditandai dengan lingkaran dan penunjuk peta. Bentuk lingkaran yang ditandai dengan warna kuning menandakan SPBU yang sudah ada, sedangkan bentuk lain dengan warna yang sama menandakan SPBU yang berpotensi.

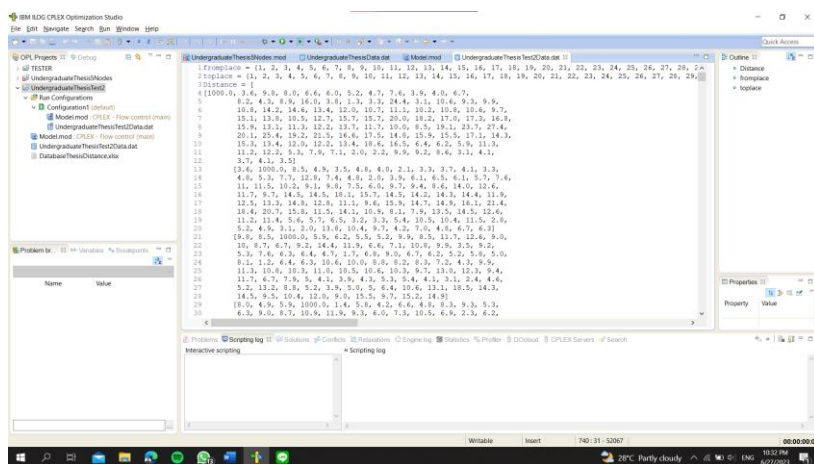
Secara keseluruhan, gambar tersebut menyajikan gambaran visual mengenai sebaran SPBU saat ini di Tangerang Selatan, dengan menyoroti kawasan-kawasan yang berpotensi membutuhkan SPBU baru guna memastikan cakupan yang memadai di wilayah tersebut. Gambar ini berfungsi sebagai alat yang berguna bagi pembuat kebijakan dan pemangku kepentingan untuk mengidentifikasi kawasan-kawasan di mana SPBU baru dapat didirikan guna memenuhi kebutuhan penduduk setempat.

Proses verifikasi dalam penelitian ini bertujuan untuk memastikan tidak ada lagi kode kesalahan dalam perangkat lunak (IBM ILOG CPLEX). Untuk mengetahui apakah ada kesalahan, periksa apakah terdapat tanda silang (x) di awal kode pada setiap baris. Jika tidak ada tanda silang, berarti tidak ada kesalahan. Validasi dalam penelitian ini bertujuan untuk memeriksa apakah perhitungan jarak tempuh yang dilakukan secara manual setelah diproses oleh IBM ILOG CPLEX dan hasil fungsi objektifnya sama.



Gambar 5.
Tangkapan layar berkas model di IBM ILOG CPLEX

Gambar 5. adalah tangkapan layar yang menunjukkan cara penulisan model dalam IBM ILOG CPLEX. Semua indeks, data, parameter, dan model ditulis dalam satu berkas. Pembacaan data tidak akan dimasukkan ke dalam berkas model karena matriks akan dibuat sesuai kebutuhan.



