DIKMAT: Jurnal Pendidikan Matematika
https://jurnal.habi.ac.id/index.php/Dikmat
Doi: 10.56842

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

MODEL OPTIMASI PENENTUAN LOKASI PUSKESMAS PEMBANTU (PUSTU) MENGGUNAKAN GRAPH THEORY DAN MAXIMUM COVERAGE LOCATION PROBLEM UNTUK MEMAKSIMALKAN AKSES PELAYANAN KESEHATAN DI KECAMATAN DRAMAGA, CIOMAS, DAN CIAMPEA

Noel Goklas Partogi Napitupulu[1*], dan Luthfan Irfana[2]
[1, 2]IPB University, Indonesia
[*] Email: noelnnapitupulu@gmail.com

Abstrak

Keberadaan fasilitas kesehatan belum selalu menjamin keterjangkauan karena akses masyarakat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan jalan. Penelitian ini bertujuan merancang kerangka pemodelan spasial-optimasi untuk merekomendasikan lokasi Puskesmas Pembantu (Pustu) di Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea, Kabupaten Bogor. Jaringan jalan OpenStreetMap dimodelkan sebagai graf berbobot, jarak tempuh dihitung dengan algoritma Dijkstra, dan lokasi dioptimalkan dengan Maximum Coverage Location Problem (MCLP) pada radius pelayanan jaringan 3 km. Analisis terhadap 34 desa (459.982 jiwa) dan 12 puskesmas eksisting menunjukkan bahwa 95,28% penduduk telah tercakup, sedangkan 21.715 jiwa di Cihideung Ilir dan Mekarjaya belum tercakup. Jarak jaringan lebih besar daripada jarak Euclidean pada 99,51% pasangan desa–puskesmas dengan rata-rata detour ratio 1,54. Pada skenario satu Pustu, MCLP menghasilkan empat solusi optimal setara dengan tambahan cakupan 11.994 jiwa; optimasi hierarkis menetapkan Cihideung Ilir sebagai lokasi rekomendasi sehingga cakupan meningkat menjadi 97,89%.

Kata kunci: *Lokasi Puskesmas Pembantu; Algoritma Dijkstra; MCLP; Graph Theory; Aksesibilitas Spasial.*

Abstract

Health facility existence does not always guarantee accessibility because community access depends on the configuration of the road network. This study designs a spatial-optimization framework for recommending the location of a Puskesmas Pembantu (Pustu, auxiliary health center) in Dramaga, Ciomas, and Ciampea Sub-districts, Bogor Regency. The OpenStreetMap road network is modeled as a weighted graph, travel distances are computed with Dijkstra's algorithm, and the location is optimized using the Maximum Coverage Location Problem (MCLP) with a 3 km network service radius. Analysis of 34 villages (459,982 residents) and 12 existing health centers shows that 95.28% of the population is already covered, while 21,715 residents in Cihideung Ilir and Mekarjaya remain uncovered. Network distance exceeds Euclidean distance in 99.51% of village–health center pairs, with a mean detour ratio of 1.54. For a single new Pustu, MCLP yields four equivalent optimal solutions adding 11,994 residents; hierarchical optimization selects Cihideung Ilir as the recommended location, raising coverage to 97.89%.

Keywords: *Auxiliary Health Center Location; Dijkstra Algorithm; MCLP; Graph Theory; Spatial Accessibility.*

PENDAHULUAN

Di Indonesia, perluasan jaringan Puskesmas Pembantu (Pustu) terus didorong untuk menjangkau masyarakat hingga ke tingkat desa. Namun, keberadaan fasilitas kesehatan belum selalu menjamin keterjangkauan karena akses masyarakat dipengaruhi oleh konfigurasi jaringan jalan (Guagliardo, 2004). Ketimpangan ini menyebabkan beberapa daerah yang secara administratif tampak memiliki fasilitas kesehatan sebenarnya masih terisolasi secara konektivitas jalan.

