

Perbandingan Algoritma K-Means dan Fuzzy C-Means untuk Clustering Citra Daun Melon

Ardinsyah Siregar^{1,*}, Agus Buono², Karlisa Priandana³

Departemen Ilmu Komputer, FMIPA, Ilmu Komputer, Institut Pertanian Bogor, Bogor, Indonesia

Email: ^{1,*}ardinsiregar@apps.ipb.ac.id, ²agusbuono@apps.ipb.ac.id, ³karlisa@apps.ipb.ac.id

Email Penulis Korespondensi: ardinsiregar@apps.ipb.ac.id

Submitted: 15/11/2022; Accepted: 22/12/2022; Published: 30/12/2022

Abstrak– Tanaman melon merupakan tanaman yang rentan terhadap penyakit, baik penyakit yang disebabkan oleh virus maupun yang disebabkan oleh bakteri. Salah satu bagian tanaman yang dapat terkena penyakit adalah daun. Daun pada tanaman yang sakit umumnya berubah warna yang kemudian akan mempengaruhi daun lain dan menghambat perkembangan dan pertumbuhan tanaman tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan penyakit tanaman melon dari citra daun melon. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah 160 citra daun melon yang akan dikelompokkan menjadi beberapa kelompok dari kelompok sehat hingga kelompok tidak sehat. Metode yang digunakan adalah metode Clustering, yaitu: algoritma K-Means dan algoritma Fuzzy C-Means. Hasil Clustering menggunakan K-Means dan Fuzzy C-Means dapat dibandingkan untuk mendapatkan hasil Clustering terbaik. Hasil perbandingan menunjukkan metode Fuzzy C-Means Clustering dengan nilai validasi 0,8359 dan metode K-Means Clustering dengan nilai validasi 0,5793. Hasil akhir menunjukkan bahwa metode Fuzzy C-Means Clustering lebih baik daripada metode K-Means Clustering dikarenakan nilai validasinya bernilai mendekati 1.

Kata Kunci: Clustering; Citra; Daun Melon; Fuzzy C-Means; K-Means

Abstract– Melon plants are plants that are susceptible to disease, both diseases caused by viruses and those caused by bacteria. One part of the plant that can be affected by the disease is the leaves. Leaves on diseased plants generally change color which will then affect other leaves and inhibit the development and growth of these plants. This study aims to classify melon plant diseases from melon leaf images. The data used in this study are 160 images of melon leaves which will be grouped into several groups from the healthy group to the unhealthy group. The method used is the Clustering method, namely: K-Means algorithm and Fuzzy C-Means algorithm. Clustering results using K-Means and Fuzzy C-Means can be compared to get the best clustering results. The comparison results show the Fuzzy C-Means Clustering method with a validation value of 0.8359 and the K-Means Clustering method with a validation value of 0.5793. The final result shows that the Fuzzy C-Means Clustering method is better than the K-Means Clustering method because the validation value is close to 1.

Keywords: Clustering; Fuzzy C-Means; Image, K-Means; Melon Leave

1. PENDAHULUAN

Tanaman melon merupakan tanaman semusim yang termasuk tumbuhan yang merambat, tanaman ini memiliki akar tunggang yang ditumbuhi akar-akar serabut pada ujungnya serta mempunyai daun yang warnanya hijau, permukaan lebar, lebar dengan lima sudut. Daun tersusun berselang-seling pada ruas-ruas pada batangnya [1]. Dalam proses penanamannya, tanaman melon tidak terlepas dari penyakit baik dari virus maupun dari bakteri. Salah satu bagian tanaman yang dapat terkena penyakit, yaitu daun [2]. Tanaman yang berkurangnya fotosintesis dapat diakibatkan oleh infeksi virus maupun bakteri seperti daun yang berkurangnya klorofil, penurunan efektivitas klorofil, atau berkurangnya daerah daun, dan penurunan zat dalam pengontrol perkembangan tanaman [3]. Daun pada tanaman yang sakit pada biasanya mengalami perubahan warna yang kemudian akan mempengaruhi daun sekitarnya serta mengganggu perkembangan dan pertumbuhan pada tanaman tersebut [4].

Deteksi awal dari kesehatan daun pada melon dapat menggunakan deteksi menggunakan data gambar. Tentunya data gambar yang digunakan harus diolah dahulu dengan pengolahan citra digital sehingga pemrosesan dapat berfokus hanya pada daun [5]. Oleh sebab itu, digunakan suatu metode untuk mengolah citra digital yang dapat mengambil ciri dari objek citra daun sehingga daun dapat diklasifikasikan menjadi daun sehat dan daun tidak sehat.

