



Klasterisasi Wilayah Jabodetabek Berdasarkan Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) dengan *Fuzzy C-Means*

Gina Amalia¹, Iftina Ika Rahmawati², Tiara Chairunnisa³, Robert Kurniawan⁴

^{1, 2, 3}Prodi Statistika, Politeknik Statistika STIS, Jakarta, Indonesia

⁴Prodi Komputasi Statistik, Politeknik Statistika STIS, Jakarta, Indonesia

¹ 212112077@stis.ac.id

² 212112104@stis.ac.id

³ 212112398@stis.ac.id

⁴ robertk@stis.ac.id

Corresponding author email: 212112104@stis.ac.id

Abstract: The high rate of urbanization in Indonesia has caused the Urban Heat Island (UHI) phenomenon, which is characterized by high temperatures in the city center compared to the surrounding areas. This phenomenon occurs in big cities such as Jakarta and the surrounding area which is often called Jabodetabek. The growth of urban population has attracted researchers to observe the UHI phenomenon through changes in surface temperature or Land Surface Temperature (LST) over the last two decades (2004 – 2023) in the region, then clustering in 2023 as the year of observation in the sub-districts included in Jabodetabek area based on variables related to LST, namely the Normalized Difference Built-up Index (NDBI), Enhanced Vegetation Index (EVI), and Modified Normalized Water Index (MNDWI). The application of the Fuzzy C-Means method shows better results than the K-Means method with a silhouette value of 0.702. The data obtained shows an increase in the minimum value of surface temperature from 2004 to 2023 in the Jabodetabek area. Meanwhile, the clustering results obtained 4 clusters with different LST averages. Jakarta, as the center of the Jabodetabek agglomeration area, has a high average LST, while the average LST tends to be low for areas further away from Jakarta.

Keywords: Urban Heat Island, LST, Jabodetabek

Abstrak: Tingginya laju urbanisasi di Indonesia menyebabkan terjadinya fenomena *Urban Heat Island* (UHI) yang ditandai dengan tingginya suhu di pusat kota dibandingkan dengan wilayah di sekitarnya. Fenomena ini terjadi di kota-kota besar seperti Jakarta dan wilayah sekitarnya yang sering disebut Jabodetabek. Adanya pertumbuhan penduduk perkotaan menarik peneliti untuk mengamati fenomena UHI melalui perubahan suhu permukaan atau *Land Surface Temperature* (LST) selama dua dekade terakhir (2004 – 2023) di wilayah tersebut, kemudian melakukan klasterisasi dengan tahun 2023 sebagai tahun observasi pada kecamatan-kecamatan yang termasuk dalam wilayah Jabodetabek berdasarkan variabel yang terkait dengan LST, yaitu *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), *Enhanced Vegetation Index* (EVI), dan *Modified Normalized Water Index* (MNDWI). Penerapan metode *Fuzzy C-Means* menunjukkan hasil yang lebih baik dibandingkan metode *K-Means* dengan nilai *silhouette* sebesar 0,702. Data yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan nilai minimum suhu permukaan sejak tahun 2004 hingga 2023 di wilayah Jabodetabek. Sementara hasil klasterisasi diperoleh 4 klaster dengan rata-rata LST yang berbeda. Jakarta sebagai pusat kawasan aglomerasi dari Jabodetabek memiliki rata-rata LST yang tinggi, sedangkan rata-rata LST cenderung rendah untuk wilayah yang semakin jauh dari Jakarta.

Kata kunci: *Urban Heat Island*, LST, Jabodetabek

I. PENDAHULUAN

Saat ini sebanyak 56,39% penduduk Indonesia hidup atau tinggal di perkotaan, sedangkan pada tahun 1980 hanya 22,3% penduduk Indonesia yang memilih menetap di perkotaan[1,2]. Hal ini menunjukkan laju urbanisasi yang cepat terjadi di Indonesia, salah satunya di kota besar seperti Jakarta. Banyaknya penduduk perkotaan akan berdampak pada berkurangnya lahan terbuka dan munculnya permasalahan lingkungan[3]. Risiko ini tidak hanya dihadapi oleh Jakarta, melainkan juga wilayah di sekitarnya, meliputi Kabupaten/Kota Bogor, Kota Depok, Kabupaten/Kota Tangerang dan Tangerang Selatan, serta Bekasi atau sering disingkat Jabodetabek.



Salah satu permasalahan lingkungan yang terjadi di perkotaan adalah *Urban Heat Island* (UHI). Sebuah kota mengalami UHI ketika suhu di dalam kota lebih hangat dibandingkan wilayah pedesaan di sekitarnya[4,5]. Hampir seluruh wilayah Jakarta cenderung memiliki suhu udara permukaan dan daratan yang lebih tinggi dibandingkan dengan wilayah sekitarnya baik di siang maupun malam hari[6,7]. Fenomena UHI, terutama dalam masa perubahan iklim global, dapat menyebabkan panas berlebihan yang berpengaruh terhadap energi, polusi, dan kesehatan. Panas yang berlebih di perkotaan berkaitan dengan peningkatan konsumsi energi pendingin, permintaan listrik yang tinggi, dan peningkatan konsentrasi ozon di permukaan tanah. Dalam kondisi suhu panas yang ekstrem baik di dalam maupun luar ruangan, fenomena ini dapat meningkatkan angka kesakitan dan kematian akibat panas[8]. Suhu permukaan yang naik dipercepat dengan adanya kawasan terbangun dan lahan tandus, sedangkan kawasan vegetasi dapat mengurangi suhu panas[8–10].