Kabupaten Bogor menjadi salah satu wilayah dengan tekanan kebutuhan layanan kesehatan yang sangat tinggi. Dengan populasi mencapai 5,68 juta jiwa pada tahun 2024 (BPS Kabupaten Bogor, 2025), wilayah ini memikul

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

beban demografi terbesar untuk tingkat kabupaten di Indonesia. Akselerasi pertumbuhan penduduk yang masif salah satunya terkonsentrasi di kawasan penyangga, seperti Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS Kabupaten Bogor, 2024a, 2024b, 2024c), akumulasi penduduk di ketiga kecamatan ini telah menembus hampir 470 ribu jiwa. Pesatnya alih fungsi lahan menjadi kawasan permukiman, pusat pendidikan, dan aktivitas ekonomi membuat mobilitas harian warga semakin tinggi sehingga secara langsung menuntut ketersediaan layanan kesehatan primer yang tanggap dan efisien.

Persoalan utamanya terletak pada metode penentuan lokasi fasilitas kesehatan yang selama ini masih mendasarkan pada kriteria administratif statis dan asumsi jarak lurus (*Euclidean distance*). Pendekatan Euclidean mengasumsikan bahwa pergerakan manusia bersifat bebas hambatan ke segala arah (*isotropic space*) sehingga kerap menghasilkan bias dan keputusannya kurang valid jika diterapkan pada wilayah dengan kondisi topografi atau jaringan jalan yang kompleks (Apparicio dkk., 2008). Penelitian yang dilakukan oleh Higgs (2004) menunjukkan bahwa penggunaan jarak lurus sering kali menyimpang jauh dari kondisi pergerakan nyata masyarakat di lapangan. Akibatnya timbul fenomena *spatial mismatch*: sebuah desa dapat terlihat sangat dekat dengan Pustu secara garis lurus di atas peta, namun sebenarnya membutuhkan waktu dan jarak tempuh yang jauh lebih panjang.

Untuk mengatasi kelemahan tersebut, pemodelan berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG) yang diintegrasikan dengan *Graph Theory* menawarkan pendekatan yang jauh lebih realistis. Jaringan jalan dimodelkan sebagai himpunan simpul (*node*) dan sisi (*edge*) sehingga jarak tempuh aktual dapat dihitung secara akurat menggunakan Algoritma Dijkstra (Dijkstra, 1959). Lebih jauh, informasi jarak berbasis jaringan ini dapat dikombinasikan dengan metode optimasi *Maximum Coverage Location Problem* (MCLP) (Church & ReVelle, 1974). MCLP digunakan untuk memaksimalkan penduduk yang memperoleh cakupan baru dengan jumlah fasilitas terbatas.

Berangkat dari urgensi tersebut, penelitian ini merancang sebuah kerangka pemodelan spasial-optimasi untuk merekomendasikan lokasi pembangunan Puskesmembantu di Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea. Menggunakan data jaringan jalan riil dari OpenStreetMap (OSM), perhitungan rute Dijkstra, serta algoritma optimasi MCLP, studi ini memetakan titik Pustu paling strategis berdasarkan distribusi pemukiman warga. Hasil dari perancangan model ini diharapkan dapat menjadi rujukan berbasis data (*evidence-based policy*) bagi Pemerintah Kabupaten Bogor dalam mengambil kebijakan alokasi fasilitas kesehatan yang objektif, efisien, dan tepat sasaran.

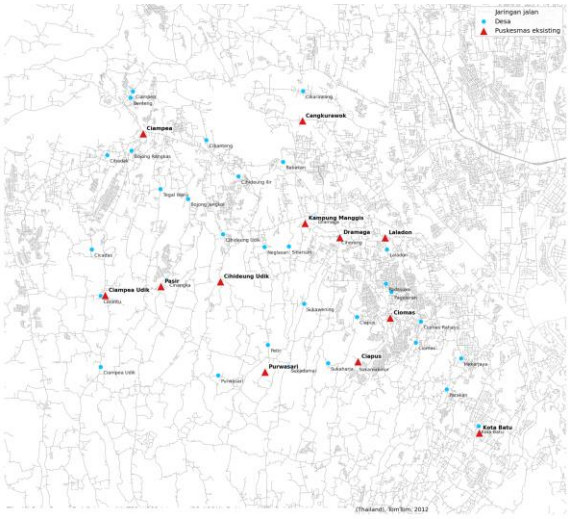
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain pemodelan spasial-optimasi. Alur kerja disajikan pada Gambar 2 dan diimplementasikan dengan bahasa pemrograman Python (pandas, OSMnx 2.1.1, NetworkX, GeoPandas, PuLP dengan *solver* CBC, dan Matplotlib).

