

Analisis pengelompokan jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut jenis tanaman di Indonesia

(Cluster analysis of the number of forest plants cultivated by plant types in Indonesia)

Made Ayu Dwi Octavanny

Program Studi Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Udayana, Bali, Indonesia

korespondensi: octavanny@unud.ac.id

Received: 01-06-2023, accepted: 18-10-2023

Abstract

One of the problems of archipelagic countries is the lack of maximum utilization of natural resources which has resulted in some areas being left behind. Indonesia is one of those who experience the impact of the lack of utilization of natural resources in the forestry sector. The non-optimal use of forests for planting forestry plants has made most Indonesians use their land as artificial forests, namely to plant forestry plants. Cluster analysis in this case seeks to classify provinces in Indonesia based on the type of forestry plants cultivated. The method used is hierarchical and non-hierarchical. The hierarchical method uses single linkage and complete linkage methods while the non-hierarchical method uses the K-mean method. By making comparisons between methods, the results obtained are that the single linkage method with 8 clusters is the best method for grouping provinces in Indonesia according to the types of plants cultivated. Of the 34 provinces in Indonesia, cluster 1 consists of 27 provinces, while clusters 2 to 8 each consist of only 1 province.

Keywords: Cluster analysis, single linkage, complete linkage, K-mean, forest plants

MSC2020: 62H30

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara kepulauan yang kaya akan sumber daya alam. Salah satu sumber daya alam tersebut adalah hutan dengan berbagai tanaman hutan. Sumber daya alam dapat dijadikan sebagai salah satu sumber pendapatan negara, salah satunya di bidang ekonomi, yaitu menambah devisa negara. Indonesia terdiri atas lebih dari 17.508 pulau yang masing-masing memiliki potensi yang berbeda-beda, terutama lahan bebas yang dapat digunakan untuk menanam tanaman hutan. Namun, pertumbuhan penduduk

disertai dengan degradasi lahan yang parah [1]. Salah satu program untuk mengurangi hal tersebut adalah program hutan kemasyarakatan. Hutan kemasyarakatan merupakan kerja sama antara kegiatan konservasi, produksi hutan lestari, dan kesejahteraan masyarakat sekitar hutan [2]. Mendefinisikan fungsi pengelolaan hutan yang tepat secara langsung dan tidak langsung dari perspektif masyarakat untuk menciptakan kondisi hutan yang lestari dan menguntungkan secara optimal [3].

Manfaat hutan secara ekologis, ekonomi, sosial dan budaya saat ini semakin berkurang akibat degradasi yang terus berlanjut. Penebangan liar ditambah dengan kurangnya pengawasan dan kebakaran hutan adalah beberapa faktor yang menyebabkan kerusakan hutan. Pemanfaatan ruang terbuka untuk tanaman kehutanan diperlukan untuk mengurangi dampak negatif degradasi hutan yang terus menerus dan untuk meningkatkan manfaat lingkungan dan sosial dari sumber daya hutan. Dengan meningkatkan efisiensi pemanenan kayu, maka limbah penebangan, kerusakan tegakan, dan kegiatan pengelolaan dapat dikurangi. Pemanenan hutan yang sesuai prinsip lestari merupakan salah satu cara untuk mengurangi emisi dari kegiatan pemanfaatan hutan [4].

Beberapa penelitian tentang tanaman hutan dilakukan oleh [5], yang melakukan penelitian tentang jenis-jenis tanaman di hutan rakyat Desa Kelungu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat 22 jenis tanaman di kawasan tersebut. Selanjutnya, [6] melakukan identifikasi tumbuhan sumber pangan di hutan Tembawang Desa Aur. Menurut hasil penelitian, terdapat 50 jenis tumbuhan yang dapat dimakan di hutan Tembawang. Selain itu, [7] mempelajari pemilihan jenis pohon untuk pengembangan hutan kota di kawasan perkotaan Yogyakarta. Terkait dengan pemodelan, [8] menghasilkan model untuk menentukan pertumbuhan pohon di hutan setelah penebangan. Selanjutnya, [9] melakukan stratifikasi dan model arsitektur pohon di kawasan hutan primer pegunungan Deudap Pulo Aceh. Selain itu, [10] menggunakan model Averi untuk memodelkan hubungan antara umur dan peninggi tegakan *Eucalyptus urophylla*. Model yang dihasilkan efisien memperkirakan jenis *Eucalyptus urophylla* dari umur 1-7 tahun.