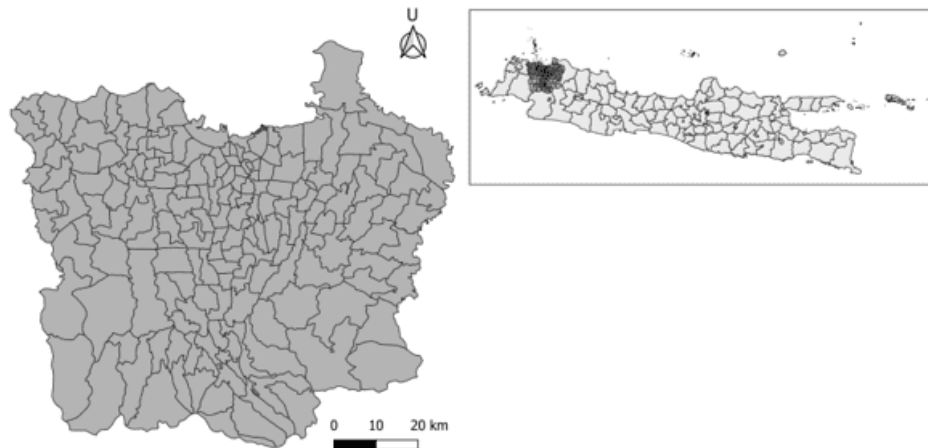
Land Surface Temperature (LST) atau suhu permukaan daratan digunakan untuk memantau fenomena UHI. Dalam penelitian terdahulu beberapa faktor memengaruhi perubahan LST seperti *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Normalized Difference Built-up Index* (NDBI), dan *Normalized Difference Water Index* (NDWI)[4]. NDVI digunakan untuk menggambarkan kondisi vegetasi dan kehijauan suatu kawasan. Nilai yang tinggi menunjukkan tutupan vegetasi yang tinggi dan sehat. Hubungan NDVI dengan LST bersifat negatif yang artinya seiring peningkatan tutupan vegetasi, LST akan menurun[12]. NDBI digunakan untuk mengidentifikasi kawasan lahan terbangun dan tandus di perkotaan. Nilai NDBI yang tinggi menunjukkan adanya pembangunan perkotaan yang padat dan berpengaruh pada meningkatnya LST[13]. NDWI biasanya digunakan untuk mengidentifikasi badan air berdasarkan refleksi yang diberikannya. Sungai dan danau dapat mengurangi radiasi panas, memperlancar sirkulasi medan panas, dan menghilangkan efek UHI dengan meningkatkan proses pengangkutan panas dan mendatangkan udara segar, sehingga dapat menyeimbangkan suhu perkotaan[11].

Wilayah Jakarta dan sekitarnya (Jabodetabek) teridentifikasi mengalami fenomena UHI berdasarkan pengamatan *spatiotemporal*[7]. Penelitian mengenai indeks pembangunan dan dampaknya terhadap UHI di Jabodetabek juga pernah dilakukan menggunakan model persamaan struktural dengan hasil signifikan[14]. Namun, belum diteliti lebih lanjut pola sebaran UHI wilayah Jabodetabek yang diukur dengan suhu permukaan (LST) serta beberapa variabel yang memengaruhinya. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan klasterisasi (*clustering*) wilayah kecamatan di Jabodetabek tahun 2023 berdasarkan variabel terkait LST. Apabila di penelitian sebelumnya variabel yang digunakan adalah NDVI dan NDWI, dalam penelitian ini akan menggunakan *Enhanced Vegetation Index* (EVI) dan *Modified Normalized Water Index* (MNDWI). EVI mirip dengan NDVI yang memiliki kegunaan untuk mengukur kehijauan vegetasi, tetapi EVI sudah mengoreksi beberapa kondisi atmosfer dan mengatasi gangguan di latar belakang kanopi[15]. Kemudian MNDWI lebih baik dalam memisahkan fitur dengan dan tanpa air sehingga akan menghasilkan ekstraksi fitur air terbuka yang lebih akurat dibandingkan NDWI[15,16]. Selain itu, akan dilakukan komparasi keadaan LST wilayah Jabodetabek tahun 2004, 2013, dan 2023 supaya didapatkan informasi perubahan LST dalam 20 tahun terakhir. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan kepada pengambil kebijakan dan perencana kota untuk mengembangkan perencanaan kota yang berkelanjutan.

II. METODE PENELITIAN

2.1. Fokus Penelitian

Penelitian ini berfokus pada wilayah Jabodetabek yang tertera dalam Gambar 1 dengan total sebanyak 183 kecamatan sebagai unit analisis di wilayah tersebut. Wilayah Jabodetabek terdiri dari Jakarta sebagai kota inti dan daerah sekitarnya yaitu Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi. Daerah-daerah tersebut terletak di tiga provinsi yakni DKI Jakarta, Jawa Barat, dan Banten.



Gambar 1. Peta Jabodetabek

2.2. Data dan Sumber Data

Dalam penelitian ini, digunakan dua citra landsat sebagaimana dituliskan dalam Tabel 1 yaitu Landsat 5 dan Landsat 8 yang diperoleh melalui *United States Geological Survey* (USGS). Landsat 5 digunakan untuk melakukan pengambilan data rata-rata LST pada tahun 2004. Sementara pada Landsat 8 dilakukan pengambilan data rata-rata LST untuk tahun 2013 dan 2023. Dengan tanggal awal dan akhir pengambilan untuk tiap tahun adalah 01 Januari dan 31 Desember.

Tabel 1. Data dan Sumber Data

Data	Tahun	Sensor
Landsat 5 (30m)	2004	TM
Landsat 8 (30m)	2013	OLI/TIRS
Landsat 8 (30m)	2023	OLI/TIRS

Tiga tahun tersebut dipilih untuk memungkinkan perbandingan suhu di Jabodetabek dalam kurun waktu 10 tahunan. Namun, data rata-rata LST pada tahun 2003 tidak dimungkinkan untuk diperoleh dikarenakan adanya awan yang menutupi hampir seluruh wilayah di Jabodetabek sehingga tahun 2004 dipilih sebagai tahun alternatif untuk perbandingan LST di Jabodetabek.

Data EVI, NDBI, dan MNDWI tahun 2023 dikumpulkan melalui citra Landsat 8. Rumus untuk perhitungan dari masing-masing index adalah sebagai berikut:

$$EVI = \frac{NIR-Red}{NIR+C_1(Red)-C_2(Blue)+L} \quad (1)$$

NDBI terbukti efektif dalam mengidentifikasi area terbangun[18]. NDBI yang tinggi umumnya menunjukkan wilayah dengan intensitas pembangunan perkotaan yang tinggi[4].

$$NDBI = \frac{MIR-NIR}{MIR+NIR} \quad (2)$$



MNDWI dapat memperjelas fitur perairan terbuka sambil secara efektif meredam dan bahkan menghilangkan gangguan dari lahan terbangun, vegetasi, dan tanah.

