

Penerapan *Graph Theory and Matrix Approach* Sebagai Pendukung Keputusan Pemilihan Varietas Unggul Kedelai

Indana Lazulfa^{1*}, Iftitaahul Mufarrihah², Anita Andriani³, Sri Widoyoningrum⁴, Reza Augusta Jannatul Firdaus⁵

^{1,2,3} Teknik Informatika, Universitas Hasyim Asy'ari, Jombang, Indonesia

^{4,5} Sistem Informasi, Universitas Hasyim Asy'ari, Jombang, Indonesia

*e-mail *Corresponding Author*: indanazulf@gmail.com

Abstract

Soybean is a very important commodity in Indonesia because it usually used as the main daily meal protein source for the Indonesian people. Soybean has various varieties originating from within and outside the country. According to BPS data, soybean consumption increases by around 0.15 million tons per year. Meanwhile, in 2016, the amount of domestic soybean demand exceeded the amount of domestic soybean production, so the government imported it from outside the country. Even though there are 85 data on superior varieties released by Balitkabi, this does not guarantee that soybean production will increase. The decline in soybean production is also related to the constraints of agricultural land in Indonesia which is being massively transformed into residential land or other areas due to the fairly high population growth rate. This research aims to optimize soybean production through accurate selection of superior superb varieties. The method used in this research is a multicriteria decision making method, namely graph theory and matrix approach (GTMA). The results obtained were the 46 best varieties from 85 datasets based on certain criteria. The accuracy of GTMA shows an average of 86.95%. These results show that GTMA is a multi-criteria method that is feasible to implement.

Keywords: Soybean; Multicriteria; Graph theory and matrix approach; Decision making

Abstrak

Kedelai merupakan komoditas yang sangat penting di Indonesia karena biasa dimanfaatkan sebagai sumber protein utama harian penduduk Indonesia. Kedelai memiliki beragam varietas yang berasal dari dalam dan luar negeri. Menurut data BPS, konsumsi kedelai meningkat sekitar 0.15 juta ton per tahun. Sedangkan pada tahun 2016, jumlah kebutuhan kedelai dalam negeri melebihi jumlah produksi kedelai dalam negeri sehingga pemerintah melakukan impor. Meskipun ada 85 data varietas unggul yang dirilis oleh Balitkabi tetapi hal tersebut tidak menjamin bahwa produksi kedelai meningkat. Penurunan produksi juga berkaitan dengan kendala lahan pertanian di Indonesia yang secara massif bertransformasi menjadi lahan pemukiman atau lainnya karena laju pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan produksi kedelai melalui ketepatan pemilihan varietas unggul. Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode pengambilan keputusan multikriteria yakni *graph theory and matrix approach* (GTMA). Hasil yang diperoleh adalah 46 varietas terbaik dari 85 dataset berdasarkan kriteria tertentu. Akurasi dari GTMA menunjukkan rata-rata sebesar 86.95%. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa GTMA merupakan metode multikriteria yang layak untuk diimplementasikan.

Kata kunci: Kedelai; Multikriteria; Graph theory and matrix approach; Pendukung keputusan

1. Pendahuluan

Di Indonesia, kedelai merupakan komoditas yang sangat penting karena sudah umum dimanfaatkan sebagai sumber protein utama harian penduduk Indonesia. Komoditas kedelai biasanya digunakan sebagai bahan baku pembuatan tahu, tempe, kecap, dan pakan ternak. Kedelai (*Glycine max* L. Merrill) merupakan sumber pangan yang mengandung banyak nutrisi baik yaitu protein, isoflavone, kalsium, fosfor, zat besi, vitamin A, vitamin B1 dan vitamin C

sebagai antioksidan [1]. Pada tahun 2014, kebutuhan kedelai dalam negeri melebihi produksi kedelai dalam negeri, sehingga pemerintah mengimpor sebanyak 1,39 juta ton kedelai [2]. Kemudian dua tahun berikutnya yakni tahun 2016, berdasarkan data BPS produksi kedelai tahun 2015 mencapai 963.000 ton [3]. Fenomena lain adalah konsumsi kedelai meningkat sekitar 0,15 juta ton per tahunnya, dari yang semula sekitar 2.35 juta ton menjadi 2.5 juta ton per tahun [4].