Klasifikasi daun dapat dilakukan apabila kelas data daun telah diketahui. Apabila kelas data belum diketahui, maka klasifikasi terhadap objek citra daun tidak dapat dilakukan secara langsung. Dalam hal ini, diperlukan teknik *clustering* terlebih dahulu untuk dapat mengelompokkan data berdasarkan fitur data. Beberapa metode *Clustering* yang bisa digunakan pada pengelompokkan data citra, yaitu: teknik *Density-Based Spatial Clustering of Applications with Noise* (DBSCAN), SBAC (*Similarity-Based Agglomerative Clustering*), algoritma *Fuzzy C-Means*, serta algoritma *K-Means* [6].

Penelitian sebelumnya telah dilakukan dengan membandingkan *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* untuk mengelompokkan data *user knowledge modeling* menunjukkan bahwa hasil validasi PCI *Fuzzy C-Means* bernilai 0,2854 lebih baik dari pada validasi SI *K-Means* bernilai 0,1866 dikarenakan nilai validasinya bernilai mendekati 1 [7]. Penelitian selanjutnya oleh Andika dan Hafiz melakukan perbandingan metode *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* dalam melakukan segmentasi citra menunjukkan bahwa algoritma *K-Means* menghasilkan segmentasi untuk identifikasi yang lebih baik dari pada *Fuzzy C-Means* [8]. Penelitian lainnya oleh Yohannes dengan menganalisa perbandingan algoritma *Fuzzy C-Means* dan *K-Means* untuk klusterisasi data menunjukkan bahwa *K-Means* lebih cepat dibandingkan dengan *Fuzzy C-Means* dari segi waktu klusterisasi, sedangkan *Fuzzy C-Means* lebih baik dalam hal komputasi untuk pengelompokan data [9] dan penelitian yang dilakukan oleh syarif *et al* 2018 mengenai

perbandingan menggunakan algoritma *K-Means* dan *Fuzzy C-Means* dalam *clustering* moda transportasi berbasis GPS menunjukkan jarak terkecil data moda transportasi dengan pusat *cluster*. Sedangkan pada algoritma FCM pengelompokan diperoleh dari nilai derajat keanggotaan terbesar. Setelah dilakukan pengujian sebanyak 10 kali, didapatkan rata-rata akurasi *K-Means* sebesar 58,46154 dan 70,86538 untuk algoritma FCM. Sedangkan untuk nilai *Silhouette Coefficient* diperoleh rata-rata 0,4582670 untuk *K-Means* dan 0,440682 untuk algoritma FCM. Dari hasil pengujian, disimpulkan bahwa algoritma FCM lebih unggul dibandingkan *K-Means* [10], dengan membandingkan penelitian sebelumnya terdapat perbedaan yaitu validasi dengan membandingkan kedua metode tersebut dengan menghasilkan suatu *cluster* yang terbaik.

Oleh sebab itu diperlukan metode algoritma *clustering* untuk mengelompokkan citra daun berdasarkan fitur yang telah diseleksi yaitu algoritma *Fuzzy C-Means* dan *K-Means* dan membandingkan kualitas suatu *cluster* sehingga mudah untuk dapat mengelompokkan suatu data citra menurut kesehatan daun tersebut. *Fuzzy C-Means* merupakan teknik *clustering* yang membolehkan satu bagian data memiliki setidaknya dua atau lebih dari tiap-tiap kelompok [7]. Manfaat utama *fuzzy C-Means* yaitu bisa memberikan hasil pengelompokkan data yang mengalir secara tidak terarah, karena apabila ada informasi yang penyebarannya tidak dapat diprediksi, dapat dibayangkan bahwa suatu titik informasi memiliki sifat atau karakter yang dimulai dari pengelompokan yang berbeda [11]. Sedangkan *K-Means* adalah metode yang sederhana dan cepat perhitungannya dibandingkan menggunakan algoritma *Clustering* lainnya. Algoritma ini memiliki kelebihan praktis diterapkan dan dijalankan, relatif cepat, praktis buat untuk diadaptasi, dan paling banyak digunakan [12].