$$MNDWI = \frac{Green-MIR}{Green-MIR} \quad (3)$$

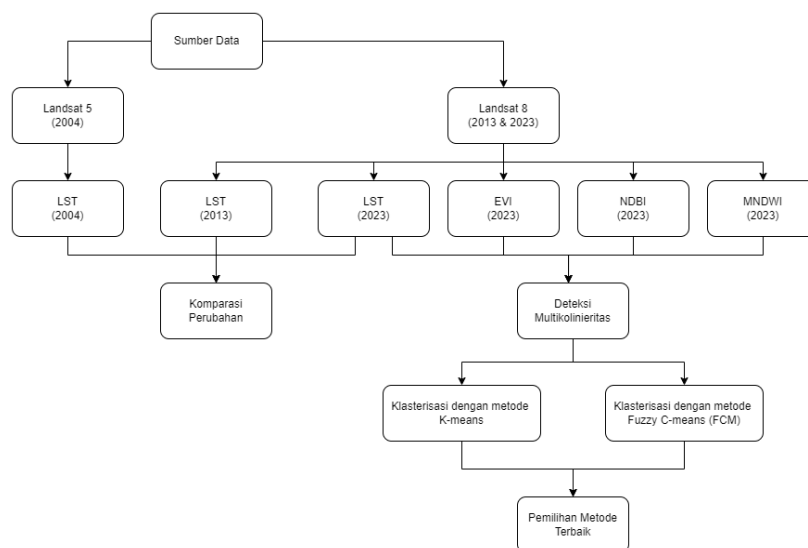
2.3. Metode

Data LST pada tahun 2004, 2013, dan 2023 dibandingkan dengan menggunakan visualisasi peta raster hasil pengambilan. Peta raster tersebut melalui *software* QGIS dipotong (*clip*) sehingga menghasilkan layer baru yang hanya berisi bagian yang berada di dalam batas layer potong yaitu wilayah Jabodetabek. Selanjutnya, dilakukan perbandingan secara visual perubahan-perubahan yang terjadi seperti perubahan nilai maksimum dan minimum LST dan pergeseran pusat LST maksimum. Diasumsikan kecamatan-kecamatan yang memiliki nilai LST yang tergolong tinggi bertambah tiap tahun dengan adanya faktor-faktor yang mendorong peningkatan LST di Jabodetabek.

Metode klusterisasi diterapkan diterapkan data LST, EVI, NDBI, dan MNDWI pada tahun 2023. Adapun langkah-langkah pengambilan dan pengolahan data disajikan dalam diagram alur pada Gambar 2. Proses preprosesing data yang dilakukan sebelum klusterisasi adalah melakukan standarisasi apabila variabel yang digunakan memiliki digit yang berbeda dan deteksi multikolinieritas, dimana syarat sebelum melakukan klusterisasi adalah tidak adanya kolinearitas antar variabel. Rumus untuk deteksi multikolinieritas[19]:

$$r = \frac{\sum(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{[\sum(X_i - \bar{X})^2 \sum(Y_i - \bar{Y})^2]^{1/2}} \quad (4)$$

Deteksi multikolinieritas dilakukan dengan menggunakan korelasi pearson. Koefisien ini menunjukkan seberapa kuat hubungan linier antara dua variabel acak. Jika nilainya positif (0 hingga 1), maka kedua variabel memiliki hubungan sejalan dan jika bernilai negatif (-1 hingga 0) hubungan antara keduanya berbanding terbalik. Korelasi yang lebih tinggi dari 0.95 mengindikasikan adanya kolinearitas yang tinggi[20].



Gambar 2. Alur Pengolahan



Klasterisasi suatu data secara klasik diartikan sebagai identifikasi bilangan bulat k , $2 \sim k < n$, dan partisi data dengan k himpunan bagian data yang saling eksklusif dan lengkap secara kolektif. Tidak ada kriteria klasterisasi atau ukuran kesamaan yang dapat diterapkan secara universal, dan pemilihan kriteria tertentu setidaknya sebagian bersifat subjektif, dan selalu terbuka untuk dipertanyakan[21]. Klasterisasi data memiliki banyak metode, beberapa diantaranya adalah metode *fuzzy clustering* dan *hard or crisp clustering*. Metode *fuzzy* mengelompokkan suatu objek kedalam klaster tertentu sampai tingkat tertentu (*degree*) sementara *hard or crisp* mengelompokkan objek hanya pada satu klaster tertentu dengan memaksimalkan kriteria optimalisasi yang diterapkan[22].

Berdasarkan[23] perbedaan mendasar antara *fuzzy* dengan *hard* adalah sebagai berikut:

$$M_{HCM} = \{u_{j,i} \in \{0,1\} \forall j, i \ 0 < \sum_{i=1}^n u_{i,j} < n \ \forall j; \sum_{j=1}^c u_{j,i} = 1 \ \forall i\} \quad (5)$$

$$M_{FCM} = \{u_{j,i} \in [0,1] \forall j, i \ 0 < \sum_{i=1}^n u_{i,j} < n \ \forall j; \sum_{j=1}^c u_{j,i} = 1 \ \forall i\} \quad (6)$$

Pada *hard clustering* contohnya *K-Means* suatu objek dapat menjadi anggota dari satu klaster dengan derajat keanggotaan (*degree of membership*) 0 atau 1. Sementara pada *fuzzy clustering* seperti *Fuzzy C-Means* (FCM) suatu objek memiliki derajat keanggotaan dari 0 hingga 1.

Metode *K-Means* merupakan salah satu bentuk *hard clustering* yang paling populer[24]. Ide dari metode ini adalah meminimumkan jarak (*dissimilarity*):

$$J_{HCM} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c \|x_k - v_i\|^2 \quad (7)$$

Metode ini menggunakan rata-rata (*means*) sebagai pusat klaster. Proses melakukan klasterisasi dengan metode *K-Means* adalah (i) diawali dengan menentukan jumlah klaster dinotasikan dengan k , (ii) memilih pusat klaster secara acak, (iii) menentukan suatu objek termasuk dalam satu klaster berdasarkan jarak objek terdekat dengan pusat klaster, (iv) menghitung rata-rata (*means*) sebagai pusat klaster, (v) mengulangi langkah (iii) dan (iv) hingga tidak ditemukan perubahan pusat klaster[25].

Sebagaimana metode *K-Means*, FCM juga meminimumkan jarak (*dissimilarity*):

$$J_{FCM} = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k - v_i\|^2 \quad (8)$$

Adapun algoritma yang digunakan dalam FCM tidak berbeda jauh dengan algoritma pada *K-Means*. Namun terdapat beberapa atribut yang membedakan FCM dengan *K-Means*. Berikut atribut dalam menghitung FCM[21]:

Derajat keanggotaan (u_{st})

$$u_{st} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{st}}{d_{jt}}\right)^{2/(m-1)}} \quad (9)$$

Cluster centroid (v_i)

$$v_i = \sum_{k=1}^n (u_{ik})^m x_k / \sum_{k=1}^n (u_{ik})^m \ \forall i \quad (10)$$



Weighting (m) atau juga disebut *fuzzifier* dimana $m \in [1, \infty)$ merupakan eksponensial yang diterapkan pada derajat keanggotaan. Apabila nilai m adalah 1 maka tidak ada perbedaan antara *K-Means* dengan FCM. Nilai m yang sering digunakan adalah 2[26].

