

KLASTERISASI PENYEBARAN *BASE TRANSCEIVER STATION* MENGUNAKAN *K-MEANS CLUSTERING*

Agnes Irene Silitonga^{1*}, Mutiara Akbar Nasution², Anisa Fitri³,
Khesya Sabila Rizwinie⁴, Amar Hidayatullah⁵, Yoakim Simamora⁶

^{1,2,3,4,5} Bisnis Digital, Universitas Negeri Medan

⁶ Pendidikan Teknik Elektro, Universitas Negeri Medan

*agnesirenesilitonga@unimed.ac.id (corresponding author)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klusterisasi penyebaran *Base Transceiver Station* (BTS) 4G dan 5G di Sumatera Utara menggunakan *K-Means Clustering*. Data yang digunakan diperoleh dari sumber terbuka Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia. *Elbow Method* digunakan untuk menentukan jumlah kluster optimal, yaitu tiga kluster. Hasil analisis menunjukkan tiga kluster utama penyebaran BTS di Sumatera Utara: kluster dengan jumlah BTS sangat tinggi (Kota Medan dan Deli Serdang), kluster dengan jumlah BTS tinggi (Asahan, Langkat, Serdang Bedagai, dan Simalungun), dan kluster dengan jumlah BTS rendah (27 kabupaten/kota lainnya). Penelitian ini memberikan informasi berharga bagi pemerintah dan penyedia layanan telekomunikasi untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang membutuhkan perhatian khusus dalam pengembangan infrastruktur jaringan internet, sehingga dapat meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap layanan digital dan mengurangi kesenjangan digital di Sumatera Utara.

Kata kunci: *Base Transceiver Station, 4G, 5G, K-Means Clustering.*

ABSTRACT

This research aims to cluster the distribution of 4G and 5G Base Transceiver Stations (BTS) in North Sumatra using K-Means Clustering. The data used was obtained from open sources of the Ministry of Communication and Information of the Republic of Indonesia. The Elbow Method is used to determine the optimal number of clusters, namely three clusters. The analysis results show three main clusters of BTS distribution in North Sumatra: clusters with a very high number of BTS (Medan City and Deli Serdang), clusters with a high number of BTS (Asahan, Langkat, Serdang Bedagai, and Simalungun), and clusters with a low number of BTS (27 other districts/cities). This research provides valuable information for the government and telecommunications service providers to identify areas that require special attention in developing internet network infrastructure, so as to increase public accessibility to digital services and reduce the digital divide in North Sumatra.

Keywords: *Base Transceiver Station, 4G, 5G, K-Means Clustering.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi di Indonesia telah mendorong transformasi signifikan dalam berbagai sektor kehidupan. Salah satu aspek krusial dalam kemajuan TIK adalah penyebaran jaringan internet, terutama jaringan generasi keempat (4G) dan kelima (5G) yang menjanjikan kecepatan dan kapasitas yang lebih tinggi. Perkembangan teknologi jaringan 4G dan 5G di Indonesia juga menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan konektivitas dan aksesibilitas internet bagi masyarakat. Penyebaran jaringan 4G LTE di Indonesia dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi geografis, kepadatan penduduk, dan tingkat investasi menjadi penentu utama dalam distribusi infrastruktur jaringan (Fadhilurrahman et al., 2021).

Seiring dengan kemajuan teknologi, jaringan 5G mulai diperkenalkan di Indonesia. Meskipun masih dalam tahap awal, jaringan 5G menjanjikan kecepatan dan kapasitas yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan jaringan 4G, membuka peluang baru dalam berbagai sektor, termasuk industri, kesehatan, dan pendidikan. Namun, implementasi jaringan 5G juga menghadapi tantangan, seperti biaya investasi yang tinggi dan kebutuhan akan spektrum frekuensi yang memadai (Kurniawan, 2023). Selain itu, kesiapan regulasi dan adopsi teknologi oleh masyarakat juga menjadi faktor penting dalam keberhasilan implementasi jaringan 5G (Wibowo, 2022).