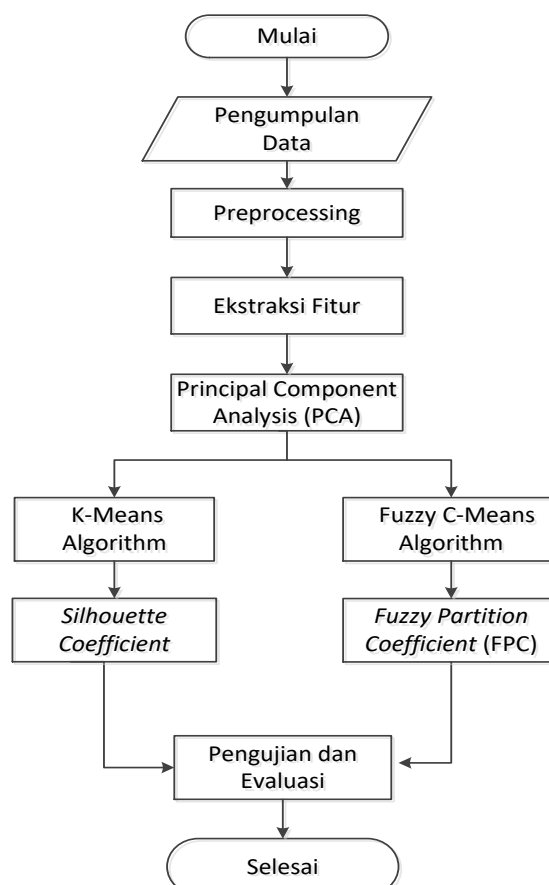
2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Data Penelitian

Dataset yang digunakan meliputi 160 data citra daun tanaman melon. Tanaman melon tersebut dibudidayakan di *greenhouse* IPB University. Pengambilan data citra dilakukan menggunakan kamera *handphone* resolusi *HD 48 MP*.

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dirancang beberapa proses tahapan diantaranya, yaitu: pengumpulan data citra daun melon, *preprocessing*, ekstraksi fitur, reduksi dimensi data *Principal Component Analysis* (PCA), *clustering* menggunakan *K-Means*, *clustering* menggunakan *Fuzzy C-Means*, pengujian dan evaluasi. Gambar 1 menunjukkan rancangan tahapan penelitian.



Gambar 1. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian

Pada gambar di atas menunjukkan tahapan-tahapan penelitian yang telah dilakukan pada penelitian yaitu: pengumpulan data citra daun melon, *preprocessing*, ekstraksi fitur, reduksi dimensi data *Principal Component Analysis* (PCA), *clustering* menggunakan *K-Means*, *clustering* menggunakan *Fuzzy C-Means*, pengujian dan evaluasi.

a. Pengumpulan Data



Gambar 2. Data Daun Melon

Pada gambar 2, data yang dipakai adalah data berupa citra daun melon yang diambil dari *greenhouse* iSurf. Data gambar berasal dari tanaman-tanaman dengan kondisi yang bervariasi mulai dari daun yang sehat sampai dengan daun yang sakit dengan posisi pengambilan gambar yang berbeda-beda. Pengambilan data menggunakan *handphone* menghasilkan sebanyak 160 (seratus enam puluh) data citra daun melon.

b. *Preprocessing*

Tahap *preprocessing* dilakukan dengan mengubah data citra daun yang telah dikumpulkan agar dapat menjadi informasi yang akan digunakan untuk pengolahan selanjutnya. Langkah awal tahapan *preprocessing* adalah *cropping*, yaitu: memotong sebagian objek di area gambar tertentu agar dapat memisahkan objek yang satu dengan lainnya, kemudian menghilangkan *background* di sekitar citra daun dengan latar belakang putih agar objek citra dapat dikenali. Setelah itu, dilanjutkan dengan *resize* yaitu mengubah ukuran pixel citra menjadi lebih kecil agar citra lebih cepat diproses dan tidak banyak menghabiskan memori penyimpanan.

c. Ekstraksi Fitur

Setelah tahapan *preprocessing*, ekstraksi fitur akan dilakukan terhadap citra daun melon. Ekstraksi fitur merupakan proses untuk melihat nilai-nilai ciri yang terdapat pada suatu citra. Fitur yang digunakan pada ekstraksi fitur adalah fitur ukuran, yaitu: panjang dan lebar, fitur warna yaitu nilai variasi merah (R), hijau (G), dan biru (B), dan fitur tekstur berupa *contras*, *energy*, *homogeneity*, *correlation*, dan *dissimilarity*. Ekstraksi fitur menghasilkan nilai yang telah diekstrak akan digunakan untuk proses pelatihan.