Untuk menentukan kebaikan hasil klusterisasi dapat melihat nilai *Davies Bouldin Index* (DB) dan nilai *Silhouette Index*. Indeks DB merupakan rata-rata kemiripan tiap kluster. Suatu kluster diharapkan memiliki kemiripan seminimal mungkin dengan kluster yang lain, sehingga nilai DB yang minimum menunjukkan kluster yang lebih kompak dan terpisah dengan baik. Adapun nilai *Silhouette Index* mengukur jarak antara objek dengan klusternya dan jarak antara objek dengan kompok terdekatnya dengan besar nilai dari -1 hingga 1. Nilai indeks yang mendekati 1 menunjukkan bahwa objek telah diklusterkan dalam kluster yang tepat artinya jarak objek dengan klusternya signifikan lebih kecil dibandingkan jarak objek dengan kluster terdekatnya, nilai 0 menunjukkan bahwa objek berada di antara dua kluster, dan nilai indeks mendekati -1 mengindikasikan bahwa suatu objek tidak diklusterkan dengan tepat[27].

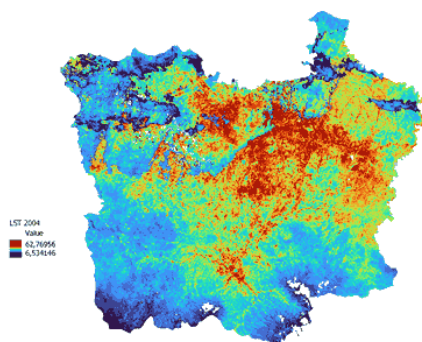
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

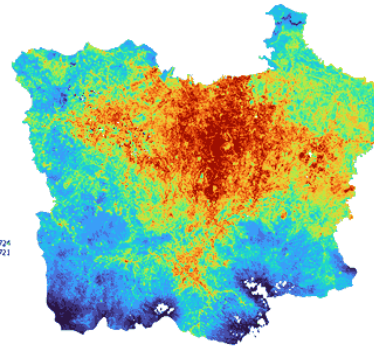
Peta *Land Surface Temperature* (LST) untuk wilayah Jabodetabek akan ditampilkan dengan referensi tahun 2004, 2013, dan 2023 untuk melihat adanya perubahan dari waktu ke waktu. Pada tahun 2004, berdasarkan Gambar 3a dapat diketahui bahwa secara umum masih banyak wilayah yang berwarna hijau dan biru artinya rata-rata LST masih rendah. Kemudian diketahui nilai minimum dari LST yang tercatat adalah 6,53 derajat Celsius. Wilayah yang berwarna merah gelap diidentifikasi merupakan wilayah Jakarta, Bekasi, Kota Bogor, dan Kota Tangerang. Wilayah yang berwarna hijau dan biru Sebagian besar mencakup Kabupaten Bekasi, Kabupaten Bogor, dan Kabupaten Tangerang.

Pada tahun 2013, berdasarkan Gambar 3b dapat diketahui bahwa wilayah yang berwarna hijau dan biru mulai berkurang terutama di Jabodetabek bagian Utara yang meliputi Kabupaten Tangerang dan Kabupaten Bekasi. Hal ini mengindikasikan rata-rata LST mulai meningkat di beberapa wilayah. Kemudian diketahui nilai minimum dari LST yang tercatat adalah 13,99 derajat Celsius. Wilayah yang berwarna merah gelap terlihat lebih pekat dan terpusat di wilayah Jakarta dan Kota Depok. Wilayah yang berwarna hijau dan biru di tahun ini lebih banyak di daerah Selatan yakni Kabupaten Bogor dan sedikit di ujung Barat Kabupaten Tangerang.

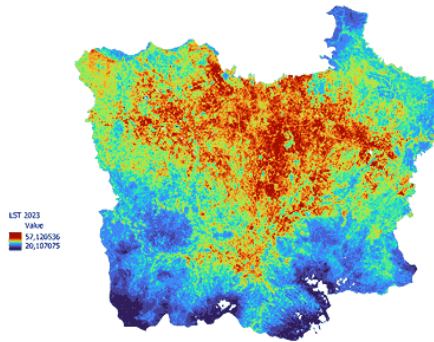
Pada tahun 2023, berdasarkan Gambar 3c dapat diketahui bahwa wilayah yang berwarna biru masih didominasi Kabupaten Bogor bagian Selatan, sedangkan wilayah Kabupaten Tangerang bagian Barat yang sebelumnya berwarna biru kini berganti menjadi hijau. Hal ini mengindikasikan rata-rata LST mulai meningkat di wilayah Kabupaten Tangerang. Kemudian diketahui nilai minimum dari LST yang tercatat adalah 20,10 derajat Celsius. Wilayah yang berwarna merah gelap mulai menyebar ke dua arah yakni Barat dan Timur. Arah Barat meliputi Kota Tangerang Selatan, Kota Tangerang, dan Kabupaten Tangerang bagian Selatan. Kemudian arah Timur meliputi Kota Bekasi dan Kabupaten Bekasi bagian Selatan.



Gambar 3a.



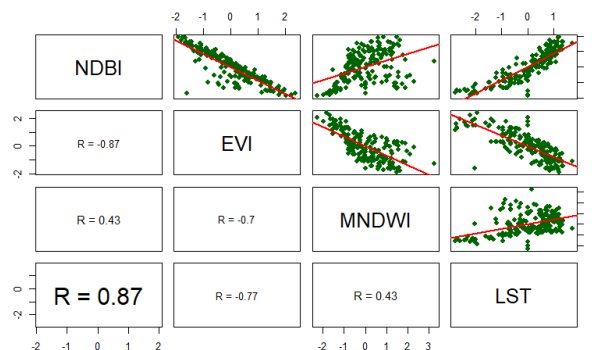
Gambar 3b.



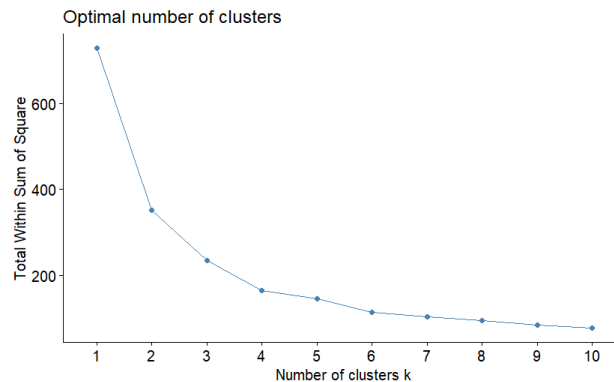
Gambar 3c.