Penyebaran jaringan 4G dan 5G di Indonesia yang tidak merata menciptakan kesenjangan digital antar wilayah. Penelitian yang dilakukan oleh Rizky Fadillah dan

Sholahuddin (2022) tentang sebaran BTS 4G di Kabupaten Bandung Barat menunjukkan adanya variasi signifikan dalam ketersediaan infrastruktur jaringan di tingkat lokal (Fadillah & Sholahuddin, 2022). Penelitian ini menggunakan teknik analisis spasial untuk mengidentifikasi pola-pola sebaran BTS 4G dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sebaran BTS 4G di Kabupaten Bandung Barat tidak merata, dengan konsentrasi yang lebih tinggi di wilayah perkotaan. Selain itu, penelitian ini juga menunjukkan bahwa faktor-faktor seperti topografi dan penggunaan lahan memiliki pengaruh signifikan terhadap sebaran BTS.

Metode *clustering* telah banyak diadopsi dalam berbagai aplikasi analisis data dunia nyata (Dhanasekaran, 2019), seperti analisis perilaku pelanggan, analisis data medis, forensik digital, jaringan sensor nirkabel (Sasikumar & Khara, 2012), dan bidang lainnya. Analisis klustering juga menjadi cara yang efektif dalam pemetaan sebaran BTS (*Base Transceiver Station*) yang merupakan infrastruktur penting dalam penyediaan jaringan internet. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sholahuddin et al. (2020) menggunakan analisis klustering untuk memetakan sebaran BTS di Provinsi Jawa Barat diperoleh bahwa metode klustering dapat mengidentifikasi pola-pola sebaran BTS yang berbeda di berbagai wilayah, memberikan informasi berharga bagi perencanaan dan pengembangan infrastruktur jaringan, dan memberikan informasi yang berguna untuk pengambilan keputusan (Sholahuddin, 2020). Pemahaman mengenai pola penyebaran ini menjadi krusial untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang membutuhkan perhatian khusus dalam pengembangan infrastruktur jaringan internet.

K-Means Clustering merupakan salah satu algoritma klustering yang paling umum digunakan dan efektif untuk mengelompokkan wilayah berdasarkan kemiripan karakteristiknya sehingga data yang mempunyai karakteristik yang sama dimasukkan ke dalam klaster yang sama dan data yang berbeda dikelompokkan ke dalam klaster yang lain (Wibowo, 2022) (Fadillah & Sholahuddin, 2022). Algoritma ini bekerja

dengan cara mempartisi kumpulan data tertentu menjadi subset (*cluster*) yang terpisah atau telah ditentukan sebelumnya, di mana setiap titik dihitung jarak kuadratnya dari pusat *cluster* (*centroid*) yang bersangkutan dan kemudian menjumlahkan jarak tersebut untuk semua titik dalam kumpulan data (Likasa, 2003).

Sumatera Utara, sebagai salah satu provinsi di Indonesia, juga menunjukkan variasi dalam tingkat penyebaran jaringan internet antar kabupaten/kota. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan klaster penyebaran BTS (*Base Transceiver Station*) 4G dan 5G di Sumatera Utara menggunakan algoritma *K-Means Clustering*. Dengan mengidentifikasi klaster-klaster penyebaran BTS, diharapkan dapat diperoleh informasi berharga bagi pemangku kepentingan dalam perencanaan dan pengembangan infrastruktur jaringan internet di Sumatera Utara sehingga mengurangi kesenjangan digital dan meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap layanan digital.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan algoritma *K-Means Clustering* untuk mengelompokkan kabupaten / kota di Sumatera Utara berdasarkan kemiripan karakteristiknya dalam hal jumlah BTS 4G dan 5G. Adapun tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dimulai dari pengumpulan data, pra-pemrosesan data, analisis klaster (*K-Means Clustering*), dan interpretasi hasil.

1. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang diperoleh dari sumber terbuka, yaitu data infrastruktur telekomunikasi di daerah yang disediakan oleh Kementerian Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia (<https://data.kominfo.go.id/pendata/dataset/data-infrastruktur-telekomunikasi-di-daerah-jumlah-bts>). Data ini mencakup informasi mengenai jumlah BTS 2G, 3G, 4G, dan 5G di setiap kabupaten/kota di Indonesia. Data yang digunakan telah difilter untuk hanya mencakup provinsi Sumatera Utara dan jumlah BTS 4G dan 5G.

Tabel 1. Data yang digunakan

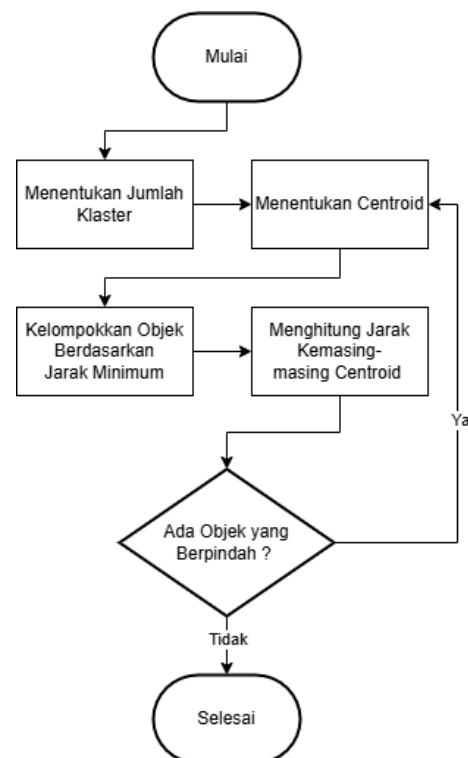
No	Kabupaten Kota	4G	5G
1	Asahan	1372	0
2	Batu Bara	658	0
3	Dairi	504	0
4	Deli Serdang	4207	1
5	Humbang Hasundutan	327	0
6	Karo	801	0
7	Kota Binjai	549	0
8	Kota Gunungsitoli	183	0
9	Kota Medan	5084	6
10	Kota Padang Sidempuan	419	0
11	Kota Pematangsiantar	602	0
12	Kota Sibolga	118	0
13	Kota Tanjung Balai	273	0
14	Kota Tebing Tinggi	375	0
15	Labuhanbatu	847	0
16	Labuhanbatu Selatan	561	0
17	Labuhanbatu Utara	620	0
18	Langkat	1875	0
19	Mandailing Natal	681	0
20	Nias	101	0
21	Nias Barat	79	0
22	Nias Selatan	305	0
23	Nias Utara	110	0
24	Padang Lawas	425	0
25	Padang Lawas Utara	312	0
26	Pakpak Bharat	80	0
27	Samosir	269	0
28	Serdang Bedagai	1245	0
29	Simalungun	1718	0
30	Tapanuli Selatan	414	0
31	Tapanuli Tengah	588	0
32	Tapanuli Utara	563	1
33	Toba Samosir	437	3

2. Analisis Data

Tahap analisis data terdiri dari beberapa langkah diantaranya:

1. Pra-pemrosesan data: Data dibersihkan dan dipersiapkan untuk analisis. Mengingat data yang digunakan sudah bersih dan tidak ada *missing values*, maka tidak diperlukan tahapan pra-pemrosesan data lebih lanjut.
2. Analisis kluster (*K-Means*): *K-Means* digunakan untuk mengelompokkan kabupaten/kota berdasarkan kemiripan karakteristiknya dalam hal jumlah BTS 4G dan 5G. Jumlah kluster optimal (*k*) ditentukan menggunakan *Elbow Method* yaitu metode yang digunakan untuk menentukan jumlah sebenarnya cluster dalam suatu kumpulan data (Kodinariya