1. Data dan Wilayah Penelitian

Wilayah penelitian mencakup Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea, Kabupaten Bogor. Unit analisis berupa 34 desa, masing-masing dengan data jumlah penduduk dan koordinat titik desa, serta 12 puskesmas eksisting dengan koordinat lokasinya. Jaringan jalan diunduh dari OpenStreetMap menggunakan OSMnx dengan jenis jaringan drive, berpusat pada koordinat -6,59; 106,735 dengan radius 15 km, dan menghasilkan 162.802 ruas jalan (Boeing, 2017). Sebaran jaringan jalan, desa, dan puskesmas eksisting ditampilkan pada Gambar 1.

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4



Gambar 1. Jaringan jalan, desa, dan puskesmas eksisting di Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea

2. Pemodelan Jaringan dan Jarak Terpendek

Jaringan jalan direpresentasikan sebagai graf berbobot:

$$G = (V, E) \tag{1}$$

dengan V merupakan himpunan *node* yang merepresentasikan titik pada jaringan jalan dan E merupakan himpunan *edge* yang menghubungkan antar-*node*. Setiap persimpangan atau titik pembagi arus menjadi *node*, sedangkan ruas jalan yang menghubungkannya menjadi *edge* dengan bobot $w(u, v)$ berupa panjang aktual ruas jalan. Titik desa dan puskesmas diproyeksikan (*snap*) ke *node* jaringan terdekat, kemudian jarak pelayanan ditentukan menggunakan algoritma Dijkstra dengan mencari lintasan yang memiliki akumulasi bobot minimum:

$$d(s,t) = \min_{P:\, s \to t} \sum_{(u,v)\in P} w\,(u,v) \tag{2}$$

dengan $d(s,t)$ merupakan jarak terpendek antara desa s dan puskesmas t. Dengan demikian, jarak dihitung mengikuti struktur dan rute jaringan jalan yang tersedia, bukan sekadar jarak garis lurus antarkoordinat. Sebagai pembanding, jarak garis lurus $d_E(s,t)$ dihitung dari koordinat geografis dengan rumus *haversine*, kemudian dihitung rasio kelokan (*detour ratio*):

$$DR(s,t) = \frac{d(s,t)}{d_E(s,t)} \tag{3}$$

3. Status dan Persentase Cakupan

Batas cakupan pelayanan puskesmas eksisting ditetapkan sebesar 3 km, mengacu pada SNI 03-1733-2004 yang mencantumkan radius pencapaian puskesmas sebesar 3.000 m (BSN, 2004). Pendekatan serupa digunakan Mas'udah (2023) dalam pemetaan area pelayanan fasilitas kesehatan di Kabupaten Bojonegoro. Namun, batas tersebut diterapkan sebagai jarak jaringan (*network distance*), bukan jarak Euclidean. Status keterjangkauan desa i terhadap puskesmas j dirumuskan sebagai:

$$a_{ij} = \begin{cases} 1, & d_{ij} \le R \\ 0, & d_{ij} > R \end{cases}, \quad R = 3 \text{ km} \tag{4}$$

dengan d_{ij} merupakan jarak jaringan terpendek antara desa i dan puskesmas j. Suatu desa dinyatakan tercakup apabila terdapat sedikitnya satu puskesmas dengan $d_{ij} \le 3$ km, sehingga status cakupan desa dirumuskan:

$$C_i = \max_{j \in J} a_{ij} \tag{5}$$

Karena setiap desa memiliki jumlah penduduk yang berbeda, status cakupan dibobotkan dengan jumlah penduduk P_i desa i. Jumlah penduduk tercakup dan persentase cakupan terhadap seluruh populasi wilayah penelitian dirumuskan:

$$P_{\text{tercakup}} = \sum_{i \in I} P_i\, C_i \tag{6}$$

$$Coverage = \frac{\sum_{i \in I} P_i C_i}{\sum_{i \in I} P_i} \times 100\% \tag{7}$$

Untuk memastikan bahwa batas 3 km tidak ditetapkan secara arbitrer, dilakukan analisis sensitivitas pada radius jaringan 2, 3, 4, dan 5 km dengan prinsip perhitungan yang sama.