Gambar 3. Peta LST Jabodetabek: (3a) tahun 2004 (3b) tahun 2013 (3c) tahun 2023

Setelah melihat analisis pada peta LST antar tahun, selanjutnya akan dilakukan klusterisasi. Sebelum melakukan klusterisasi perlu dilakukan pemeriksaan multikolinearitas. Identifikasi multikolinearitas dilakukan dengan korelasi Pearson. Multikolinearitas terjadi ketika nilai koefisien korelasi lebih dari 0,95[20]. Hasil identifikasi multikolinearitas ditampilkan pada Gambar 4. Dapat dilihat bahwa tidak terdapat korelasi yang lebih dari 0,95 sehingga dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat adanya multikolinearitas sehingga dapat dilanjutkan untuk klusterisasi.



Gambar 4. Corrplot



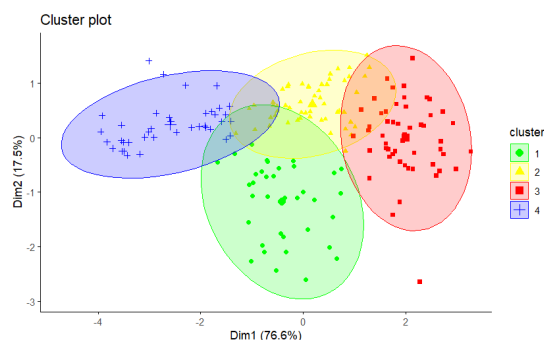
Gambar 5. Pemilihan Jumlah Kluster Optimal

Berdasarkan Gambar 5, jumlah kluster optimal yang dihasilkan dengan metode *within sum square* (wss) sebanyak empat kluster. Hal tersebut ditandai dengan garis pada plot yang mulai melandai setelah kluster yang berjumlah empat.

Tabel 2. Perbandingan Validasi Hasil Klusterisasi

Metode	<i>K-Means</i>	<i>Fuzzy C-Means</i>
Silhouette Index	0,106	0,702
Davies Bouldin Index	1,653	1,605

Perbandingan evaluasi kluster antara *K-Means* dan FCM dapat dilihat pada Tabel 2. Penelitian ini menggunakan *Silhouette Index* dan *Davies Bouldin Index* untuk melihat metode klusterisasi yang lebih baik. Hasil menunjukkan bahwa metode FCM memiliki *Silhouette Index* yang lebih tinggi dibandingkan metode *K-Means*, sedangkan *Davies Bouldin Index* dari FCM lebih rendah dibandingkan *K-Means*. Dari kedua indeks ini dapat diketahui bahwa FCM lebih tepat untuk digunakan untuk melakukan klusterisasi.



Gambar 6. Cluster Plot

Visualisasi *cluster plot* pada Gambar 6 menggunakan metode FCM menghasilkan sebanyak 4 kluster. Kluster 1 terdiri dari 36 observasi, kluster 2 mencakup 55 observasi, kluster 3 berisi 53 observasi, dan kluster 4 terdiri dari 39 observasi. Letak kluster 4 berjauhan dengan kluster 3 yang berarti kluster tersebut memiliki nilai yang jauh berbeda, hal ini dapat dibuktikan melalui hasil pada tabel 3. Beberapa observasi dalam kluster 4 memiliki kemungkinan untuk bergabung dengan kluster 1 dan kluster 2, sementara beberapa observasi dalam kluster 1 dan 2 berpotensi bergabung



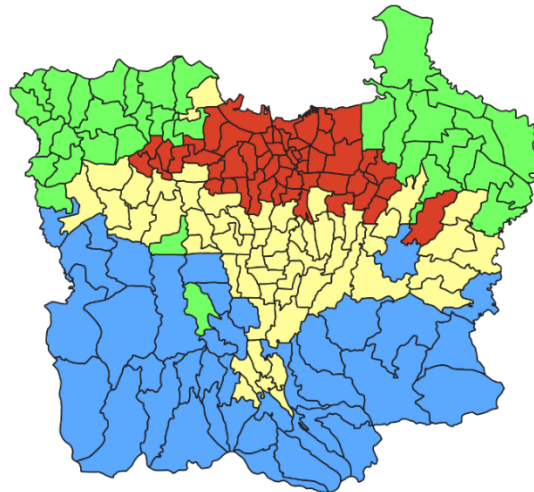
dengan tiga klaster lainnya. Selain itu, beberapa observasi dalam klaster 4 juga memiliki kemungkinan untuk bergabung dengan klaster 2.

Tabel 3. Nilai Rata-Rata Hasil Klasterisasi

Klaster	Nilai Rata-rata			
	LST	NDBI	EVI	MNDWI
1	38,20	-0,21	0,30	-0,26
2	41,44	-0,10	0,28	-0,39
3	43,04	-0,01	0,17	-0,31
4	34,25	-0,25	0,42	-0,45

Melalui Tabel 3 dapat diketahui bahwa rata-rata LST tertinggi berada pada klaster 3 dan terendah pada klaster 4. NDBI juga menunjukkan nilai tertinggi pada klaster 3 dan terendah pada klaster 4. Sementara itu, EVI tertinggi berada pada klaster 4 dan terendah pada klaster 3. Adapun MNDWI tertinggi ditemukan pada klaster 1 dan terendah pada klaster 4.

Ketika hasil dari *cluster plot* dimuat ke dalam peta maka akan menghasilkan visualisasi seperti Gambar 7. Berdasarkan Gambar 7 diketahui bahwa klaster 3 didominasi oleh kecamatan yang berada di Provinsi DKI Jakarta, klaster 2 didominasi oleh kecamatan yang berada di Kabupaten Depok. Sementara kecamatan-kecamatan yang berada di Kabupaten Tangerang dan Bekasi mendominasi klaster 1 dan Kabupaten Bogor mendominasi klaster 4. Rincian kecamatan yang tergolong ke dalam masing-masing klaster tercantum pada Gambar 7.



Klaster 1
Daftar Kecamatan:

- | | |
|--------------------|--------------------|
| 1. Cisoka | 19. Sukatani |
| 2. Cisauk | 20. Muara Gembong |
| 3. Sindang Jaya | 21. Neglasari |
| 4. Balaraja | 22. Benda |
| 5. Jayanti | 23. Ciseeng |
| 6. Sukamulya | 24. Pasarkemis |
| 7. Kresek | 25. Gunung Kaler |
| 8. Mekar Baru | 26. Kronjo |
| 9. Sukadiri | 27. Mauk |
| 10. Rajeg | 28. Kemiri |
| 11. Sepatan | 29. Kedungwaringin |
| 12. Sepatan Timur | 30. Karangbahagia |
| 13. Pakuhaji | 31. Cibitung |
| 14. Teluknaga | 32. Tambun Utara |
| 15. Cikarang Timur | 33. Babelan |
| 16. Tarumajaya | 34. Sukakarya |
| 17. Tambelang | 35. Pebayuran |
| 18. Sukawangi | 36. Cabangbungin |