Gambar 6.
Tangkapan layar berkas data di IBM ILOG CPLEX

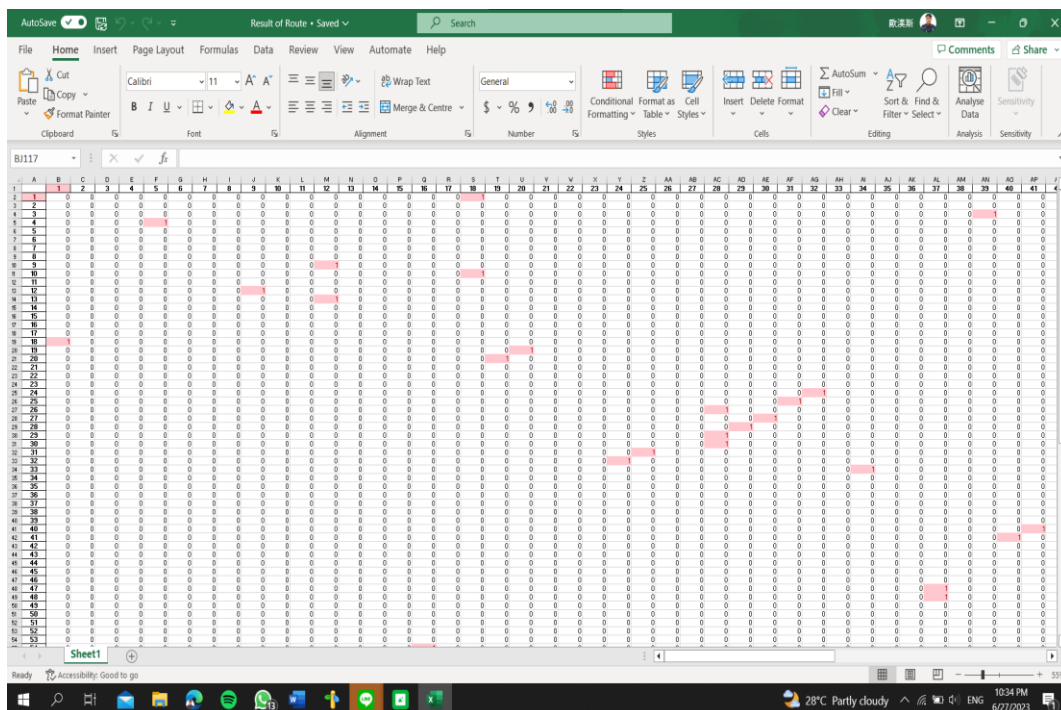
Gambar 6. menunjukkan kode-kode yang diperlukan untuk menjalankan model. Kode tersebut mencakup penetapan simpul asal yang disebut “fromplace” dan simpul tujuan yang disebut “toplace”. Di bawah simpul asal dan simpul tujuan tersebut terdapat matriks yang berisi semua jarak dari simpul asal ke simpul tujuan.



Gambar 7.

Tangkapan layar hasil fungsi tujuan

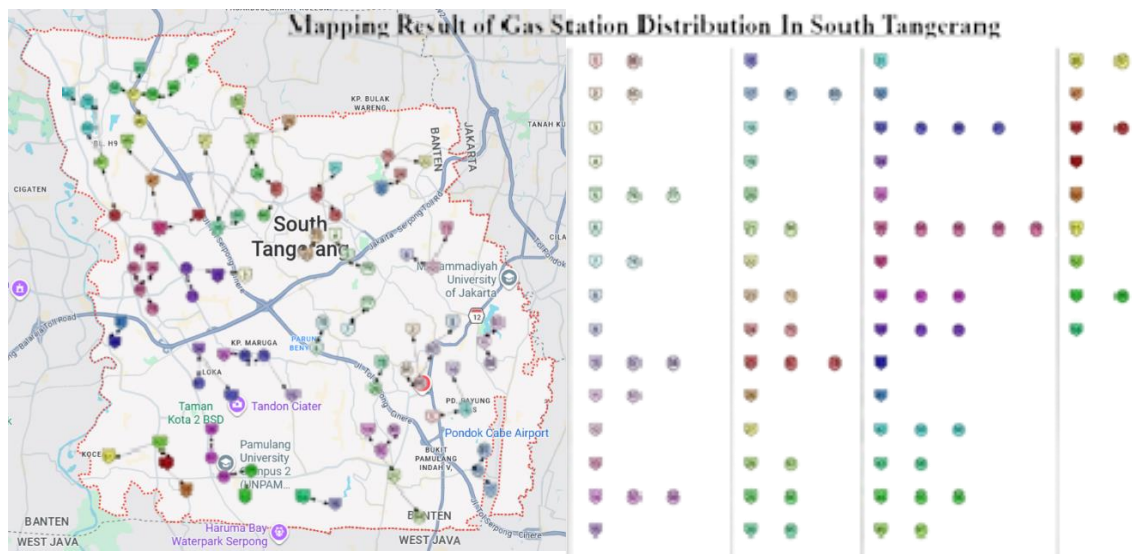
Gambar 7. menunjukkan hasil fungsi tujuan yang bertujuan untuk meminimalkan jarak tempuh total untuk stasiun pengisian bahan bakar di Tangerang Selatan sambil memenuhi seluruh area permintaan dengan membangun setidaknya satu stasiun pengisian bahan bakar. Solusi optimal global yang diperoleh adalah 115,99 km berdasarkan hasil pemrosesan di IBM ILOG CPLEX.