& Makwana, 2013). *Elbow method* akan menghitung nilai inerti untuk setiap nilai *k* dari 1 hingga 10 (Handayani & Prasetyo, 2019). Nilai inerti adalah jumlah kuadrat jarak antara setiap titik data dengan pusat kluster terdekatnya. Kemudian, akan dibuat plot antara nilai *k* dan inerti. Titik "siku" pada plot ini, di mana penurunan inerti mulai melambat, dianggap sebagai nilai *k* yang optimal. Setelah nilai *k* optimal ditentukan, algoritma *K-Means Clustering* bekerja seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan K-Means Clustering

- a. Inisialisasi: Pilih secara acak *k* titik data sebagai *centroid* awal untuk *k* kluster.
- b. Penugasan Kluster: Hitung jarak *Euclidean* antara setiap titik data dengan masing-masing *centroid*. Rumus jarak *Euclidean* antara dua titik (*x*₁, *y*₁) dan (*x*₂, *y*₂) adalah:

$$D(i,j) = \sqrt{(X1i - X1j)^2 + (X2i - X2j)^2 + \dots + (Xki - Xkj)^2} \tag{1}$$

Ket: $D(i,j)$ = Jarak data ke *i* ke pusat cluster *j*
 X_{ki} = Titik Pusat ke *i* pada atribut data ke *k*
 X_{kj} = Titik pusat ke *j* pada atribut data *k*

- c. Tetapkan setiap titik data ke kluster yang *centroid*-nya memiliki jarak *Euclidean* terdekat.
 - d. Pembaruan *Centroid*: Hitung *centroid* baru untuk setiap kluster dengan cara menghitung rata-rata dari semua titik data yang termasuk dalam kluster tersebut.
 - e. Iterasi: Ulangi langkah 2 dan 3 hingga *centroid* tidak berubah secara signifikan atau mencapai jumlah iterasi maksimum yang ditentukan.
3. Interpretasi hasil: Hasil analisis kluster diinterpretasikan untuk mengidentifikasi pola-pola sebaran BTS 4G dan 5G di Sumatera Utara, melihat karakteristik tiap kluster yang terbentuk, serta membandingkan antarkluster.

b. Penugasan Kluster

Asahan

$$C1 = \sqrt{(1372 - 4207)^2 + (0 - 1)^2} = 2835$$

$$C2 = \sqrt{(1372 - 561)^2 + (0 - 0)^2} = 811$$

$$C3 = \sqrt{(1372 - 183)^2 + (0 - 0)^2} = 1189$$

Kota Medan

$$C1 = \sqrt{(5084 - 4207)^2 + (1 - 1)^2} = 877$$

$$C2 = \sqrt{(5084 - 561)^2 + (1 - 0)^2} = 4523$$

$$C3 = \sqrt{(5084 - 183)^2 + (1 - 0)^2} = 4901$$

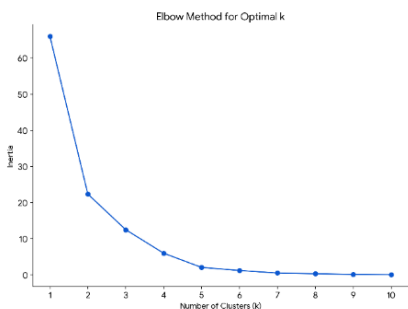
dst

c. *Euclidian* Terdekat
 Setelah mendapatkan hasil jarak *centroid* 3, berikut perhitungan jarak data dengan ke-3 *centroid* dapat dilihat pada Tabel 3.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Penentuan Kluster

Penentuan jumlah kluster optimal dilakukan menggunakan *Elbow Method*. Grafik *Elbow Method* pada gambar 2 menunjukkan bahwa penurunan nilai inertia mulai melambat secara signifikan pada k = 3. Oleh karena itu, jumlah kluster optimal untuk analisis ini adalah 3 yaitu Kluster 1 (Jumlah BTS Sangat Tinggi), Kluster 2 (Jumlah BTS Tinggi), Kluster 3 (Jumlah BTS Rendah).