Klaster 2

Daftar Kecamatan:

- | | | |
|----------------------|-------------------|--------------------|
| 1. Cileungsi | 20. Serpong | 39. Cibinong |
| 2. Tigaraksa | 21. Ciputat | 40. Bojong Gede |
| 3. Cikupa | 22. Ciputat Timur | 41. Ciomas |
| 4. Panongan | 23. Pondok Aren | 42. Jagakarsa |
| 5. Curug | 24. Serpong Utara | 43. Kosambi |
| 6. Kelapa Dua | 25. Jatisampurna | 44. Cikarang Utara |
| 7. Legok | 26. Pondokmelati | 45. Cikarang Pusat |
| 8. Pagedangan | 27. Jatiasih | 46. Tambun Selatan |
| 9. Serang Baru | 28. Bantargebang | 47. Pasar Minggu |
| 10. Cikarang Selatan | 29. Mustikajaya | 48. Bogor Timur |
| 11. Cibarusah | 30. Sawangan | 49. Cilandak |
| 12. Pinang | 31. Sukmajaya | 50. Bogor Utara |
| 13. Bogor Tengah | 32. Cilodong | 51. Setu |
| 14. Bogor Barat | 33. Cimanggis | 52. Pancoran Mas |
| 15. Tanah Sareal | 34. Tapos | 53. Pamulang |
| 16. Pasar Rebo | 35. Beji | 54. Bojongsari |
| 17. Ciracas | 36. Limo | 55. Cipayung |
| 18. Cipayung | 37. Cinere | |
| 19. Makasar | 38. Gunung Putri | |

Klaster 3

Daftar Kecamatan:

- | | | |
|----------------------|-------------------|-----------------------|
| 1. Larangan | 19. Cakung | 37. Ciledug |
| 2. Karang Tengah | 20. Pulo Gadung | 38. Cikarang Barat |
| 3. Cipondoh | 21. Matraman | 39. Tangerang |
| 4. Karawaci | 22. Menteng | 40. Kembangan |
| 5. Pesanggrahan | 23. Senen | 41. Grogol Petamburan |
| 6. Jati Uwung | 24. Kemayoran | 42. Tanah Abang |
| 7. Cibodas | 25. Sawah Besar | 43. Johar Baru |
| 8. Periuk | 26. Gambir | 44. Cempaka Putih |
| 9. Kebayoran Lama | 27. Kebon Jeruk | 45. Tambora |
| 10. Batucapeper | 28. Palmerah | 46. Penjaringan |
| 11. Kebayoran Baru | 29. Taman Sari | 47. Pondokgede |
| 12. Mampang Prapatan | 30. Cengkareng | 48. Kelapa Gading |
| 13. Pancoran | 31. Kali Deres | 49. Bekasi Selatan |
| 14. Tebet | 32. Pademangan | 50. Cilincing |
| 15. Setia Budi | 33. Tanjung Priok | 51. Bekasi Barat |
| 16. Kramat Jati | 34. Koja | 52. Medan Satria |
| 17. Jatinegara | 35. Bekasi Timur | 53. Bekasi Utara |
| 18. Duren Sawit | 36. Rawalumbu | |

Klaster 4

Daftar Kecamatan:

- | | | |
|-----------------|-------------------|--------------------|
| 1. Nanggung | 14. Klapanunggal | 27. Cigudeg |
| 2. Leuwiliang | 15. Solear | 28. Sukajaya |
| 3. Leuwisadeng | 16. Jambe | 29. Jasinga |
| 4. Pamijahan | 17. Cibungbulang | 30. Tenjo |
| 5. Ciampea | 18. Dramaga | 31. Parung Panjang |
| 6. Tenjolaya | 19. Megamendung | 32. Ciawi |
| 7. Tamansari | 20. Citeureup | 33. Cisarua |
| 8. Cijeruk | 21. Tajur Halang | 34. Sukaraja |
| 9. Cigombong | 22. Kemang | 35. Babakan Madang |
| 10. Caringin | 23. Rancabungur | 36. Sukamakmur |
| 11. Cariu | 24. Parung | 37. Bogor Selatan |
| 12. Tanjungsari | 25. Gunung Sindur | 38. Bojongmangu |
| 13. Jonggol | 26. Rumpin | 39. Setu |

Gambar 7. Cluster Map



3.2. Pembahasan

Berdasarkan visualisasi LST Jabodetabek tahun 2004 (Gambar 3a), 2013 (Gambar 3b), dan 2023 (Gambar 3c), hal yang paling nyata berbeda adalah nilai minimum dari jangkauan LST. Pada tahun 2004 nilai minimum LST sebesar 6,53 derajat Celsius kemudian di tahun 2013 meningkat ke angka 13,99 derajat Celsius, dan terakhir di tahun 2023 nilai minimum LST sebesar 20,10 derajat Celsius. Peningkatan minimum LST ini mengindikasikan adanya perubahan kondisi permukaan di beberapa wilayah yang bisa menyebabkan peningkatan rata-rata suhu permukaan.

Wilayah yang memiliki *Land Surface Temperature*(LST) atau rata-rata suhu permukaan yang tinggi berada pada klaster ketiga. Selain memiliki suhu permukaan yang tinggi, klaster ketiga juga memiliki rata-rata NDBI yang tinggi, rata-rata EVI terendah, dan rata-rata MNDWI tertinggi kedua. Karakteristik klaster ketiga ini menunjukkan bahwa rata-rata suhu permukaan yang tinggi diikuti dengan pembangunan wilayah (NDBI) yang tinggi pula dengan tutupan vegetasi (EVI) rendah dan air permukaan (MNDWI) yang cukup banyak. Klaster ketiga mencakup seluruh kecamatan di Provinsi Jakarta dan beberapa kecamatan di Kota Tangerang dan Kota Bekasi yang bersinggungan langsung dengan wilayah Jakarta. Jakarta sebagai kota megapolitan mengalami percepatan urbanisasi sehingga pembangunan kota terus meningkat dari tahun ke tahun. Sebagian kawasan hutan telah dikonversi menjadi sawah dan lahan kering yang dominan digunakan untuk pembangunan wilayah[28]. Penurunan tutupan vegetasi ini menyebabkan peningkatan yang pesat pada suhu permukaan[12]. Namun, pada penelitian ini keberadaan air permukaan tidak menurunkan suhu permukaan. Pada wilayah jabodetabek hampir tidak terdapat hubungan antara air permukaan dengan suhu permukaan, ditunjukkan melalui nilai korelasi yang arahnya positif dan rendah. Tingginya tingkat pembangunan wilayah serta sedikitnya badan air dan ruang hijau di Jakarta berbeda dengan penelitian terdahulu yang menyatakan bahwa keberadaan badan air dan ruang hijau mampu meredam suhu permukaan[29].