Oleh karena itu, jumlah tanaman hutan yang dibudidayakan dianalisis berdasarkan wilayah dan jenis tanaman. Daerah yang digunakan sebagai data observasi adalah provinsi-provinsi yang ada di Indonesia. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengelompokkan provinsi di Indonesia berdasarkan jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut jenis tanaman. Jenis tanaman yang digunakan dalam penelitian ini adalah akasia, bambu, jati, mahoni, sengon, jabon, waru, jati putih, dan suren. Penelitian terdahulu [11] telah mempelajari salah satu tanaman hutan, yaitu jati. Jati di Kalimantan Timur menunjukkan pertumbuhan yang melambat seiring dengan bertambahnya usia. Pertumbuhan paling cepat pada tahap awal antara 1-5 tahun dan kemudian melambat setelah usia 12 tahun. Selanjutnya, [12] memodelkan tegakan jati di hutan produksi Wemata menggunakan analisis regresi.

Pengelompokan ini menggunakan analisis pengelompokan hierarki maupun non hierarki. Beberapa penelitian terkait analisis pengelompokan dengan berbagai metode, yaitu [13]–[17]. Analisis pengelompokan hierarki yang diterapkan pada penelitian ini adalah metode *single linkage* dan *complete linkage*, sedangkan analisis non hierarki menggunakan *K-mean*. Berdasarkan [18], metode *single linkage* merupakan algoritma pengelompokan yang paling sederhana berdasarkan metode koefisien dan membutuhkan komputasi yang minimal. Penelitian yang dilakukan oleh [19] menyatakan bahwa metode *single linkage* dan *complete linkage* dipilih karena memiliki ukuran yang berbeda dalam pembentukan kelompok. Selanjutnya, [20] mengungkapkan bahwa metode *single linkage* merupakan metode yang fokus pada jarak terdekat antara klaster, sedangkan *complete linkage* menggunakan jarak terjauh antara klaster.

Salah satu keunggulan dari *K-mean* adalah kemudahan dan kemampuannya untuk mengelompokkan data yang besar dan data *outlier* dengan cepat [21]. Metode *K-mean* sudah diterapkan pada beberapa penelitian sebelumnya [22]–[24]. Berikutnya, di antara klaster yang diperoleh, akan dicari klaster terbaik berdasarkan jumlah tanaman yang diusahakan menurut jenis tanaman. Dalam melakukan pengelompokan, asumsi pertama yang harus terpenuhi adalah bahwa data berasal dari populasi yang mengikuti distribusi normal multivariat. Oleh karena itu, dalam hal ini dilakukan uji normal multivariat sebelum mengolah data.

2. Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder yang berasal dari Sensus Pertanian tahun 2013 tentang jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut wilayah dan jenis tanaman. Data terdiri atas 8 jenis tanaman kehutanan dan menggunakan 34 provinsi yang ada di Indonesia. Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel penelitian

Simbol	Variabel
Y	Provinsi di Indonesia
X ₁	Jumlah Tanaman Akasia
X ₂	Jumlah Tanaman Bambu
X ₃	Jumlah Tanaman Jati
X ₄	Jumlah Tanaman Mahoni
X ₅	Jumlah Tanaman Sengon
X ₆	Jumlah Tanaman Jabon
X ₇	Jumlah Tanaman Waru
X ₈	Jumlah Tanaman Jati Putih

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi masalah.
2. Mencari dan mengambil data.

3. Melakukan *pre-processing* pada data yang telah diperoleh.
4. Mengidentifikasi adanya *missing value* dan *outlier* pada data yang telah diperoleh. Mendeteksi adanya *outlier* dan *missing value* dari data yang digunakan dapat menggunakan *boxplot*. Apabila terdapat data berada di atas maupun di bawah *box* dan *whisker* maka data tersebut merupakan *outlier* dan *missing value*.
5. Melakukan uji distribusi normal multivariat pada data yang telah diperoleh. Pengujian dapat dilakukan dengan tiga cara, yaitu dengan proporsi, plot *chi-square*, dan uji korelasi.