Kedelai memiliki beragam varietas yang berasal dari dalam dan luar negeri. Pada tahun 2016, Balai Penelitian Kacang-kacangan dan Umbi-umbian (BALITKABI) merilis data deskripsi varietas unggul kedelai. Data tersebut menjelaskan semua varietas-varietas kedelai yang dilepas di Indonesia tahun 1918–2016. Menurut BALITKABI, varietas unggul merupakan komponen teknologi yang relatif lebih cepat dan luas penerapannya di kalangan petani [5]. Dibandingkan dengan varietas lokal, varietas unggul mempunyai karakter yang lebih antara lain potensi hasil tinggi, umur pendek, serta ketahanan terhadap hama dan penyakit. Karakteristik ini memegang peranan penting dalam upaya peningkatan produksi yang sekaligus menekan penggunaan pestisida dan aman terhadap lingkungan. Sifat lain yaitu toleran terhadap deraan lingkungan misalnya kekeringan, keracunan besi dan aluminium pun turut pula menjadi pertimbangan dalam perakitan varietas unggul. Adanya varietas unggul kedelai belum menjamin bahwa produksi kedelai stabil. Hasil yang didapatkan tiap varietas berbeda-beda. Menurut data Kementerian Pertanian tahun 2020, produksi kedelai Indonesia selama empat tahun terakhir sangat fluktuatif dan menunjukkan tren menurun. Penurunan produksi ini berkaitan dengan persaingan penggunaan lahan dengan komoditas lain dan terjadinya transformasi lahan karena tuntutan ekonomi dan laju pertumbuhan penduduk yang cukup tinggi. Data terakhir yang didapatkan dari Kementerian Pertanian ditunjukkan oleh Gambar 1. Tren penurunan produksi terjadi selama 5 tahun terakhir (tahun 2015–2019). Produksi kedelai monoton menurun terjadi di pulau Jawa dengan rata-rata turun 18,29% per tahun. Begitu pun dengan kondisi di Luar Jawa tidak jauh berbeda [6].



Gambar 1. Perkembangan produksi kedelai Indonesia tahun 1980-2019 [7]

Permasalahan yang muncul adalah bagaimana cara untuk meningkatkan produksi kedelai supaya tidak terjadi penurunan seperti tahun lalu. Salah satu cara untuk memenuhi permintaan kedelai yang semakin tinggi yaitu ketepatan memilih varietas dan benih agar diperoleh hasil yang maksimal. Begitu beragamnya varietas bisa menjadi masalah baru bagi petani kedelai. Rekomendasi penyuluh tersebut berasal dari laman BALITKABI dan berdasarkan informasi sebelumnya yang telah mereka ketahui. Informasi tersebut dapat berasal dari petani di daerah tertentu maupun pengalaman kerja sebelumnya. Hal tersebut tentunya belum memperhitungkan beberapa aspek atau kriteria tertentu seperti hasil rata-rata dan potensi maksimal hasil per hektar, umur polong matang, dan kandungan nutrisinya. Dengan melihat banyaknya varietas dan banyaknya kriteria tersebut, tentunya sangat sulit untuk menentukan varietas apa yang akan diambil. Di samping itu, skala prioritas untuk kriteria satu dengan lainnya tentu berbeda. Skala prioritas dalam hal ini yaitu bobot preferensi kriteria. Menurut Prasetyo dkk, BALITKABI belum memiliki aplikasi pengambil keputusan berbasis multi kriteria untuk pemilihan varietas kedelai [8]. Hal ini tentunya perlu dikembangkan sebuah solusi sehingga pemilihan varietas kedelai bisa lebih akurat dan fleksibel.

Permasalahan ini mempunyai kriteria yang banyak, maka solusinya yaitu menggunakan penyelesaian berbasis multikriteria atau *multiple criteria decision-making* (MCDM). Solusi multikriteria ini bersifat rekomendasi yang dapat membantu meranking banyak alternatif yakni varietas kedelai sesuai dengan bobot kriteria yang telah ditentukan. Output dari solusi multikriteria ini dapat menjadi referensi bagi para penyuluh untuk mendukung keputusan varietas apa yang akan diambil, tentunya dengan menggabungkan output dengan informasi sebelumnya. *Multicriteria decision-making* (MCDM) dapat melibatkan multi obyektif secara bersamaan atau multi atribut pada alternatif yang dievaluasi.