d. Reduksi Dimensi Data PCA

Principal Component Analysis (PCA) merupakan sebuah metode yang membentuk suatu variabel-variabel yang baru dengan jumlah tidak lebih dari variabel lama serta merupakan kombinasi linier dari variabel-variabel lama. PCA dipergunakan buat kebutuhan ekstraksi fitur pada citra dimana bisa terjadi jumlah ukuran citra jauh lebih besar daripada beberapa banyak jumlah data contoh yang dipergunakan [13]. Nilai-nilai *principal component* berasal dari dua variabel baru yang utama dapat pergunakan sebagai masukan variabel untuk data *Clustering* berikutnya.

e. *K-Means Clustering*

K-Means adalah algoritma pengelompokan dengan bekerja dengan cara membagi data menjadi partisi serta banyak digunakan dan sangat populer [14]. *K-Means* melakukan pekerjaan dengan mengumpulkan data-data dalam beberapa kelompok, sebuah data digabungkan pada satu kelompok sesuai dengan kesamaan ataupun kedekatan ciri dengan data yang berbeda yang ada didalam kelompok tersebut [15].

f. *Silhouette Coefficient*

Silhouette Coefficient merupakan salah satu teknik evaluasi yang digunakan untuk menentukan kualitas sebuah *cluster*. Dalam proses perhitungannya, teknik ini menggunakan rumus *Euclidean distance* [16].

g. *Fuzzy C-Means Clustering*

Fuzzy C-Means merupakan metode *clustering* dimana membolehkan satu bagian data mempunyai dua atau lebih kelompok. Konsep utama *Fuzzy C-Means* adalah untuk memilih pusat kelompok menunjukkan area rata-rata untuk setiap kelompok [17]. Masing-masing data memiliki derajat keanggotaan pada setiap *cluster* dengan cara memperbarui *cluster center* dan *value* dari keanggotaan setiap *data* secara berulang, sehingga dapat dihasilkan *cluster center* menuju posisi tempat yang tepat. *Looping* ini berdasarkan suatu nilai minimum fungsi obyektif [18]

h. *Fuzzy Partition Coefficient*

Bedzek (1981) mengusulkan validasi *fuzzy clustering* dengan mengevaluasi nilai keanggotaan data di setiap *cluster* dengan menghitung koefisien partisi atau PC Terlepas dari vektor (data), yang biasanya berisi informasi

geometris, nilai FPC hanya mengevaluasi nilai dari derajat keanggotaan. Nilai pada rentang [0, 1] menunjukkan bahwa kualitas kluster yang diperoleh semakin baik seiring dengan mendekati nilai 1 [19].

i. Pengujian dan Evaluasi

Pada tahap ini pengujian dilakukan dengan membandingkan kinerja *K-Means* dengan *Fuzzy C-Means Clustering* dengan *K-Means* dievaluasi menggunakan rumus *Silhouette Coefficient* seperti rumus 1.

$$s_i = \frac{(b_i - a_i)}{\max(b_i, a_i)} \tag{1}$$

Dengan S_i adalah *Silhouette Coefficient*, a_i adalah rata-rata jarak asal objek i menggunakan semua objek yang berada di *cluster* yang sama, b_i adalah nilai terkecil dari rata-rata jarak objek i dengan objek lain di *cluster* yang tidak sinkron [20]

Nilai *Shilouette coefficient* pada rentang (-1) sampai 1. Semakin meningkat nilainya, maka semakin baik kualitasnya. Sedangkan *Fuzzy C-Means Clustering* dievaluasi menggunakan rumus *Partition Coefficient* seperti rumus 2.

$$PC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k \mu_{ij}^2 \tag{2}$$

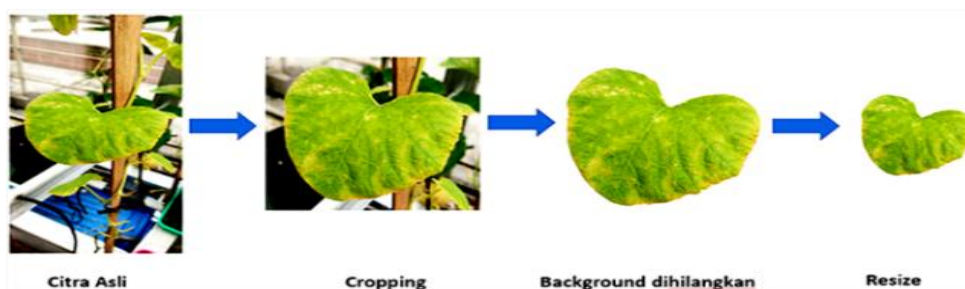
Dengan PC adalah *Partition Coefficient*, N adalah jumlah data pada set data, K adalah jumlah *cluster*, μ_{ij} adalah nilai keanggotaan data ke-1 pada *cluster* ke-j [21].