- a) Proporsi. Metode ini dilakukan dengan membandingkan nilai jarak kuadrat (d_j^2) dengan nilai tabel *chi-square* dengan $df = \frac{n-j+0,5}{n}$ dan $\alpha = 0,05$. Untuk mendapatkan nilai jarak kuadrat (d_j^2) dapat menggunakan rumus

$$d_j^2 = (x_j - \bar{x})' S^{-1} (x_j - \bar{x}). \quad (1)$$

Setelah mendapatkan nilai jarak kuadrat (d_j^2), maka dijumlahkan untuk (d_j^2) $\leq$ nilai tabel *chi-square* dan (d_j^2) $\geq$ nilai tabel *chi-square*. Jika (d_j^2) $\geq$ nilai tabel *chi-square* mendekati 50% maka data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat.

- b) Plot *Chi-square*. Metode tersebut dilakukan dengan menggunakan *scatterplot* untuk melihat pola sebaran antara nilai jarak kuadrat (d_j^2) yang sudah diurutkan dengan $q_{c,p}$. Rumus dari $q_{c,p}$ adalah

$$q_{c,p} \left(\frac{j-0,5}{n} \right) = \chi^2_{\left(\frac{n-j+0,5}{n}; 0,05 \right)}. \quad (2)$$

Jika *scatterplot* menunjukkan bahwa titik-titik mengikuti garis linier, maka disimpulkan bahwa data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat.

- c) Uji Korelasi. Untuk mengetahui apakah data memenuhi asumsi distribusi normal multivariat dapat dilakukan dengan uji korelasi dengan mengkorelasikan nilai d_j^2 dengan nilai $q_{c,p} \left(\frac{j-0,5}{n} \right)$.

Hipotesis:

H_0 : Data berdistribusi normal multivariat.

H_1 : Data tidak berdistribusi normal multivariat.

Statistik uji:

$$r_q = \frac{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})(q_j - \bar{q})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}}. \quad (3)$$

Daerah penolakan:

Tolak H_0 jika $r_q < \text{critical point } r_{(\alpha, n)}$ dan dapat disimpulkan bahwa data tidak berdistribusi normal multivariat.

6. Melakukan analisis kelompok dengan metode hierarki sebagai berikut.
 - a. Menentukan metode klaster yang akan digunakan, yaitu *single linkage* dan *complete linkage*.
 - b. Menentukan jumlah klaster yang akan digunakan, dalam penelitian ini adalah 2 sampai 8 buah klaster.

- c. Menginterpretasi hasil klaster yang terbentuk berdasarkan variabel yang telah ditentukan.
7. Melakukan analisis pengelompokan dengan metode non hierarki (*K-Mean*).
8. Menentukan jumlah klaster optimum, yaitu dengan membandingkan hasil analisis pengelompokan dengan metode hierarki dan non hierarki, selanjutnya dicari jumlah klaster terbaik dengan menggunakan uji multivariat [25].

Hipotesis:

$$H_0 : \beta_j = 0, j = 1, 2, \dots, p$$

$$H_1 : \beta_j \neq 0$$

Statistik uji:

$$\Lambda = \frac{|Y^T Y - \hat{B}^T X^T Y|}{|Y^T Y - \hat{B}_p^T X_p^T Y|} \quad (4)$$

Daerah penolakan:

Tolak H_0 jika Wilk's Lambda $\Lambda < \Lambda_{\alpha, q, p, n-p-1}$ (nilai kritis untuk Wilk's Lambda) dan dapat disimpulkan bahwa model signifikan.