Gambar 2. Grafik *Elbow Method*

2. Algoritma K-Means Clustering

a. Inisialisasi *Centroid*

Tabel 2. *Centroid* Awal

No	Kota/Kabupaten	Iterasi 1	4G	5G
1	Deli Serdang	<i>Centroid</i> 1	4207	1
2	Labuhanbatu Selatan	<i>Centroid</i> 2	561	0
3	Kota Gunungsitoli	<i>Centroid</i> 3	183	0

Tabel 3. Hasil Perhitungan Iterasi ke-1

No	Kabupaten / Kota	C1	C2	C3	Cluster
1	Asahan	2835	811	1189	2
2	Batu Bara	3549	97	475	2
3	Dairi	3703	57	321	2
4	Deli Serdang	0	3646	4024	1
5	Humbang Hasundutan	3880	234	144	3
6	Karo	3406	240	618	2
7	Kota Binjai	3658	12	366	2
8	Kota Gunungsitoli	4024	378	0	3
9	Kota Medan	877	4523	4901	1
10	Kota Padang Sidempuan	3788	142	236	2
11	Kota Pematangsi antar	3605	41	419	2
12	Kota Sibolga	4089	443	65	3
13	Kota Tanjung Balai	3934	288	90	3
14	Kota Tebing Tinggi	3832	186	192	2
15	Labuhanbatu	3360	286	664	2

16	Labuhanbatu Selatan	3646	0	378	2
17	Labuhanbatu Utara	3587	59	437	2
18	Langkat	2332	1314	1692	2
19	Mandailing Natal	3526	120	498	2
20	Nias	4106	460	82	3
21	Nias Barat	4128	482	104	3
22	Nias Selatan	3902	256	122	3
23	Nias Utara	4097	451	73	3
24	Padang Lawas	3782	136	242	2
25	Padang Lawas Utara	3895	249	129	3
26	Pakpak Bharat	4127	481	103	3
27	Samosir	3938	292	86	3
28	Serdang Bedagai	2962	684	1062	2
29	Simalungun	2489	1157	1535	2
30	Tapanuli Selatan	3793	147	231	2
31	Tapanuli Tengah	3619	27	405	2
32	Tapanuli Utara	3644	2	380	2
33	Toba Samosir	3770	124	254	2

$$C3 (5G) = \sqrt{\frac{0}{11}} = 0$$

Tabel 4. Centroid Iterasi ke-2

Iterasi 2	4G	5G
Centroid 1	4645,5	3,5
Centroid 2	762,7	0,2
Centroid 3	196	0

e. Perhitungan Iterasi ke-2

Kota Medan

$$C1 = \sqrt{(5084 - 4645,5)^2 + (1 - 3,5)^2} = 438,51$$

$$C2 = \sqrt{(5084 - 762,7)^2 + (1 - 0,2)^2} = 4321,3$$

$$C3 = \sqrt{(5084 - 196)^2 + (1 - 0)^2} = 4887,91$$

Tabel 5. Hasil Perhitungan Iterasi ke-2

No	Kabupaten / Kota	C1	C2	C3	Cluster
1	Asahan	3273,50	609,30	1175,91	2
2	Batu Bara	3987,50	104,70	461,91	2
3	Dairi	4141,50	258,70	307,91	2
4	Deli Serdang	438,51	3444,30	4010,91	1
5	Humbang Hasundutan	4318,50	435,70	130,91	3
6	Karo	3844,50	38,30	604,91	2
7	Kota Binjai	4096,50	213,70	352,91	2
8	Kota Gunungsitoli	4462,50	579,70	13,09	3
9	Kota Medan	438,51	4321,30	4887,91	1
10	Kota Padang Sidempuan	4226,50	343,70	222,91	3
11	Kota Pematangsiantar	4043,50	160,70	405,91	2
12	Kota Sibolga	4527,50	644,70	78,09	3
13	Kota Tanjung Balai	4372,50	489,70	76,91	3
14	Kota Tebing Tinggi	4270,50	387,70	178,91	3
15	Labuhanbatu	3798,50	84,30	650,91	2
16	Labuhanbatu Selatan	4084,50	201,70	364,91	2
17	Labuhanbatu Utara	4025,50	142,70	423,91	2
18	Langkat	2770,50	1112,30	1678,91	2
19	Mandailing Natal	3964,50	81,70	484,91	2
20	Nias	4544,50	661,70	95,09	3
21	Nias Barat	4566,50	683,70	117,09	3
22	Nias Selatan	4340,50	457,70	108,91	3
23	Nias Utara	4535,50	652,70	86,09	3