4. Optimasi Lokasi dengan MCLP

Seluruh 34 desa diperlakukan sebagai kandidat lokasi Pustu, dan jarak jaringan dari setiap kandidat ke seluruh desa dihitung

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

dengan algoritma Dijkstra. Desa yang belum tercakup membentuk himpunan sasaran:

$$U = \{i \in I:\ C_i = 0\} \quad (8)$$

Dengan $x_j \in \{0,1\}$ sebagai variabel keputusan pembangunan Pustu pada kandidat j dan $y_i \in \{0,1\}$ sebagai status cakupan baru desa i, fungsi objektif MCLP adalah:

$$\max Z = \sum_{i \in U} P_i\, y_i \quad (9)$$

dengan $x_j = 1$ jika kandidat j dipilih dan $y_i = 1$ jika desa i memperoleh cakupan baru. Cakupan hanya dapat diberikan apabila terdapat kandidat terpilih dalam radius jaringan 3 km (N_i), dan skenario hanya memungkinkan pembangunan satu Pustu ($p = 1$):

$$y_i \leq \sum_{j \in N_i} x_j\,, \quad \forall i \in U \quad (10)$$

$$\sum_{j \in J} x_j = 1 \quad (11)$$

$$x_j,\ y_i \in \{0,1\} \quad (12)$$

Karena beberapa kandidat dapat menghasilkan nilai objektif yang identik, seluruh kandidat dievaluasi secara eksplisit dan diterapkan optimasi hierarkis: setelah nilai maksimum Z^* dipertahankan, kandidat dipilih berdasarkan jarak jaringan minimum menuju desa yang memperoleh cakupan baru,

$$\min Z_2 = d_{j,\text{sasaran}}, \quad j \in J^* \quad (13)$$

dengan J^* merupakan himpunan kandidat yang telah mencapai nilai optimal primer. Validasi dilakukan dengan menghitung ulang rute terpendek setiap kandidat optimal (selisih terhadap hasil sebelumnya nol) serta memeriksa jarak *snap* titik kandidat ke *node* jalan (19,6–50,6 m).

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Aksesibilitas Jaringan dan Perbandingan dengan Jarak Euclidean

Berdasarkan pemodelan jaringan jalan menggunakan data OSM, diperoleh representasi aksesibilitas masyarakat terhadap fasilitas pelayanan kesehatan primer pada Kecamatan Dramaga, Ciomas, dan Ciampea. Analisis mencakup 34 desa dengan total 459.982 jiwa dan 12 puskesmas eksisting sebagai titik pelayanan. Berbeda dengan pendekatan jarak lurus, aksesibilitas dihitung berdasarkan lintasan pada jaringan jalan yang benar-benar dapat dilalui. Tabel 1 memberikan contoh jarak jaringan terpendek hasil algoritma Dijkstra.

Tabel 1. Contoh Jarak Jaringan Terpendek Desa–Puskesmas Menggunakan Algoritma Dijkstra

Desa	Puskesmas	Jarak jaringan (km)
Babakan	Puskesmas Kampung Manggis	1,968
Babakan	Puskesmas Purwasari	7,565
Babakan	Puskesmas Cangkurawok	3,626
Babakan	Puskesmas Dramaga	2,852
Ciherang	Puskesmas Kampung Manggis	1,22
Ciherang	Puskesmas Dramaga	0

Sumber: Dokumen Penulis (2026)