9. Menarik kesimpulan.

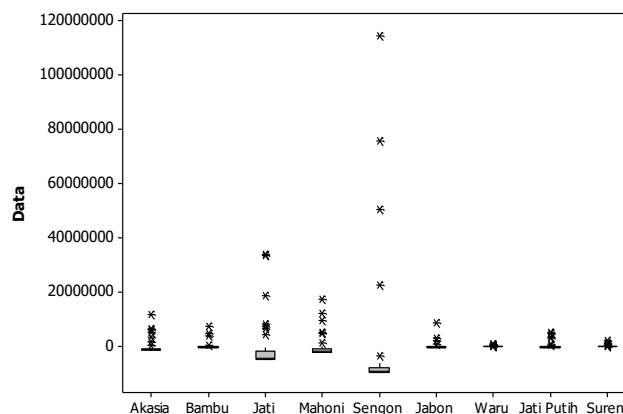
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pre-Proccesing Data

Untuk melakukan analisis, data tentunya perlu untuk dirapikan dan disamakan satuannya agar seragam sehingga bisa diolah dengan baik. Data jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut wilayah dan jenis tanaman yang diambil dari Sensus Pertanian 2013 sudah memiliki satuan yang sama sehingga tidak perlu untuk dilakukan standardisasi terlebih dahulu sehingga dapat dilanjutkan ke tahap berikutnya.

3.2 Outlier dan Missing Value

Setelah data memiliki bentuk yang seragam, maka dideteksi apakah terdapat data yang merupakan *outlier* dan *missing value* menggunakan *boxplot* seperti pada Gambar 1.

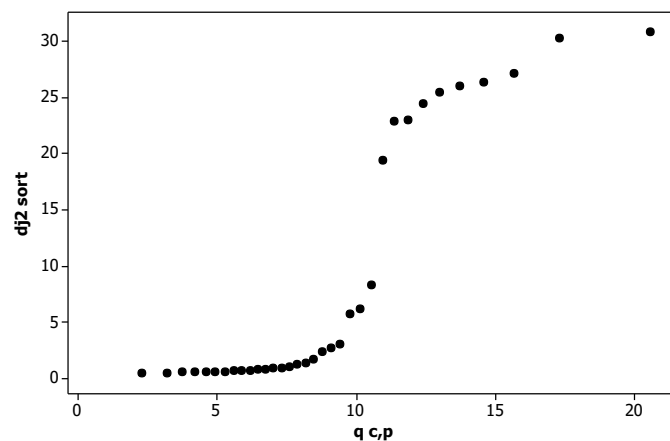


Gambar 1. *Boxplot* data jumlah tanaman kehutanan

Berdasarkan *boxplot* tersebut, terlihat bahwa terdapat *outlier* untuk masing-masing jenis tanaman kehutanan. Namun dalam laporan ini, data *outlier* tidak perlu diatasi. Sedangkan untuk *missing value* tidak terdapat pada data sehingga dapat dilanjutkan untuk uji normal multivariat.

3.3 Uji Distribusi Normal Multivariat

Sebelum melakukan analisis kelompok, maka perlu dilakukan uji normalitas multivariat terlebih dahulu agar mengetahui apakah data berdistribusi normal multivariat atau tidak. Pada data ini, dilakukan pengujian distribusi normal multivariat menggunakan metode proporsi, plot *chi-square*, dan uji korelasi. Dengan menggunakan metode proporsi didapatkan nilai *square distance* (d_j^2) sebesar 0,705882 yang berarti data tidak mengikuti distribusi normal multivariat karena nilai *square distance* (d_j^2) lebih dari 50%. Akan tetapi data ini merupakan data per wilayah atau provinsi di Indonesia, maka data tidak mungkin untuk ditambah atau dikurangi, sehingga data diasumsikan berdistribusi normal multivariat. Selain menggunakan metode proporsi, dilakukan pula dengan plot *chi-square* dengan hasil sebagai berikut.