Nilai *Partition Coefficient* mempunyai nilai batas 0 sampai 1, nilai yang mendekati angka 1(satu) artinya memiliki keunggulan *cluster* yang dihasilkan akan sangat bagus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Preprocessing

Hasil *preprocessing* citra daun melon ditunjukkan pada Gambar 3. Citra asli di-*crop* kemudian *background* diubah menjadi warna putih. Selanjutnya, dilakukan *resize* dengan penskalaan citra dari 6000 x 8000pixel ke 700 x 582 pixel. Hal ini bertujuan agar kontur daun primer dapat terekstraksi dengan baik.



Gambar 3. Hasil Proprocessing citra daun

3.2 Ekstraksi Fitur

Citra hasil *preprocessing* diekstrak sehingga menghasilkan nilai yang muncul dan selanjutnya dipakai untuk data pengelompokkan. Hasil dari ekstraksi fitur akan diperoleh nilai-nilai dari fitur ukuran, fitur warna dan fitur tekstur selanjutnya akan diproses reduksi dimensi data menggunakan metode PCA. Hasil ekstraksi fitur dapat ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Ekstraksi Fitur

	Panjang X	Panjang Y	Luas	Keliling	R	G	B	contrast	energy	homogeneity	correlation	dissimilarity
0	573	636	364428	2418	199	215	191	0,007518	0,707356	0,996240791	0,98472444	0,00751842
1	661	693	458073	2708	203	221	193	0,020364	0,693683	0,989818051	0,95917871	0,0203639
2	643	657	422451	2600	165	195	137	0,010992	0,702426	0,994504117	0,97782695	0,01099177
3	587	566	332242	2306	179	198	153	0,009536	0,700804	0,995231768	0,98090523	0,00953646

Pada tabel 1 di atas menunjukkan Hasil dari ekstraksi fitur akan diperoleh nilai-nilai dari fitur ukuran, fitur warna dan fitur tekstur selanjutnya akan diproses reduksi dimensi data menggunakan metode PCA.

3.3 Reduksi dimensi data PCA

Hasil reduksi dimensi data PCA pada ekstraksi fitur adalah dua variabel baru yaitu PCA_0 dan PCA_1 yang selanjutnya digunakan untuk pembentukan *clustering* seperti pada Tabel 2.

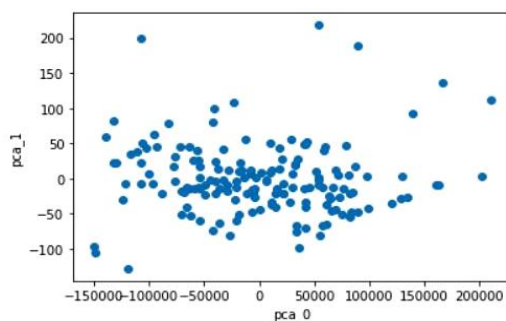
Tabel 2. Tabel Hasil reduksi dimensi data PCA

Daun_Id	pca_0	pca_1
0	-3134,38009	48,5964854
1	90511,10097	-9,940607023
2	54888,92619	-26,89880504

Pada tabel 2 menunjukkan Hasil reduksi dimensi data PCA pada ekstraksi fitur adalah dua variabel baru yaitu PCA_0 dan PCA_1 yang selanjutnya digunakan untuk pembentukan *clustering*

3.4 K- Means Clustering

Adapun hasil pengujian *cluster K-Means* sebelum pembentukan kelas ditunjukkan pada gambar 4.

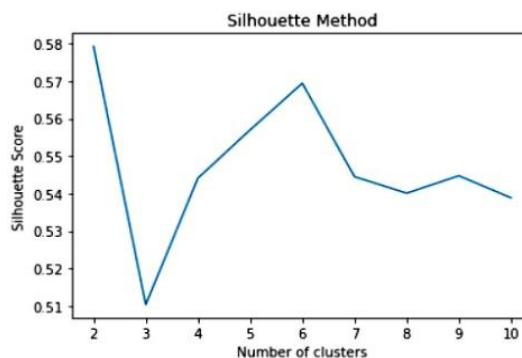


Gambar 4. Hasil *K-Means Clustering*

Pada gambar 4 menunjukkan visualisasi data dalam bentuk *scatter plot*, yaitu penyebaran data sebelum terbentuknya pengelompokan pada *K-Means Clustering*.