Perbandingan terhadap jarak Euclidean semakin menunjukkan pentingnya pendekatan jaringan. Dari 408 pasangan desa–puskesmas yang valid, sebanyak 406 pasangan (99,51%) memiliki jarak jaringan yang lebih besar daripada jarak Euclidean. Nilai *detour ratio* memiliki rata-rata 1,54 dengan median 1,48 dan maksimum 3,71. Hal ini menunjukkan bahwa jarak garis lurus cenderung mengestimasi akses secara lebih pendek dibandingkan lintasan yang benar-benar tersedia pada jaringan jalan. Temuan ini sejalan dengan perhatian literatur aksesibilitas terhadap pemilihan ukuran jarak (Apparicio dkk., 2008; Higgs, 2004) dan menjadi dasar bahwa penggunaan jarak Euclidean berpotensi memberikan estimasi cakupan yang terlalu optimistis.

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

2. Cakupan Pelayanan Eksisting dan Sensitivitas Radius

Hasil analisis sensitivitas terhadap beberapa skenario radius jaringan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Sensitivitas Cakupan Pelayanan terhadap Perubahan Radius Jaringan

Radius jaringan	Desa tercakup	Desa belum tercakup	Penduduk tercakup	Coverage
2 km	22	12	323.790	70,39%
3 km	32	2	438.267	95,28%
4 km	34	0	459.982	100%
5 km	34	0	459.982	100%

Sumber: Dokumen Penulis (2026)

Dengan radius jaringan 3 km yang ditetapkan berdasarkan analisis sensitivitas, diperoleh 32 desa tercakup dan dua desa, yaitu Mekarjaya dan Cihideung Ilir, masih berada di luar cakupan pelayanan. Kedua desa tersebut memiliki jarak jaringan terpendek menuju puskesmas terdekat yang melebihi batas 3 km (masing-masing 3,12 km dan 3,02 km), sehingga menjadi *coverage gap* yang selanjutnya menjadi sasaran utama optimasi MCLP. Nilai $C_i = 1$ menunjukkan bahwa desa i telah tercakup oleh sedikitnya satu puskesmas, sedangkan $C_i = 0$ menunjukkan bahwa tidak terdapat puskesmas yang dapat dijangkau dalam batas jaringan 3 km. Kondisi ini menunjukkan bahwa keberadaan fasilitas kesehatan di sekitar wilayah penelitian belum sepenuhnya menjamin keterjangkauan apabila akses diukur berdasarkan jaringan jalan aktual.

Berdasarkan hasil perhitungan, sebanyak 438.267 jiwa telah tercakup dari total 459.982 jiwa sehingga cakupan pelayanan 12 puskesmas eksisting mencapai:

$$Coverage_{\text{eksisting}} = \frac{438.267}{459.982} \times 100\% = 95{,}28\% \quad (14)$$

Dengan demikian, masih terdapat $459.982 - 438.267 = 21.715$ jiwa atau sekitar 4,72% penduduk yang berada di luar radius pelayanan. Penduduk tersebut terkonsentrasi pada dua desa, yaitu Cihideung Ilir sebanyak 11.994 jiwa dan Mekarjaya sebanyak 9.721 jiwa (Tabel 3).

Tabel 3. Desa yang Belum Tercakup Pelayanan Puskesmas Eksisting

Desa	Kecamatan	Penduduk
Cihideung Ilir	Ciampea	11.994
Mekarjaya	Ciomas	9.721
Total		**21.715**

Sumber: Dokumen Penulis (2026)

3. Optimasi Lokasi Pustu dengan MCLP

Cakupan 95,28% masih menyisakan *spatial gap* sebesar 21.715 penduduk pada Cihideung Ilir dan Mekarjaya. Karena sumber daya pembangunan terbatas, persoalan selanjutnya bukan sekadar menambah fasilitas, tetapi menentukan lokasi yang mampu memberikan cakupan penduduk tambahan terbesar. Persoalan tersebut diformulasikan sebagai MCLP dengan skenario pembangunan satu unit Pustu ($p = 1$).