Gambar 2. Scatterplot $q_{c,p}$ dengan nilai *square distance*

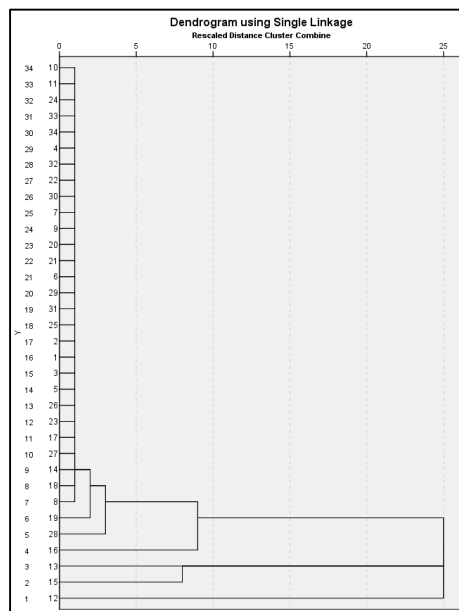
Terlihat dari plot di atas bahwa titik-titik tidak mengikuti garis linier, maka data tidak memenuhi distribusi normal multivariat. Seperti halnya dengan metode proporsi, dalam metode korelasi juga diasumsikan berdistribusi normal multivariat, dikarenakan data tidak memungkinkan untuk ditambah. Selanjutnya dilakukan pula uji korelasi. Statistik uji r_q yang didapatkan adalah sebesar 0,896 yang lebih kecil dari *critical point*, yaitu 0,968. Ini berarti bahwa tolak H_0 yang berarti data tidak mengikuti distribusi normal. Begitu pula dengan metode proporsi dan uji korelasi, karena data tidak memungkinkan untuk ditambah sehingga diasumsikan berdistribusi normal multivariat.

3.4 Pengelompokan Data

Data jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut wilayah dan jenis tanaman yang telah berasumsi distribusi normal multivariat, selanjutnya akan dilakukan pengelompokan dengan metode hierarki (*single linkage* dan *complete linkage*) dan metode non hierarki (*K-mean*).

3.4.1 Metode Hierarki dengan *Single Linkage*

Pengelompokan data dengan metode *single linkage* menghasilkan beberapa klaster, yaitu 2 klaster hingga 8 klaster. Berikut ini merupakan dendrogram untuk melihat hasil klaster yang terbentuk dari pengelompokan data jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut wilayah dan jenis tanaman seperti pada Gambar 3.

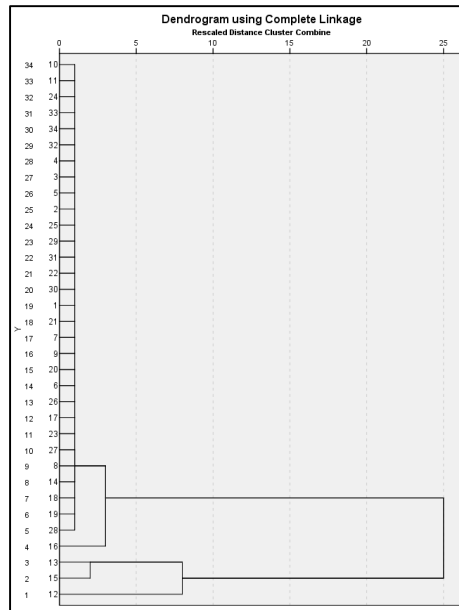


Gambar 3. Dendrogram dengan metode *single linkage*

Gambar 3 menunjukkan anggota klaster menggunakan metode *single linkage*. Sebagai contoh, apabila dibentuk 3 klaster, maka klaster 1 beranggotakan 31 provinsi, klaster 2 beranggotakan 2 provinsi, dan klaster 3 terdiri dari 1 provinsi.

3.4.2 Metode Hierarki dengan *Complete Linkage*

Pengelompokan menggunakan metode hierarki dengan *Complete Linkage* menghasilkan anggota klaster yang dapat dilihat dari dendrogram seperti pada Gambar 4. Gambar 4 menunjukkan anggota klaster menggunakan metode *complete linkage*. Sebagai ilustrasi, apabila dibentuk 2 klaster, maka klaster 1 beranggotakan 31 provinsi dan klaster 2 beranggotakan 3 provinsi. Apabila ingin dibentuk 3 klaster, maka klaster 1 beranggotakan 30 provinsi, klaster 2 terdiri dari 1 provinsi, klaster 3 beranggotakan 2 provinsi, dan klaster 4 terdiri dari 1 provinsi.