d. Pembaruan Centroid

Setelah mendapat hasil perhitungan dari iterasi pertama, hitung kembali titik pusat (*centroid*) untuk setiap cluster.

C1 iterasi 2 memiliki 2 data:

$$C1 (4G) = \sqrt{\frac{9291}{2}} = 4645,5$$

$$C1 (5G) = \sqrt{\frac{7}{2}} = 3,5$$

C2 iterasi 2 memiliki 20 data:

$$C2 (4G) = \sqrt{\frac{15254}{20}} = 762,7$$

$$C2 (5G) = \sqrt{\frac{4}{20}} = 0,2$$

C3 iterasi 2 memiliki 20 data

$$C3 (4G) = \sqrt{\frac{2157}{11}} = 196$$

24	Padang Lawas	4220,50	337,70	228,91	3	22	Nias Selatan	4340,50	1247,50	109,85	3
25	Padang Lawas Utara	4333,50	450,70	115,91	3	23	Nias Utara	4535,50	1442,50	304,85	3
26	Pakpak Bharat	4565,50	682,70	116,09	3	24	Padang Lawas	4220,50	1127,50	10,15	3
27	Samosir	4376,50	493,70	72,91	3	25	Padang Lawas Utara	4333,50	1240,50	102,85	3
28	Serdang Bedagai	3400,50	482,30	1048,91	2	26	Pakpak Bharat	4565,50	1472,50	334,85	3
29	Simalungun	2927,50	955,30	1521,91	2	27	Samosir	4376,50	1283,50	145,85	3
30	Tapanuli Selatan	4231,50	348,70	217,91	3	28	Serdang Bedagai	3400,50	307,50	830,15	2
31	Tapanuli Tengah	4057,50	174,70	391,91	2	29	Simalungun	2927,50	165,50	1303,15	2
32	Tapanuli Utara	4082,50	199,70	366,91	2	30	Tapanuli Selatan	4231,50	1138,50	0,86	3
33	Toba Samosir	4208,50	325,71	240,93	3	31	Tapanuli Tengah	4057,50	964,50	173,15	3
						32	Tapanuli Utara	4082,50	989,50	148,15	3
						33	Toba Samosir	4208,50	1115,50	22,33	3

f. Perhitungan Iterasi ke-8

Tabel 6. Perhitungan Iterasi ke-8

No	Kabupaten / Kota	C1	C2	C3	Cluster
1	Asahan	3273,50	180,50	957,15	2
2	Batu Bara	3987,50	894,50	243,15	3
3	Dairi	4141,50	1048,50	89,15	3
4	Deli Serdang	438,51	2654,50	3792,15	1
5	Humbang Hasundutan	4318,50	1225,50	87,85	3
6	Karo	3844,50	751,50	386,15	3
7	Kota Binjai	4096,50	1003,50	134,15	3
8	Kota Gunungsitoli	4462,50	1369,50	231,85	3
9	Kota Medan	438,51	3531,51	4669,15	1
10	Kota Padang Sidempuan	4226,50	1133,50	4,15	3
11	Kota Pematangsiantar	4043,50	950,50	187,15	3
12	Kota Sibolga	4527,50	1434,50	296,85	3
13	Kota Tanjung Balai	4372,50	1279,50	141,85	3
14	Kota Tebing Tinggi	4270,50	1177,50	39,85	3
15	Labuhanbatu	3798,50	705,50	432,15	3
16	Labuhanbatu Selatan	4084,50	991,50	146,15	3
17	Labuhanbatu Utara	4025,50	932,50	205,15	3
18	Langkat	2770,50	322,50	1460,15	2
19	Mandailing Natal	3964,50	871,50	266,15	3
20	Nias	4544,50	1451,50	313,85	3
21	Nias Barat	4566,50	1473,50	335,85	3