Gambar 8.

Tangkapan layar Variabel Penentuan Route di Excel

Gambar 8. menunjukkan salah satu variabel keputusan, yaitu Batasan Route. Batasan rute ini menggambarkan hubungan antara satu SPBU dengan SPBU lainnya. Karena Batasan Route dalam model ini bersifat biner, nilai 1 berarti rute dari satu SPBU ke SPBU lainnya dipilih, sedangkan nilai 0 berarti rute yang menghubungkan kedua SPBU tersebut tidak dipilih. Pada gambar di atas, setiap rute yang dipilih (bernomor 1) akan disorot, sedangkan yang bernilai 0 tidak akan disorot. Hasilnya, akan ada total 94 rute yang dipilih.

**Gambar 9.**

Peta Baru Distribusi SPBU di Tangerang Selatan

Gambar 9. menunjukkan peta distribusi baru SPBU di Kota Tangerang Selatan. Ini merupakan hasil perhitungan fungsi tujuan yang telah dilakukan berdasarkan model yang telah dibuat sebelumnya. Seperti terlihat pada Gambar 5., terdapat dua jenis simbol. Simbol penanda menunjukkan SPBU potensial, sedangkan lingkaran menunjukkan SPBU yang sudah ada. Dari semua SPBU, fungsi objektif telah terpenuhi dengan baik karena kini setiap kawasan memiliki setidaknya satu SPBU. Selain itu, kini terdapat SPBU yang secara khusus dirancang untuk melayani SPBU di kawasan lain. Gambar 9. sebenarnya didasarkan pada Gambar 8., yang menunjukkan hubungan antara sebuah SPBU dengan SPBU lainnya, apakah SPBU yang dipilih akan ditugaskan untuk intra-kluster (hanya mencakup SPBU di dalam satu kecamatan) atau ditugaskan untuk inter-kluster (mencakup node lain yang melintasi kecamatan lain).

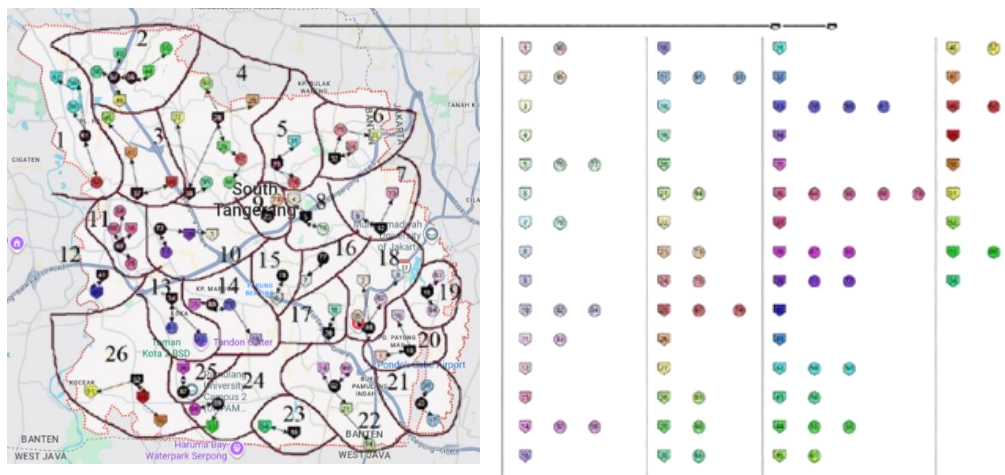
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendefinisikan semua indeks, parameter, data, dan variabel keputusan, langkah selanjutnya adalah menyusun model. Setelah model disusun, tugas berikutnya adalah memasukkan data yang telah dikumpulkan sebelumnya menggunakan Google Maps. Dalam model ini, data tersebut menggambarkan jarak antar SPBU di Tangerang Selatan. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan Google Maps untuk mencari jarak antara setiap pasangan SPBU. Fokusnya adalah memilih rute yang dapat diakses baik oleh mobil maupun sepeda motor, menghindari jalan tol, dan mengidentifikasi jarak terpendek di antara opsi-opsi yang tersedia yang disediakan oleh Google Maps. Setelah memperoleh data yang diperlukan, data tersebut dicatat dalam format lembar Excel untuk semua simpul. Format ini menghasilkan kisi berukuran 94 x 94, karena terdapat total 94 simpul, yang terdiri dari 40 SPBU yang sudah ada dan 54 SPBU potensial. Secara total, akan ada 94 simpul. Seperti yang telah disebutkan pada bagian sebelumnya, tidak semua simpul akan didefinisikan sebagai simpul potensial atau simpul yang sudah ada; semuanya akan didefinisikan sebagai simpul potensial. Oleh karena itu, akan ada 44 simpul yang sudah ada dan 54 simpul potensial. Langkah kedua adalah mendefinisikan parameter dan data di IBM ILOG CPLEX. Untuk jarak, tipe datanya akan berupa float karena akan mengandung koma, karena data yang dikumpulkan untuk semua jarak akan dalam satuan kilometer.