Gambar 4. Dendrogram dengan metode *complete linkage*

3.4.3 Metode Non Hierarki dengan *K-mean*

Pengelompokan data berdasarkan metode non hierarki dengan *K-mean* pada data jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut wilayah dan jenis tanaman untuk dua klaster, tiga klaster, dan empat klaster menghasilkan jumlah anggota di tiap klaster yang dapat dilihat pada pembahasan berikut ini.

a. Dua Klaster

Berikut ini adalah jumlah anggota dari tiap klaster untuk metode *K-mean* 2 klaster yang disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Jumlah anggota 2 klaster dengan metode *K-mean*

Klaster	Jumlah Anggota Klaster
1	3
2	31

b. Tiga Klaster

Jumlah anggota dari tiap klaster untuk metode *K-mean* 3 klaster ditampilkan pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Jumlah anggota 3 klaster dengan metode *K-mean*

Klaster	Jumlah Anggota Klaster
1	2
2	1
3	31

c. Empat Klaster

Tabel 4 menyajikan jumlah anggota dari tiap klaster untuk metode *K-mean* 4 klaster.

Tabel 4. Jumlah anggota 4 klaster dengan metode *K-mean*

Klaster	Jumlah Anggota Klaster
1	2
2	1
3	1
4	30

3.5 Perbandingan Klaster Terbaik

Untuk mendapatkan klaster terbaik digunakan uji multivariat dengan membandingkan nilai F Wilk's Lambda yang diperoleh pada masing-masing klaster yang terbentuk pada setiap metode. Nilai F yang diambil sebagai klaster terbaik adalah nilai F terbesar dari metode yang telah digunakan sebelumnya, yaitu *single linkage*, *complete linkage*, dan *K-mean*. Tabel 5 menampilkan nilai perbandingan antar metode yang telah digunakan.

Tabel 5. Perbandingan nilai F antar metode

Jumlah Klaster	<i>Single Linkage</i>	<i>Complete Linkage</i>	<i>K-mean</i>
8	233.740	190.927	-
7	88.911	77.183	-
6	68.115	72.897	-
5	79.389	79.389	-
4	62.256	62.256	62.256
3	97.595	97.595	97.595
2	64.986	226.886	226.886

Berdasarkan Tabel 7, terlihat bahwa dengan metode klaster yang paling baik pada *single linkage* adalah dengan jumlah klaster 8 yang terbukti dengan nilai F paling tinggi dibandingkan nilai F dengan jumlah klaster lainnya. Selain itu, dengan menggunakan metode *complete linkage*, pemilihan klaster terbaik terdapat pada jumlah klaster 2, yang dibuktikan dengan nilai F terbesar, sedangkan untuk *K-mean*, klaster terbaik terdapat pada jumlah klaster 2. Dari ketiga metode tersebut dapat disimpulkan bahwa penentuan kelompok klaster terbaik untuk jumlah tanaman kehutanan menurut wilayah diperoleh 8 klaster dengan menggunakan metode *single linkage*. Untuk mengetahui provinsi mana yang termasuk dalam klaster tersebut, dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Anggota dari klaster terbaik

Klaster	Anggota Klaster
1	Provinsi Aceh, Sumatera Utara, Sumatera Barat, Riau, Jambi, Sumatera Selatan, Bengkulu, Kepulauan Bangka Belitung, Kepulauan Riau, DKI Jakarta, DI Yogyakarta, Bali, Nusa Tenggara Barat, Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah, Kalimantan Selatan, Kalimantan Timur, Kalimantan Utara, Sulawesi Utara, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Gorontalo, Sulawesi Barat, Maluku, Maluku Utara, Papua Barat, dan Papua.
2	Provinsi Lampung
3	Provinsi Jawa Barat
4	Provinsi Jawa Tengah
5	Provinsi Jawa Timur
6	Provinsi Banten
7	Provinsi Nusa Tenggara Timur
8	Provinsi Sulawesi Tenggara

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat *outlier* pada data, namun tidak perlu diatasi. Sementara itu, untuk *missing value* tidak ditemukan pada hasil pengolahan data.
2. Data tidak mengikuti distribusi normal multivariat. Namun, karena data adalah jumlah provinsi dan oleh karena itu tidak bisa ditambah, maka data tersebut diasumsikan berdistribusi normal multivariat.
3. Dilakukan pengelompokan berdasarkan metode hierarki dan non hierarki. Metode hierarki dengan *single linkage* dan *complete linkage* masing-masing menghasilkan klaster sebanyak 2 hingga 8 klaster. Sedangkan untuk metode non hierarki menggunakan *K-mean*, ditentukan untuk membentuk sejumlah 2 hingga 4 klaster.