Sementara itu, wilayah yang memiliki rata-rata suhu permukaan yang rendah berada pada klaster keempat. Selain suhu permukaan yang rendah, klaster keempat memiliki rata-rata MNDWI dan rata-rata NDBI yang rendah dengan rata-rata EVI tertinggi. Nilai NDBI yang rendah berarti pembangunan wilayah dalam klaster empat ini tergolong rendah sehingga suhu permukaannya turut rendah. Kemudian tingginya EVI menandakan daerah tutupan vegetasinya masih sangat tinggi. Tutupan vegetasi penting bagi pengendalian suhu permukaan karena dengan adanya tutupan lahan maka efek pendinginan dari evapotranspirasi bisa optimal[12]. Namun, wilayah di klaster ini memiliki air permukaan yang sedikit. Adapun mengenai air permukaan yang relatif sedikit disebabkan oleh MNDWI tidak mampu mendeteksi badan air kecil yang terletak dalam lahan basah dengan lebih banyak bayangan vegetasi [30]. Klaster empat ini didominasi oleh Kabupaten Bogor yang wilayahnya cukup jauh dari pusat kota Jakarta.

Adapun wilayah dengan suhu permukaan diantara suhu permukaan tinggi dan rendah terdapat pada klaster pertama dan kedua. Klaster pertama memiliki rata-rata variabel MNDWI tertinggi, rata-rata EVI tertinggi kedua, rata-rata NDBI dan rata-rata LST terendah kedua. Klaster kedua memiliki rata-rata MNDWI dan rata-rata EVI terendah kedua, serta rata-rata NDBI dan rata-rata LST tertinggi kedua. Wilayah yang berdekatan dengan provinsi DKI Jakarta (klaster kedua) memiliki suhu permukaan dan pembangunan wilayah yang cukup tinggi. Seiring dengan pembangunan yang terjadi di Jakarta, daerah-daerah sekitarnya seperti Bogor, Depok, Tangerang, dan Bekasi juga mengalami perkembangan pesat. Kawasan hutan di Bogor semakin berkurang akibat perluasan area terbangun yang cepat. Demikian pula, lahan kering dan sawah di Depok,



Bekasi, dan Tangerang banyak yang dikonversi menjadi area terbangun seperti pemukiman[28]. Perubahan ini tidak hanya berdampak pada penurunan tutupan lahan vegetasi, tetapi juga berkontribusi signifikan terhadap peningkatan suhu permukaan di wilayah tersebut. Peningkatan pembangunan dan penurunan area hijau memperburuk efek *urban heat island* dan mengurangi kemampuan lingkungan untuk menyerap panas, yang pada akhirnya berdampak pada kualitas hidup penduduk setempat dan kesehatan ekosistem[12,13].

Keempat klaster yang telah terbentuk memiliki karakteristik masing-masing. Namun, secara umum wilayah yang berada di pusat kota dan sekitarnya memiliki rata-rata suhu permukaan yang tinggi dan teridentifikasi sebagai daerah yang terbangun dengan tutupan vegetasi rendah. Kemudian wilayah dengan rata-rata suhu permukaan yang rendah dan teridentifikasi sebagai daerah yang kurang terbangun dengan tutupan vegetasi yang tinggi merupakan wilayah yang berada jauh dari Jakarta sebagai pusat aglomerasi Jabodetabek. Selain itu, diketahui bahwa daerah Kabupaten Bogor yang sebagian besar wilayahnya memiliki rata-rata suhu permukaan terendah di antara empat klaster merupakan dataran tinggi dengan rata-rata *Digital Elevation Model* atau ketinggian wilayah sebesar 364,77 meter di atas permukaan laut (mdpl). Sebaliknya di Jakarta dengan wilayah yang memiliki rata-rata suhu permukaan tinggi, rata-rata ketinggian wilayahnya berkisar antara 6-31 mdpl. Hal ini mengindikasikan bahwa wilayah yang tinggi cenderung memiliki rata-rata suhu permukaan yang lebih rendah[12].

IV. KESIMPULAN

Sejak tahun 2004 hingga tahun 2023 terdapat peningkatan *Land Surface Temperatur* (LST) atau suhu permukaan di Jabodetabek. Hal ini ditunjukkan dengan meningkatnya suhu minimum yaitu 6,53 derajat Celsius pada tahun 2004 menjadi 20,10 derajat Celsius pada tahun 2023. Sementara itu proses klasterisasi memberikan hasil empat klaster sebagai jumlah klaster maksimum dimana setiap klaster memiliki suhu permukaan yang berbeda. Jakarta sebagai pusat kawasan aglomerasi Jabodetabek memiliki rata-rata suhu permukaan yang tinggi dan tergabung dalam satu klaster. Sementara itu, semakin jauh suatu wilayah dari Jakarta semakin rendah suhu permukaannya, dalam hal ini Kabupaten Bogor merupakan wilayah terjauh dan tergabung dalam satu klaster tersendiri.

REFERENSI

1. Badan Pusat Statistik, “Penduduk Indonesia Hasil Long Form Sensus Penduduk 2020,” 2023, [Daring]. Tersedia pada: <http://link.springer.com/10.1007/978-3-319-59379-1%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-420070-8.00002-7%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.ab.2015.03.024%0Ahttps://doi.org/10.1080/07352689.2018.1441103%0Ahttp://www.chile.bmw-motorrad.cl/sync/showroom/lam/es/>
2. Badan Pusat Statistik, “Hasil Sensus Penduduk 2000,” no. 26, hal. 1–11, 2002.
3. E. Rustiadi, A. E. Pravitasari, Y. Setiawan, S. P. Mulya, D. O. Pribadi, dan N. Tsutsumida, “Impact of continuous Jakarta megacity urban expansion on the formation of the Jakarta-Bandung conurbation over the rice farm regions,” *Cities*, vol. 111, hal. 103000, 2021, doi: 10.1016/j.cities.2020.103000.
4. K. Getu dan H. G. Bhat, “Quantifying Spatio-temporal dynamics of land surface temperature for the rapidly growing city of Bahir Dar, Northwest Ethiopia using multidated Landsat data,” *Phys. Chem. Earth*, vol. 134, no. August 2022, hal. 103543, 2024, doi: 10.1016/j.pce.2024.103543.
5. A. Tzavali, J. P. Paravantis, G. Mihalakakou, A. Fotiadi, dan E. Stigka, “Heat island phenomenon and cool roofs mitigation strategies in a small city of elevated temperatures,” *Adv. Build. Energy Res.*, vol. 8, no. 1, hal. 55–62, 2014, doi: 10.1080/17512549.2014.890537.
6. S. B. Rushayati, L. B. Prasetyo, N. Puspaningsih, dan E. Rachmawati, “Adaptation Strategy Toward Urban Heat Island at Tropical Urban Area,” *Procedia Environ. Sci.*, vol. 33, no. in 1997, hal. 221–229, 2016, doi: 10.1016/j.proenv.2016.03.073.