Sebuah tinjauan singkat terhadap fungsi tujuan menunjukkan bahwa fungsi tersebut bertujuan untuk meminimalkan jarak tempuh antar SPBU sambil memaksimalkan cakupan permintaan di semua kecamatan di Kota Tangerang Selatan. Jarak tempuh total, yang juga dikenal sebagai solusi global optimal, adalah 115,99 km. Ini berarti bahwa jarak total (juga dengan rute yang dipilih) dari satu SPBU ke SPBU lainnya melalui rute yang dipilih, jika dijumlahkan, sama dengan 115,99 km. Kini seluruh Kota Tangerang Selatan dapat tercakup oleh SPBU, terutama di kecamatan-kecamatan yang sebelumnya bahkan tidak memiliki satu pun SPBU.

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 9, beberapa SPBU di Tangerang Selatan dianggap tidak diperlukan atau berlebih. Solusi global optimal yang dihasilkan oleh IBM ILOG CPLEX berfokus pada meminimalkan jarak tempuh antar SPBU, namun tetap menghasilkan beberapa SPBU yang tidak perlu dibangun. Alasan mengapa SPBU-SPBU ini tidak diperlukan adalah karena sudah ada simpul-simpul yang cukup mencakup titik-titik permintaan di dalam sebuah kota, dan dalam beberapa kasus, simpul-simpul tersebut bahkan dapat mencakup simpul-simpul permintaan lain di kota-kota yang berbeda. SPBU yang digambarkan sebagai simpul hitam solid pada peta adalah SPBU yang tidak perlu dibangun, terutama untuk SPBU yang sudah ada. Selain itu, terdapat stasiun bahan bakar potensial yang ditandai dengan warna hitam yang juga termasuk dalam kategori stasiun yang tidak perlu. Hal ini berarti tidak semua wilayah perkotaan memerlukan stasiun bahan bakar khusus, karena mereka dapat dilayani secara efektif oleh stasiun bahan bakar lain yang ditugaskan untuk melayani wilayah-wilayah tersebut dengan jarak terpendek. Untuk menentukan stasiun bahan bakar mana yang harus dihilangkan, peneliti membagi node-node tersebut ke dalam kluster berdasarkan rute mereka. Secara total, terdapat 26 kelompok. Di dalam setiap kelompok, peneliti menganalisis input dan output setiap simpul. Simpul dengan selisih terkecil (yang menghasilkan angka negatif) secara otomatis disarankan untuk dihilangkan, karena dianggap sebagai stasiun berlebih yang dapat dilayani oleh stasiun pengisian bahan bakar lainnya.