Perbandingan klaster terbaik menghasilkan 8 klaster berdasarkan jumlah tanaman kehutanan yang diusahakan menurut jenis tanaman dengan metode *single linkage*. Klaster 1 beranggotakan 27 provinsi, sedangkan klaster 2 hingga 8 masing-masing terdiri dari 1 provinsi. Pada penelitian selanjutnya akan lebih baik menggunakan jumlah variabel yang lebih sedikit karena hal ini memerlukan ketelitian. Penentuan jumlah klaster juga harus dipertimbangkan secara matang karena berpengaruh terhadap jumlah anggota dan analisis lebih lanjut.

Daftar Pustaka

- [1] D. Novasari, R. Qurniati, and Duryat, "Keragaman jenis tanaman pada sistem pengelolaan hutan kemasyarakatan," *J. Belantara*, vol. 3, no. 1, pp. 41–47, 2020. [[CrossRef](#)]

- [2] M. I. Arifandy and M. Sihaloho, “Efektivitas pengelolaan hutan bersama masyarakat sebagai resolusi konflik sumber daya hutan,” *J. Sos. Pedesaan*, vol. 2, no. 3, pp. 147–158, 2015. [[CrossRef](#)]
- [3] I. Rachman, “Pengembangan hutan tanaman rakyat di wilayah KPHP Model Dampelas Tinombo Desa Karya Mukti Kecamatan Dampelas Kabupaten Donggala,” *Agrol. J. Ilmu-Ilmu Pertan.*, vol. 29, no. 1, pp. 13–23, 2022. [[CrossRef](#)]
- [4] D. R. Nurrochmat and L. Abdulah, “Memanfaatkan hutan, mengurangi emisi,” *Risal. Kebijak. Pertan. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 1, pp. 18–23, 2013. [[CrossRef](#)]
- [5] E. S. Oktaviyani, Indriyanto, and Surnayanti, “Identifikasi jenis tanaman hutan rakyat dan pemeliharaannya di hutan rakyat Desa Kelungu Kecamatan Kotaagung Kabupaten Tanggamus,” *J. Sylva Lestari*, vol. 5, no. 2, pp. 63–77, 2017. [[CrossRef](#)]
- [6] D. Sumarlin, M. Dirhamsyah, and H. Ardian, “Identifikasi tumbuhan sumber pangan di Hutan Tembawang Desa Aur Sampuk Kecamatan Sengah Temila Kabupaten Landak,” *J. Hutan Lestari*, vol. 4, no. 1, pp. 32–39, 2015. [[CrossRef](#)]
- [7] Mukhlison, “Pemilihan jenis pohon untuk pengembangan hutan kota di kawasan perkotaan Yogyakarta,” *J. Ilmu Kehutan.*, vol. 7, no. 1, pp. 37–47, 2013. [[CrossRef](#)]
- [8] Wahyudi and M. Anwar, “Model pertumbuhan pohon-pohon di hutan alam pasca tebangan studi kasus pada hutan alam produksi di Kabupaten Kapuas, Kalimantan Tengah,” *Bionatura-Jurnal Ilmu-ilmu Hayati dan Fis.*, vol. 15, no. 3, pp. 190–195, 2013. [[CrossRef](#)]
- [9] M. Hidayat, M. N. Rafiqah, and Y. Mertavia, “Stratifikasi dan model arsitektur pohon di kawasan hutan primer Pegunungan Deudap Pulo Aceh Kabupaten Aceh Besar,” in *Prosiding Seminar Nasional Biotik 2018*, 2018, pp. 216–236. [[CrossRef](#)]
- [10] M. M. T. Simarmata, “Model penyusunan kualitas tempat tumbuh eucalyptus urophylla pada hutan tanaman,” *J. Elektron. AKAR*, vol. 1, no. 1, pp. 1–10, 2015. [[CrossRef](#)]
- [11] V. Murtinah, Marjenah, A. Ruchaemi, and D. Ruhayat, “Pertumbuhan hutan tanaman jati (*tectona grandis* Linn.f.) di Kalimantan Timur,” *Agrifor J. Ilmu Pertan. dan Kehutan.*, vol. 14, no. 2, pp. 287–292, 2015. [[CrossRef](#)]
- [12] A. A. Almulqu *et al.*, “Model pendugaan volume tegakan jati (*tectona grandis* linn.f) di hutan produksi Wemata Unit Pelaksana Teknis Daerah Kesatuan Pengelolaan Hutan Wilayah Kabupaten Belu,” *Ulin J. Hutan Trop.*, vol. 7, no. 1, pp. 109–116, 2023. [[CrossRef](#)]
- [13] L. Ramadhani, I. Purnamasari, and F. D. T. Amijaya, “Penerapan metode complete linkage dan metode hierarchical clustering multiscale bootstrap (Studi kasus: kemiskinan di Kalimantan Timur tahun 2016),” *Ekspansional*, vol. 9, no. 2016, pp. 1–10, 2018. [[CrossRef](#)]