7. S. Siswanto *dkk.*, “Spatio-temporal characteristics of urban heat Island of Jakarta metropolitan,” *Remote Sens. Appl. Soc. Environ.*, vol. 32, no. February, hal. 101062, 2023, doi: 10.1016/j.rsase.2023.101062.
8. M. Santamouris, “Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change,” *Energy Build.*, vol. 207, 2020, doi: 10.1016/j.enbuild.2019.109482.
9. S. B. A. Bakar, B. Pradhan, U. S. Lay, dan S. Abdullahi, “Spatial assessment of land surface temperature and land use/land cover in Langkawi Island,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 37, no. 1, 2016, doi: 10.1088/1755-1315/37/1/012064.
10. N. Kayet, K. Pathak, A. Chakrabarty, dan S. Sahoo, “Spatial impact of land use/land cover change on surface temperature distribution in Saranda Forest, Jharkhand,” *Model. Earth Syst. Environ.*, vol. 2, no. 3, hal. 1–10, 2016, doi: 10.1007/s40808-016-0159-x.
11. L. Yang, F. Qian, D. X. Song, dan K. J. Zheng, “Research on Urban Heat-Island Effect,” *Procedia Eng.*, vol. 169, hal. 11–18, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.10.002.
12. W. Ullah *dkk.*, “Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region,” *Heliyon*, vol. 9, no. 2, hal. e13322, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon.2023.e13322.
13. I. Prasasti, . Suwarsono, dan N. M. Sari, “the Effect of Environmental Condition Changes on Distribution of Urban Heat Island in Jakarta Based on Remote Sensing Data,” *Int. J. Remote Sens. Earth Sci.*, vol. 12, no. 1, hal. 27, 2017, doi: 10.30536/j.ijreses.2015.v12.a2670.
14. T. Sarker, P. Fan, J. P. Messina, N. Mujahid, E. Aldrian, dan J. Chen, “Impact of Urban built-up volume on Urban environment: A Case of Jakarta,” *Sustain. Cities Soc.*, vol. 105, no. November 2023, hal. 105346, 2024, doi: 10.1016/j.scs.2024.105346.
15. USGS, “Landsat Enhanced Vegetation Index.” <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-enhanced-vegetation-index> (diakses 6 Juli 2024).
16. H. Xu, “Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery,” *Int. J. Remote Sens.*, vol. 27, no. 14, hal. 3025–3033, 2006, doi: 10.1080/01431160600589179.
17. M. A. Günen dan U. H. Atasever, “Remote sensing and monitoring of water resources: A comparative study of different indices and thresholding methods,” *Sci. Total Environ.*, vol. 926, no. November 2023, hal. 172117, 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.172117.
18. C. Fan dan Z. Wang, “Spatiotemporal Characterization of Land Cover Impacts on Urban Warming: A Spatial Autocorrelation Approach,” *Remote Sensing*, vol. 12, no. 10. 2020. doi: 10.3390/rs12101631.
19. J. Lee Rodgers dan W. A. Nicewander, “Thirteen Ways to Look at the Correlation Coefficient,” *Am. Stat.*, vol. 42, no. 1, hal. 59–66, Feb 1988, doi: 10.1080/00031305.1988.10475524.
20. R. R. Hocking, “Collinearity in Multiple Linear Regression,” in *Methods and Applications of Linear Models*, 2003, hal. 151–192. doi: <https://doi.org/10.1002/0471434159.ch5>.
21. J. C. Bezdek, *Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms*. Springer Science & Business Media, 2013.
22. S. Theodoridis dan K. Koutroumbas, “Chapter 12 - Clustering Algorithms I: Sequential Algorithms,” S. Theodoridis dan K. B. T.-P. R. (Fourth E. Koutroumbas, Ed. Boston: Academic Press, 2009, hal. 627–652. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-272-0.50014-1>.
23. I. J. Sledge, J. C. Bezdek, T. C. Havens, dan J. M. Keller, “Relational Generalizations of Cluster Validity Indices,” *IEEE Trans. Fuzzy Syst.*, vol. 18, no. 4, hal. 771–786, 2010, doi: 10.1109/TFUZZ.2010.2048114.
24. S. Theodoridis dan K. Koutroumbas, “Chapter 14 - Clustering Algorithms III: Schemes Based on Function Optimization,” S. Theodoridis dan K. B. T.-P. R. (Fourth E. Koutroumbas, Ed. Boston: Academic Press, 2009, hal. 701–763. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-272-0.50016-5>.
25. R. O. Duda, P. E. Hart, dan D. G. Stork, *Pattern classification and scene analysis*, vol. 3. Wiley New York, 1973.
26. J. C. Dunn, “A Fuzzy Relative of the ISODATA Process and Its Use in Detecting Compact Well-Separated Clusters,” *J. Cybern.*, vol. 3, no. 3, hal. 32–57, Jan 1973, doi: 10.1080/01969727308546046.
27. S. Theodoridis dan K. Koutroumbas, “Chapter 16 - Cluster Validity,” S. Theodoridis dan K. B. T.-P. R. (Fourth E. Koutroumbas, Ed. Boston: Academic Press, 2009, hal. 863–913. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-1-59749-272-0.50018-9>.
28. E. Rustiadi, D. O. Pribadi, A. E. Pravitasari, G. S. Indraprahasta, dan L. S. Iman, “Jabodetabek Megacity: From City Development Toward Urban Complex Management System BT - Urban Development Challenges, Risks and Resilience in Asian Mega Cities,” R. B. Singh, Ed. Tokyo: Springer Japan, 2015,



Seminar Nasional Sains Data 2024 (SENADA 2024)
UPN “Veteran” Jawa Timur

E-ISSN 2808-5841
P-ISSN 2808-7283

- hal. 421–445. doi: 10.1007/978-4-431-55043-3_22.
29. M. Ramaiah, R. Avtar, dan M. M. Rahman, “Land cover influences on LST in two proposed smart cities of india: Comparative analysis using spectral indices,” *Land*, vol. 9, no. 9, 2020, doi: 10.3390/LAND9090292.
 30. Q. Sun dan J. Li, “A method for extracting small water bodies based on DEM and remote sensing images,” *Sci. Rep.*, vol. 14, no. 1, hal. 1–11, 2024, doi: 10.1038/s41598-024-51346-7.