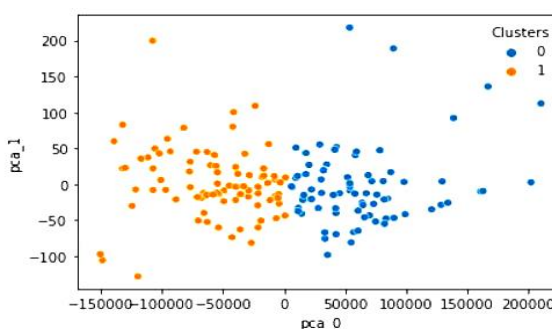
3.5 Silhouette Coefficient

Percobaan *Silhouette Coefficient* digunakan untuk dapat menentukan *cluster* dengan kualitas yang baik. *Silhouette Coefficient* dibuat dengan melihat jarak data dalam kelompok yang sama menggunakan jarak data pada kelompok yang berbeda.



Gambar 5. Grafik pengujian nilai *Silhouette Coefficient*

Untuk menentukan jumlah *cluster* terbaik, digunakan *Silhouette Coefficient*. Hasil perhitungan *Silhouette Coefficient* untuk beberapa jumlah *cluster* ditunjukkan pada Gambar 5. nilai *Silhouette Coefficient*, yaitu 0.5793 dengan jumlah *cluster* terbaik adalah $k = 2$.

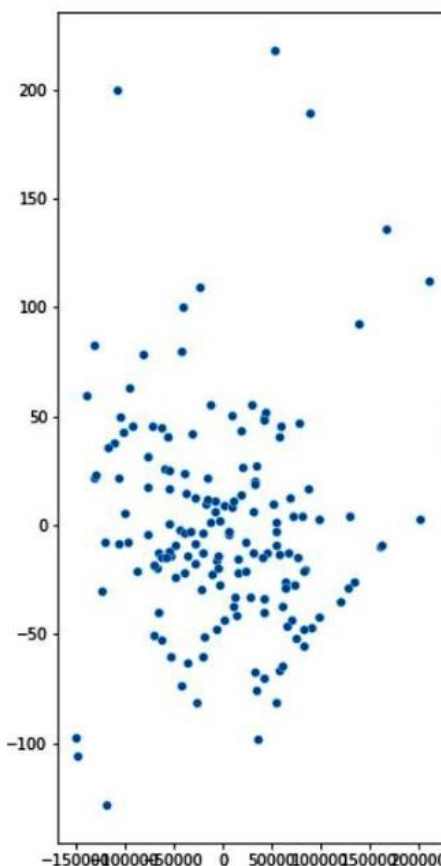


Gambar 6. Visualisasi hasil *K-means Clustering* $k=2$

Gambar 6 menunjukkan visualisasi hasil *K-Means Clustering* dari nilai *Sillhoutte Coefficient* untuk jumlah *cluster* $k = 2$ karena *cluster* k dapat dibagi dalam 2 kelompok untuk menentukan kualitas daun melon tersebut.

3.6 Fuzzy C-Means Clustering

Adapun hasil pengujian *Fuzzy C-Means Clustering* sebelum pembentukan kelas dapat ditunjukkan pada gambar 7 di bawah ini.

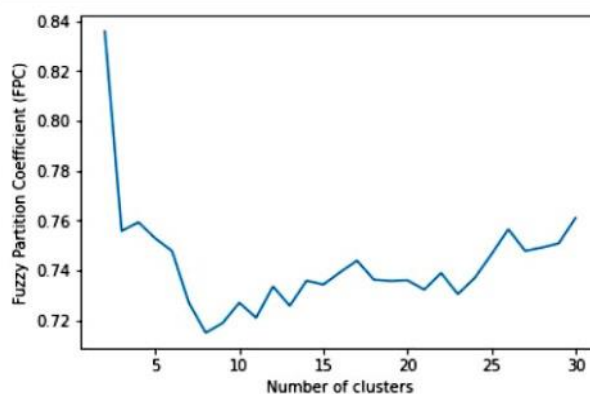


Gambar 7. Hasil *Fuzzy C-Means Clustering*

Pada gambar 7 menunjukkan visualisasi data dalam bentuk *scatter plot*, yaitu penyebaran data sebelum terbentuknya pengelompokkan pada *Fuzzy C-Means Clustering*.