- [14] A. A. Muhartini, T. Febriati, and S. Sukmawati, “Analisis cluster untuk mengelompokkan penggunaan kartu perdana seluler di Universitas Bina Bangsa,” *J. Bayesian J. Ilm. Stat. dan Ekon.*, vol. 2, no. 1, pp. 15–30, 2022. [[CrossRef](#)]
- [15] N. Asiska, N. Satyahadewi, and H. Perdana, “Pencarian cluster optimum pada single linkage, complete linkage dan average linkage,” *Bimaster Bul. Ilm. Mat. Stat. dan Ter.*, vol. 8, no. 3, pp. 393–398, 2019. [[CrossRef](#)]
- [16] D. R. Thamrin and D. Murni, “Analisis cluster hierarki metode single linkage pada kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Barat berdasarkan indikator kesehatan,” *J. Math. UNP*, vol. 7, no. 3, p. 45, 2022. [[CrossRef](#)]
- [17] S. F. Mu’afa and N. Ulinnuha, “Perbandingan metode single linkage, complete linkage dan average linkage dalam pengelompokan kecamatan berdasarkan variabel jenis ternak Kabupaten Sidoarjo,” *Inf. J. Ilm. Bid. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 4, no. 2, 2019, doi: 10.25139/inform.v4i2.1696. [[CrossRef](#)]
- [18] H. K. Seifoddini, “Single linkage versus average linkage clustering in machine cells formation applications,” *Comput. Ind. Eng.*, vol. 16, no. 3, pp. 419–426, 1989. [[CrossRef](#)]
- [19] S. Sakdiyah and R. Subekti, “Optimalisasi jumlah kelompok pada metode single linkage dan complete linkage menggunakan indeks Davies Bouldin,” *J. Kaji. dan Terap. Mat.*, vol. 7, no. 1, pp. 20–30, 2018. [[CrossRef](#)]
- [20] N. R. Rashid, “A comparison between single linkage and complete linkage in agglomerative hierarchical cluster analysis for identifying tourists segments,” *IIUM Eng. J.*, vol. 12, no. 6, pp. 105–116, 2012. [[CrossRef](#)]
- [21] M. Benri, H. Metisen, and S. Latipa, “Analisis clustering menggunakan metode K-means dalam pengelompokan penjualan produk pada swalayan Fadhila,” *J. Media Infotama*, vol. 11, no. 2, pp. 110–118, 2015. [[CrossRef](#)]
- [22] A. Zaki, I. Irwan, and I. A. Sembe, “Penerapan K-means clustering dalam pengelompokan data (Studi kasus profil mahasiswa Matematika FMIPA UNM),” *J. Math. Comput. Stat.*, vol. 5, no. 2, p. 163, 2022. [[CrossRef](#)]
- [23] B. Harahap, “Penerapan algoritma K-means untuk menentukan bahan bangunan laris (Studi kasus pada UD. Toko Bangunan YD Indarung),” *Reg. Dev. Ind. Heal. Sci. Technol. Art Life*, pp. 394–403, 2019. [[CrossRef](#)].
- [24] E. A. Saputra and Y. Nataliani, “Analisis pengelompokan data nilai siswa untuk menentukan siswa berprestasi menggunakan metode clustering K-means,” *J. Inf. Syst. Informatics*, vol. 3, no. 3, pp. 424–439, 2021. [[CrossRef](#)]
- [25] A. R. Rencher, *Methods of Multivariate Analysis*. New York: John Wiley & Sons, Inc, 2022.