Iterasi berhenti di iterasi ke-8 karena tidak ada perubahan *cluster* yang terjadi dengan 2 daerah di *cluster* 1, 4 daerah di *cluster* 2, dan 27 daerah di *cluster* 3.

Berdasarkan hasil analisis kluster menggunakan algoritma *K-Means Clustering* dengan jumlah kluster optimal 3, ditemukan tiga kelompok utama berdasarkan jumlah BTS 4G dan 5G di Sumatera Utara. Kluster pertama, yang hanya terdiri dari Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang, memiliki jumlah BTS 4G dan 5G yang sangat tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa Kota Medan memiliki infrastruktur jaringan internet yang lebih maju dan dapat memberikan layanan internet yang lebih baik dibandingkan daerah lain di Sumatera Utara.

Kluster kedua terdiri dari empat kabupaten / kota, yaitu Asahan, Langkat, Serdang Bedagai, dan Simalungun, dengan jumlah BTS yang tinggi. Meskipun tidak setinggi Kota Medan, daerah-daerah ini memiliki potensi yang baik untuk menyediakan layanan internet yang memadai bagi masyarakatnya.

Kluster ketiga, yang mencakup sebagian besar kabupaten/kota di Sumatera Utara, memiliki jumlah BTS yang rendah. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Sumatera Utara masih menghadapi tantangan dalam penyediaan infrastruktur jaringan internet yang memadai. Keterbatasan jumlah BTS dapat menyebabkan sinyal yang lemah dan tidak stabil, sehingga

menghambat akses masyarakat terhadap layanan internet.

Perbedaan yang signifikan dalam jumlah BTS antar kluster ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kepadatan penduduk, kondisi geografis, dan tingkat pembangunan ekonomi. Kota Medan, sebagai ibu kota provinsi dan pusat kegiatan ekonomi, memiliki kebutuhan yang lebih tinggi akan layanan internet dibandingkan daerah lainnya. Selain itu, kondisi geografis yang lebih mudah dijangkau juga dapat mempermudah pembangunan infrastruktur jaringan di Kota Medan.

SIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil melakukan klustering penyebaran BTS 4G dan 5G di Sumatera Utara menggunakan algoritma *K-Means Clustering*. Dengan menggunakan *Elbow Method*, didapatkan jumlah kluster optimal sebanyak 3 kluster. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan dalam penyebaran BTS 4G dan 5G di Sumatera Utara. Kota Medan dan Kabupaten Deli Serdang memiliki jumlah BTS yang sangat tinggi, mengindikasikan potensi ketersediaan layanan internet yang sangat baik. Beberapa daerah lain memiliki jumlah BTS yang tinggi, menandakan potensi ketersediaan layanan internet yang baik. Namun, sebagian besar daerah lainnya memiliki jumlah BTS yang rendah, menunjukkan potensi ketersediaan layanan internet yang terbatas.

Penelitian ini memberikan informasi berharga bagi pemerintah dan penyedia layanan telekomunikasi untuk mengidentifikasi daerah-daerah yang membutuhkan perhatian khusus dalam pengembangan infrastruktur jaringan internet. Dengan memahami pola penyebaran BTS, diharapkan dapat dilakukan upaya yang lebih terarah untuk meningkatkan aksesibilitas masyarakat terhadap layanan digital dan mengurangi kesenjangan digital di Sumatera Utara.