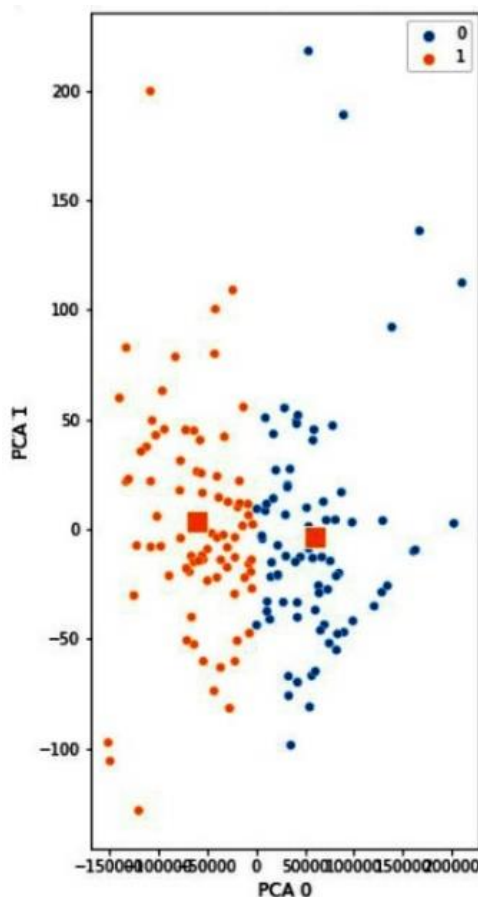
3.7 Fuzzy Partition Coefficient (FPC)

Validasi *Fuzzy Partition Coefficient*, yaitu: menilai *Partition Coefficient* menjadi evaluasi nilai tingkat keanggotaan data di setiap kelompok tanpa melihat nilai vektor pada umumnya berisi data geometri.



Gambar 8. Grafik *Fuzzy Partition Coefficient (FPC)*

Grafik 8 menunjukkan validasi *cluster* terhadap ekstraksi fitur menggunakan *Fuzzy C-Means* menunjukkan nilai 0.8359 dengan jumlah *cluster* terbaik $k = 2$.



Gambar 9. Visualisasi hasil *Fuzzy C-Means Clustering* $k=2$

Gambar 9 menunjukkan visualisasi *Fuzzy C-Means Clustering* dari *Fuzzy Partition Coefficient* (FPC) dengan jumlah *cluster* $k=2$ karena *cluster* k dapat dibagi dalam 2 kelompok untuk menentukan kualitas daun melon tersebut.

3.8 Hasil Evaluasi

Berdasarkan hasil evaluasi nilai *Silhouette Coefficient* dan *Fuzzy Partition Coefficient* (FPC) yang sudah dilaksanakan, maka evaluasi dari *Fuzzy C-Means* menghasilkan nilai validasi yang bagus dibandingkan dengan metode *K-Means Clustering*. Jumlah *cluster* yang terbaik adalah 2 *cluster* (tanaman melon sehat dan tidak sehat) dengan nilai FPC = 0,8359 yang mendekati nilai 1 (satu) yang menunjukkan bahwa kualitas *cluster* semakin baik pada metode *Fuzzy C-Means*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh kesimpulan bahwa hasil *Clustering* menggunakan *K-Means* diperoleh jumlah *cluster* $k=2$ dan hasil *Clustering* menggunakan *Fuzzy C-Means* diperoleh jumlah *cluster* $k=2$ dengan nilai validasi algoritma *K-Means* sebesar 0.5793 dan *Fuzzy C-Means* sebesar 0.8359, maka dengan ini dapat disimpulkan bahwa metode *Fuzzy C-Means Clustering* lebih baik dibandingkan dengan metode *K-Means Clustering* dengan kualitas *cluster* terbaik yang mendekati nilai 1 karena metode ini yang lebih baik untuk melakukan *clustering* citra daun melon.