Tidak terdapat kandidat yang mampu mencakup Cihideung Ilir dan Mekarjaya secara bersamaan dalam radius jaringan 3 km, sehingga terdapat dua alternatif cakupan:

$$\begin{aligned} Z_{\text{Cihideung Ilir}} &= 11.994 \\ Z_{\text{Mekarjaya}} &= 9.721 \end{aligned} \quad (15)$$

Dengan fungsi objektif yang memaksimumkan jumlah penduduk tercakup, diperoleh:

$$Z^* = \max(11.994;\ 9.721) = 11.994 \quad (16)$$

sehingga cakupan maksimum yang dapat diperoleh melalui pembangunan satu Pustu adalah 11.994 jiwa, yaitu pada wilayah sasaran Cihideung Ilir.

Selanjutnya, seluruh 34 kandidat lokasi dievaluasi menggunakan fungsi objektif MCLP. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa empat kandidat menghasilkan nilai objektif

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

maksimum yang sama, yaitu 11.994 jiwa: Babakan, Cibanteng, Cihideung Ilir, dan Neglasari (Tabel 4). Keempatnya memiliki jarak jaringan tidak lebih dari 3 km menuju Cihideung Ilir, sehingga masing-masing mampu memberikan cakupan baru kepada seluruh penduduk desa tersebut.

Tabel 4. Solusi Optimal Primer MCLP untuk Pembangunan Satu Unit Pustu

Kandidat	Jarak ke Cihideung Ilir (km)	Tambahan penduduk	Tambahan desa
Babakan	2,127	11.994	1
Cibanteng	1,518	11.994	1
Cihideung Ilir	0	11.994	1
Neglasari	2,81	11.994	1

Sumber: Dokumen Penulis (2026)

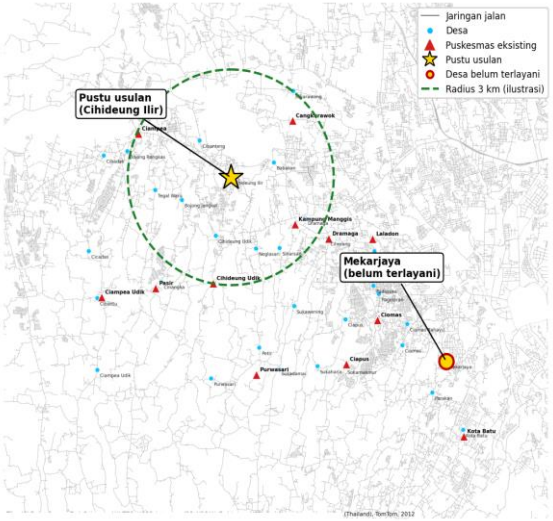
Keberadaan empat kandidat dengan nilai objektif yang sama menunjukkan adanya *multiple optimal solutions* pada tujuan primer MCLP:

$$Z_{\text{Babakan}} = Z_{\text{Cibanteng}} = Z_{\text{Cihideung Ilir}} = Z_{\text{Neglasari}} = 11.994 \quad (17)$$

Artinya, MCLP telah berhasil menentukan jumlah penduduk maksimum yang dapat dicakup, tetapi belum dapat membedakan lokasi mana yang paling efisien di antara keempat kandidat. Oleh karena itu, kerangka ini menerapkan optimasi hierarkis dengan jarak jaringan menuju populasi sasaran sebagai kriteria sekunder (Persamaan 13). Berdasarkan hasil perhitungan Dijkstra, jarak jaringan menuju Cihideung Ilir adalah 2,127 km dari Babakan, 1,518 km dari Cibanteng, 2,810 km dari Neglasari, dan 0 km dari Cihideung Ilir. Dengan demikian:

$$Z_2^* = \min\{2{,}127; 1{,}518; 0; 2{,}810\} = 0 \text{ km} \quad (18)$$

Oleh karena itu, Cihideung Ilir ditetapkan sebagai lokasi rekomendasi pembangunan Pustu (Gambar 2). Pemilihan ini tidak mengubah nilai maksimum cakupan penduduk yang diperoleh pada tahap pertama, tetapi memilih alternatif dengan jarak jaringan minimum terhadap populasi sasaran.