Penelitian selanjutnya dapat mempertimbangkan faktor-faktor lain yang dapat mempengaruhi penyebaran BTS, seperti kepadatan penduduk, kondisi geografis, dan tingkat pembangunan ekonomi. Selain itu, penelitian selanjutnya juga dapat menggunakan algoritma *clustering* yang berbeda untuk melihat apakah hasilnya konsisten dengan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Fadhlurrahman, M.N., Alfarisi, M. S., dan Hilman, M. H. (2021). Analisis Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Penyebaran Jaringan 4G LTE di Indonesia. *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 10, no.2.
- Kurniawan, R. (2023). Tantangan dan Peluang Implementasi Jaringan 5G di Indonesia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, 15 (1), 55-62.
- Wibowo, A. 2022. Kesiapan Regulasi dan Adopsi Teknologi 5G di Indonesia. *Jurnal Kebijakan dan Manajemen Telekomunikasi*, 8 (3), 189-198.
- Fadillah, M. R., & Sholahuddin, A. 2022. Analisis Spasial Sebaran BTS 4G di Kabupaten Bandung Barat. *Jurnal Geodesi Undip*, 11(1).
- Dhanasekaran, S., Sundarajan, R., Murugan, B. S., Kalaivani, S., and Vasudevan, V. 2019. Enhanced Map Reduce Techniques for Big Data Analytics based on K-Means Clustering, in *2019 IEEE International Conference on Intelligent Techniques in Control, Optimization and Signal Processing, INCOS 2019*. doi: 10.1109/INCOS45849.2019.8951368.
- Sasikumar, P. & Khara, S. 2012. K-Means Clustering in Wireless Sensor Networks, in *2012 Fourth International Conference on Computational Intelligence and Communication Networks, CICN 2012*. doi: 10.1109/CICN.2012.136.
- Sholahuddin, A., Munir, R., and Wibawa, A. P. 2020. Analisis Klustering untuk Pemetaan Sebaran BTS di Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Ilmiah Geodesi Undip*, 9(1).
- Likasa, A., N. Vlassisb, and J. J. Verbeek. 2003. The Global K-Means Clustering Algorithm. *Pattern Recognition*, 36 (2), 451 – 461.
- Kodinariya, T.M., and Makwana, P. R. 2013. Review on determining number of

Cluster in K-Means Clustering”,
*International Journal of Advance
Research in Computer Science and
Management Studies*, 1 (6), 90 – 95.

Handayani, T. & Prasetyo, E. 2019. Optimasi
Jumlah Klaster pada Algoritma *K-Means*
dengan Metode *Elbow* dan *Silhouette*.
*Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu
Komputer (JTIK)*, 6 (2), 121 – 128.

Biografi Penulis

Penulis 1

Nama : Agnes Irene Silitonga
Asal instansi : Universitas Negeri Medan
Pendidikan : S2 Teknik Informatika
Fokus penelitian: Kecerdasan buatan dan
Big Data

Penulis 2

Nama : Mutiara Akbar Nasution
Asal instansi : Universitas Negeri Medan
Pendidikan : Mahasiswa S1 Bisnis
Digital
Fokus penelitian : *Big Data*

Penulis 3

Nama : Anisa Fitri
Asal instansi : Universitas Negeri Medan

Pendidikan : Mahasiswa S1 Bisnis
Digital
Fokus penelitian : *Big Data*

Penulis 4

Nama : Khesya Sabila Rizwinie
Asal instansi : Universitas Negeri Medan
Pendidikan : Mahasiswa S1 Bisnis
Digital
Fokus penelitian: *Big Data*

Penulis 5

Nama : Amar Hidayatullah
Asal instansi : Universitas Negeri Medan
Pendidikan : Mahasiswa S1 Bisnis
Digital
Fokus penelitian: *Big Data*

Penulis 6

Nama : Yoakim Simamora
Asal instansi : Universitas Negeri Medan
Pendidikan : S2 Teknik Elektro
Fokus penelitian: Telekomunikasi dan Sistem
Tenaga Listrik