Perlu dicatat bahwa SPBU yang melayani kandidat-kandidat yang akan dieliminasi ini tidak selalu berasal dari kecamatan yang sama; hubungan ini disebut sebagai hubungan intrakluster dalam penelitian ini. SPBU dari kecamatan lain juga turut berkontribusi dalam melayani simpul-simpul yang dieliminasi. Dari 26 kluster, total 28 SPBU diusulkan untuk dieliminasi. Jika semua 28 node dieliminasi, akan dibutuhkan total 66 node, atau 66 SPBU, untuk mencakup seluruh wilayah permintaan di Kota Tangerang Selatan.



Gambar 10.
Hasil Pemetaan Distribusi SPBU Setelah Penyaringan

Pada Gambar 10, node-node yang direkomendasikan untuk dieliminasi adalah node-node yang berwarna hitam. Node-node tersebut adalah node-node yang jika dieliminasi tidak akan berdampak pada SPBU yang ada saat ini karena node tersebut sudah dapat dicakup oleh node-node di sekitarnya. Sebagai contoh, di kluster 1, node 61 ditandai hitam karena jika node 66 tidak ada, area tersebut sudah dapat ditutupi oleh node 60 dan 62. Hal yang sama berlaku untuk semua kluster lainnya. Semua node yang memiliki simbol penanda dan tidak berwarna hitam berarti lokasi tersebut dipilih untuk membangun stasiun pengisian bahan bakar. Untuk implementasinya, seperti yang disebutkan sebelumnya pada bab pertama mengenai asumsi, node yang dipilih sebagai calon lokasi SPBU adalah sekolah negeri terkenal yang memiliki jumlah siswa terbanyak di kota tersebut. Jadi, jika lokasi tersebut akan dibangun, maka perlu dilakukan pengecekan ulang dengan peraturan pemerintah mengenai lokasi pembangunan SPBU di dekat area yang dipilih.

Waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menjalankan kode tersebut. Perangkat lunak (IBM ILOG CPLEX) mencatat waktu 14,18 detik untuk menjalankan kode dan memproses data. Secara keseluruhan, terdapat 8.836 titik data yang harus dibaca oleh IBM ILOG CPLEX, yang merupakan hasil perkalian 94 dengan 94.

Berdasarkan hasil penelitian ini, terdapat dua implikasi manajerial yang dapat diberikan. Yang pertama adalah penelitian ini mampu menyusun peta distribusi SPBU baru di Tangerang Selatan dengan lokasi SPBU yang tepat di seluruh wilayah Tangerang Selatan. Yang kedua, penelitian ini memberikan pertimbangan baru bagi pemerintah daerah mengenai lokasi pembangunan SPBU baru guna memaksimalkan pemenuhan kebutuhan dan ketersediaan pasokan yang memadai di seluruh wilayah Tangerang Selatan.

Penelitian ini memiliki beberapa hal yang berpotensi untuk ditingkatkan. Pertama, dalam penelitian ini, jumlah penduduk di setiap kecamatan belum diperhitungkan. Data penduduk tersebut digunakan untuk menunjukkan adanya permintaan di lokasi tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini kurang memiliki variabel keputusan atau parameter yang terkait dengan kepadatan penduduk. Peningkatkan penelitian ini, pengembangan lebih lanjut dapat memasukkan batasan atau parameter tambahan ke dalam model matematis. Misalnya, memasukkan kepadatan penduduk sebagai faktor akan memberikan wawasan yang lebih komprehensif. Selain itu, mempertimbangkan biaya yang terkait dengan pembangunan stasiun pengisian bahan bakar dapat berkontribusi pada analisis yang lebih komprehensif. Analisis lebih lanjut dapat dilakukan, seperti analisis sensitivitas, untuk mengetahui potensi masalah dalam model dan hingga kapan model ini dapat digunakan.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bagian ini, disajikan kesimpulan sebagai berikut:

1. Sebuah model matematis dikembangkan dengan fungsi tujuan untuk meminimalkan jarak tempuh antara satu SPBU ke SPBU lainnya di Tangerang Selatan sekaligus memaksimalkan cakupan permintaan di setiap kelurahan.
2. Hasil dari fungsi tujuan tersebut adalah 115,99 km. Secara keseluruhan, terdapat 94 simpul yang dipilih. Terdapat 94 rute yang dipilih. Dibutuhkan waktu 14,18 detik sebagaimana tercatat oleh perangkat lunak (IBM ILOG CPLEX) itu sendiri untuk menjalankan kode dan membaca data.
3. Rute yang dipilih oleh IBM ILOG CPLEX, mencatat waktu 14,18 detik untuk menjalankan kode dan memproses data