Gambar 2. Hasil optimasi lokasi usulan Puskesmas Pembantu (Pustu)

Dalam implementasinya, lokasi desa direpresentasikan oleh titik koordinat yang di-*snap* ke *node* jaringan jalan terdekat. Dengan demikian, hasil optimasi menunjukkan desa/lokasi kandidat yang paling optimal, bukan titik tapak pembangunan Pustu secara final. Penentuan lokasi fisik selanjutnya tetap memerlukan verifikasi lapangan terhadap ketersediaan lahan, status kepemilikan, kondisi jalan, dan kelayakan pembangunan fasilitas.

4. Dampak Penempatan Pustu terhadap Cakupan

Penempatan satu unit Pustu di Cihideung Ilir memberikan tambahan akses kepada 11.994 jiwa, sehingga jumlah penduduk tercakup meningkat dari 438.267 jiwa menjadi:

$$P_{\text{tercakup,baru}} = 450.261 \text{ jiwa} \quad (19)$$

Cakupan pelayanan setelah optimasi menjadi:

$$Coverage_{\text{optimasi}} = \frac{450.261}{459.982} \times 100\% = 97{,}89\% \quad (20)$$

Dengan demikian, peningkatan cakupan yang dihasilkan adalah:

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

$$\Delta Coverage = 97{,}89\% - 95{,}28\% = 2{,}61\% \quad (21)$$

Sementara itu, jumlah penduduk yang masih berada di luar cakupan berkurang dari 21.715 jiwa menjadi:

$$P_{\text{belum,baru}} = 21.715 - 11.994 = 9.721 \text{ jiwa} \quad (22)$$

yang seluruhnya berasal dari Desa Mekarjaya. Perbandingan kondisi sebelum dan sesudah optimasi disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Cakupan Pelayanan Sebelum dan Sesudah Optimasi

Indikator	Eksisting	Setelah Optimasi
Desa tercakup	32	33
Desa belum tercakup	2	1
Penduduk terlayani	438.267	450.261
Penduduk belum terlayani	21.715	9.721
Coverage	95,28%	97,89%

Sumber: Dokumen Penulis (2026)

Peningkatan sebesar 2,61 poin persentase mungkin tampak terbatas apabila hanya dilihat sebagai perubahan persentase, tetapi merepresentasikan 11.994 penduduk tambahan yang memperoleh akses terhadap pelayanan kesehatan primer. Lebih jauh, optimasi berhasil mengurangi kesenjangan penduduk yang belum terlayani dari 21.715 menjadi 9.721 jiwa, atau mengeliminasi sekitar:

$$\frac{11.994}{21.715} \times 100\% = 55{,}23\% \quad (23)$$

dari *population coverage gap* awal hanya melalui penambahan satu fasilitas. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa efektivitas pembangunan fasilitas kesehatan tidak hanya ditentukan oleh jumlah fasilitas yang ditambahkan, tetapi juga oleh ketepatan lokasi berdasarkan struktur jaringan jalan dan distribusi penduduk.

5. Implikasi

Integrasi *Graph Theory*, algoritma Dijkstra, dan MCLP membentuk proses pengambilan keputusan yang berurutan. *Graph Theory* merepresentasikan struktur konektivitas jalan, algoritma Dijkstra mengukur jarak akses aktual, MCLP memaksimumkan penduduk yang memperoleh cakupan baru, sedangkan optimasi sekunder menyelesaikan kondisi ketika terdapat beberapa lokasi dengan manfaat cakupan yang identik. Pendekatan ini memberikan dasar kuantitatif bagi penentuan lokasi fasilitas kesehatan sehingga rekomendasi pembangunan tidak berhenti pada kedekatan administratif, tetapi mempertimbangkan akses jaringan, distribusi penduduk, keterbatasan fasilitas, dan efisiensi lokasi secara simultan.