REFERENCES

- [1] “budi daya melon agromedia ebook”. Jakarta, PT Agromedia Pustaka. hlm 6. 2007.
- [2] M. Fajar et al., “JIP (Jurnal Informatika Polinema) Foreground Extraction pada Citra Daun Melon dengan Bantuan Deep Neural Network”. 2021
- [3] S. Mushtaq, F. Shamim, M. Shafique, and M. S. Haider, “Effect of Whitefly Transmitted Geminiviruses on the Physiology of Tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) and Tobacco (*Nicotiana benthamiana* L.) Plants,” Online, [Online]. Available: www.iiste.org. 2014
- [4] Pracaya, “hama dan penyakit tanaman pracaya ebook”. penebar Swadaya, Jakarta, 2008
- [5] M. Pineda, M. L. Pérez-Bueno, and M. Barón, “Detection of bacterial infection in melon plants by classification methods based on imaging data,” *Front Plant Sci*, vol. 9, doi: 10.3389/fpls.2018.00164. 2018
- [6] R. Xu and D. Wunsch, “Survey of clustering algorithms,” *IEEE Transactions on Neural Networks*, vol. 16, no. 3. pp. 645–678, doi: 10.1109/TNN.2005.845141. 2005



- [7] A. Ramadhan, Z. Efendi, P. Studi Sistem Informasi, F. H. Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sultan Syarif Kasim Riau Jl Soebrantas Km, and P. Pekanbaru -Riau, “Perbandingan K-Means dan Fuzzy C-Means untuk Pengelompokan Data User Knowledge Modeling.” 2017
- [8] T. Herdian Andika, A. Hafiz, J. Z. A. P. Alam, L. Ratu, and B. Lampung, “Seminar Nasional Teknologi dan Bisnis 2018 IIB DARMAJAYA Bandar Lampung,” 2018.
- [9] Y. Teknik Informatika, “Analisis Perbandingan Algoritma Fuzzy C-Means dan K-Means,”. [Online]. Available: <http://ars.ilkom.unsri.ac.id>. 2016
- [10] R. Syarif, M. T. Furqon, and S. Adinugroho, “Perbandingan Algoritme K-Means Dengan Algoritme Fuzzy C Means (FCM) Dalam Clustering Moda Transportasi Berbasis GPS,”. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>. 2018
- [11] J. C. Dunn, “A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well-separated clusters,” *Journal of Cybernetics*, vol. 3, no. 3, pp. 32–57, Jan. 1973, doi: 10.1080/01969727308546046.
- [12] S. M. H. Jansen, “Customer Segmentation and Customer Profiling for a Mobile Telecommunications Company Based on Usage Behavior A Vodafone Case Study,” 2007.
- [13] J. A. López del Val and J. P. Alonso Pérez de Agreda, “Principal components analysis,” *Atencion primaria / Sociedad Española de Medicina de Familia y Comunitaria*, vol. 12, no. 6, pp. 333–338, doi: 10.5455/ijlr.20170415115235. 1993
- [14] D. Arthur and S. Vassilvitskii, “How Slow is the k-Means Method?,” 2006.
- [15] J. Xie, S. Jiang, W. Xie, and X. Gao, “An efficient global K-means clustering algorithm,” *J Comput (Taipei)*, vol. 6, no. 2, pp. 271–279, doi: 10.4304/jcp.6.2.271-279. 2011
- [16] M. T. Furqon and L. Muflikhah, “CLUSTERING THE POTENTIAL RISK OF TSUNAMI USING DENSITY-BASED SPATIAL CLUSTERING OF APPLICATION WITH NOISE (DBSCAN),” *Journal of Environmental Engineering & Sustainable Technology JEEST*, vol. 03, no. 01, pp. 1–8, [Online]. Available: <http://jeest.ub.ac.id>. 2016
- [17] Y. Agusta, “K-Means-Penerapan, Permasalahan dan Metode Terkait,” 2007.
- [18] X. Miao, B. Yu, and B. Xi, “The uncertainty evaluation method of supply chain reliability,” *Transport*, vol. 24, no. 4, pp. 296–300, doi: 10.3846/1648-4142.2009.24.296-300. 2009
- [19] J.C. Bezdek “Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms.”, Utah State University. ISBN 978-1-4757-0450-1. 1981.
- [20] M. T. Ajie and C. Widiyanto, “Perbandingan Validitas Fuzzy Clustering pada Fuzzy C-Means Dan Particle Swarms Optimazation (PSO) pada Pengelompokan Kelas,” 2019.
- [21] B. Santoso, I. Cholissodin, and B. D. Setiawan, “Optimasi K-Means untuk Clustering Kinerja Akademik Dosen Menggunakan Algoritme Genetika,”. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>. 2017