5. DAFTAR PUSTAKA

1. Aleisa, E., Savsar, M., Al-Mashaan, M. M., Al-Jadi, A., & Al-Sabah, S. A. (2014). A metaheuristic approach for location of gas stations in a metropolitan area. *International Journal of Operational Research*, 21(2), 172-200.
2. Argun, I. D. (2019). An overview on set covering problems with a focus on military applications. *Operations Research for Military Organizations*, 54-66.
3. Badan Pusat Statistik (2023). “Badan Pusat Statistik Kota Tangerang Selatan.” (<https://tangselskota.bps.go.id/indicator/12/85/1/jumlah-penduduk.html>). Diakses tanggal 27 Juli 2023).
4. Badan Pusat Statistik (2023). “BPS Provinsi Banten.” (<https://banten.bps.go.id/indicator/17/308/1/jumlah-kendaraan-bermotor-menurut-kabupaten-kota-dan-jenis-kendaraan-di-provinsi-banten.html>). Diakses tanggal 27 Juli 2023.
5. Badan Pusat Statistik (2023). “Badan Pusat Statistik Kota Tangerang Selatan.” (<https://tangselskota.bps.go.id/>). Diakses tanggal 27 Juli 2023.
6. Başar, A., Kabak, Ö., Topçu, Y. İ., & Bozkaya, B. (2015). Location analysis in banking: a new methodology and application for a Turkish bank. In *Applications of location analysis* (pp. 25-54). Cham: Springer International Publishing.
7. Bantenprov (2023). “Geografi - Profil Provinsi,” *Website Resmi Pemerintah Provinsi Banten*. (<https://bantenprov.go.id/geografi>). Diakses tanggal 27 Juli 2023.
8. CNBCIndonesia (2023). “Sah! Indonesia Kini Punya 38 Provinsi, Ini Daftar Lengkapnya.” (<https://www.cnbcindonesia.com/news/20221117192559-4-389088/sah-indonesia-kini-punya-38-provinsi-ini-daftar-lengkapnya>). Diakses tanggal 27 Juli 2023.
9. Crawford, B., Soto, R., Cuesta, R., & Paredes, F. (2014). Application of the artificial bee colony algorithm for solving the set covering problem. *The Scientific World Journal*, 2014(1), 189164.
10. Crawford, B., Soto, R., Monfroy, E., Astorga, G., García, J., & Cortes, E. (2018). A meta-optimization approach to solve the set covering problem. *Ingeniería*, 23(3), 274-288.
11. Degel, D., & Lutter, P. (2013). *A robust formulation of the uncertain set covering problem*. <https://optimization-online.org/2013/06/3926/> Diakses tanggal 27 Juli 2023.
12. Drakulić, D., Takači, A., & Marić, M. (2016). Solving minimal covering location problems with single and multiple node coverage. *Scientific Bulletin of the Petru Maior University of Targu Mures*, 13(2), 34-38.
13. Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Fahimnia, B., & Kazemzadeh, N. (2014). Hierarchical facility location problem: Models, classifications, techniques, and applications. *Computers & Industrial Engineering*, 68, 104-117.
14. Nickel, S., Steinhardt, C., Schlenker, H., & Burkart, W. (2022). Decision optimization with IBM ILOG CPLEX optimization studio. *Angewandte Optimierung mit IBM ILOG CPLEX Optimization Studio*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany. (Tidak ada dalam Situs)
15. Wang, S. P., Lee, H. C., & Hsieh, Y. K. (2016). A Multicriteria Approach for the Optimal Location of Gasoline Stations Being Transformed as Self-Service in Taiwan. *Mathematical Problems in Engineering*, 2016(1), 8341617.
16. Welch, S. B., & Salhi, S. (1997). The obnoxious p facility network location problem with facility interaction. *European Journal of Operational Research*, 102(2), 302-319.