Namun, lokasi kandidat dalam model direpresentasikan menggunakan titik desa sebagai pendekatan terhadap konsentrasi permukiman. Oleh karena itu, hasil optimasi menunjukkan lokasi prioritas secara spasial, sedangkan penetapan lokasi pembangunan aktual tetap memerlukan verifikasi ketersediaan lahan, kelayakan pembangunan, dan kondisi lapangan. Model optimasi dapat dikembangkan sebagai *decision support system* bagi pemerintah daerah dalam perencanaan fasilitas kesehatan berbasis data. Pengembangan berikutnya dapat memasukkan waktu tempuh, kondisi lalu lintas, kapasitas pelayanan, dan proyeksi pertumbuhan penduduk sehingga model berpotensi mendukung perencanaan fasilitas publik yang lebih tepat sasaran, efisien, dan inklusif.

KESIMPULAN

Optimasi mengintegrasikan *Graph Theory*, algoritma Dijkstra, dan *Maximum Coverage Location Problem* (MCLP) untuk menentukan lokasi Puskesmas Pembantu (Pustu) berdasarkan aksesibilitas jaringan jalan dan distribusi penduduk. Pemodelan pada 34 desa dan 12 puskesmas eksisting menunjukkan 438.267 jiwa (95,28%) telah tercakup, sementara 21.715 jiwa di Cihideung Ilir dan Mekarjaya masih berada di luar batas pelayanan jaringan 3 km. Dengan skenario pembangunan

Vol. 7 No. 02, Oktober, 2026
p-ISSN: 2775-1856 e-ISSN: 2775-1864
Akreditasi SINTA 4

satu Pustu, MCLP memperoleh cakupan tambahan maksimum 11.994 jiwa, yang dicapai oleh empat kandidat: Babakan, Cibanteng, Cihideung Ilir, dan Neglasari. Optimasi hierarkis kemudian menggunakan jarak jaringan sebagai kriteria sekunder dan menetapkan Cihideung Ilir sebagai lokasi rekomendasi.

Penempatan satu Pustu di Cihideung Ilir meningkatkan penduduk tercakup menjadi 450.261 jiwa dan *coverage* menjadi 97,89%, atau meningkat 2,61 poin persentase. Hasil ini menunjukkan bahwa penentuan lokasi fasilitas kesehatan perlu mempertimbangkan konektivitas jaringan jalan, distribusi penduduk, dan keterbatasan fasilitas, bukan hanya kedekatan geografis atau jumlah desa.

DAFTAR PUSTAKA

Apparicio, P., Abdelmajid, M., Riva, M., & Shearmur, R. (2008). Comparing alternative approaches to measuring geographical accessibility to health services. *Health & Place*, *14*(2), 274–285. https://doi.org/10.1016/j.healthplace.2007.07.002.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. (2024a). *Kecamatan Ciampea dalam angka 2024*. BPS Kabupaten Bogor.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. (2024b). *Kecamatan Ciomas dalam angka 2024*. BPS Kabupaten Bogor.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. (2024c). *Kecamatan Dramaga dalam angka 2024*. BPS Kabupaten Bogor.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor. (2025). *Kabupaten Bogor dalam angka 2025*. BPS Kabupaten Bogor.

Boeing, G. (2017). OSMnx: New methods for acquiring, constructing, analyzing, and visualizing complex street networks. *Computers, Environment and Urban Systems*, *65*, 126–139. https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2017.05.004

Church, R., & ReVelle, C. (1974). The maximal covering location problem. *Papers of the Regional Science Association*, *32*(1), 101–118. https://doi.org/10.1007/BF01942293

Dijkstra, E. W. (1959). A note on two problems in connexion with graphs. *Numerische Mathematik*, *1*(1), 269–271. https://doi.org/10.1007/BF01386390

Guagliardo, M. F. (2004). Spatial accessibility of primary care: Concepts, methods and challenges. *International Journal of Health Geographics*, *3*(1), Artikel 3. https://doi.org/10.1186/1476-072X-3-3

Higgs, G. (2004). A literature review of the use of GIS-based measures of primary healthcare accessibility. *Health & Social Care in the Community*, *12*(2), 119–130. https://doi.org/10.1111/j.1365-2524.2004.00481.x

Mas'udah, I. (2023). Pemetaan aksesibilitas pelayanan gedung fasilitas kesehatan di Kabupaten Bojonegoro. *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, *1*(2), 32–39. https://doi.org/10.26740/viteks.v1i2.54958