Prasetyo, dkk menggunakan AHP dalam proses pemilihan varietas kedelai unggul dengan menggunakan data BALITKABI Malang dan menghasilkan 15 varietas dengan perankingan terbaik [8]. Prasetyo menggunakan lima kriteria yakni potensi hasil, ketahanan terhadap hama, umur masak, bobot per 100 biji dan kandungan protein. Akurasi dari AHP sebesar 60,842%. Belum banyak penelitian tentang pemilihan kedelai berbasis multi kriteria. Oleh karena itu, pada penelitian kali ini akan menggunakan metode GTMA (Graph Theory and Matrix Approach). GTMA adalah sebuah metode MCDM (*Multicriteria Decision Making*) yang diturunkan dari matematika kombinatorik [9]. Keunggulan GTMA sangat banyak yaitu sangat sederhana, mudah dan komputasi yang lebih singkat dibanding metode SPK lainnya, namun GTMA belum banyak digunakan [10].

GTMA adalah sebuah metode MCDM yang diturunkan dari matematika kombinatorik. Metode GTMA menggunakan graf yang merepresentasikan kriteria yang dipilih dan keterkaitan node (simpul) dan edge (garis), dimana matriks mengubah graf ke dalam bentuk matematik. Peringkat/ranking dari alternatif-altrnatif ditentukan menggunakan fungsi permanen. Metode GTMA pertama diadopsi oleh Gandhi dan Agrawal (1992, 1994) untuk menilai kesalahan/error dan analisis efek dari sistem mekanis [11]. Kemudian Rao dan Gandhi (2001, 2002) menerapkan GTMA dalam bidang permesinan industri untuk mengevaluasi machinability index [12]. Kemudian tahun 2007 Rao mempresentasikan metodologi secara detail. Metode GTMA menjadi sebuah MCDM tool dalam bidang Teknik dan teknologi secara pesat [13].

Berdasarkan latar belakang diatas, penulis akan melakukan penelitian dengan judul: Penerapan GTMA Untuk Mendukung Keputusan Pemilihan Varietas Unggul Kedelai.

2. Tinjauan Pustaka

Terdapat beberapa riset terdahulu mengenai pemilihan varietas terbaik dengan beragam metode. Prasetyo, dkk menggunakan AHP dalam proses pemilihan varietas kedelai unggul dengan menggunakan data BALITKABI Malang dan menghasilkan 15 varietas dengan perankingan terbaik [8]. Prasetyo menggunakan lima kriteria yakni potensi hasil, ketahanan terhadap hama, umur masak, bobot per 100 biji dan kandungan protein. Akurasi dari AHP sebesar 60,842%.

Kemudian riset kedua oleh Imam dkk mengenai spesifikasi biji jagung berkualitas terbaik menggunakan Metode *Multi Attribute Utility Theory* (MAUT). Dalam riset ini dibangun suatu sistem pendukung keputusan untuk menentukan spesifikasi biji jagung berkualitas terbaik. Metode MAUT merupakan metode yang dipilih, dimana dapat membantu di dalam menentukan spesifikasi biji jagung yang dipilih untuk grade dan perankingan. Kriteria yang ditetapkan meliputi *moisture, broken seed, moldy seed, damage seed, foreign material, aflatoxin (Ppb)*. Alternatif yang diinput sebanyak 10 data jagung. Dari data yang diproses, alternatif yang direkomendasikan berada pada nilai tertinggi dengan total nilai 7,82. Dari hasil penelitian, Metode MAUT yang diimplementasikan pada sistem pendukung keputusan dapat digunakan untuk membantu dalam pengambilan keputusan spesifikasi biji jagung kualitas terbaik [14]. Dalam riset ini belum dilakukan perhitungan akurasi atau kelayakan metode dalam kasus terkait.

Pada tahun 2022, Aldo juga melakukan riset terkait pemilihan tanaman terbaik yakni getah karet dengan beberapa kriteria, dan menggunakan metode MAUT juga. Judul riset tersebut yaitu *Rekomendasi Kualitas Getah Karet Terbaik Berbasis Sistem Pendukung Keputusan dengan Metode MAUT*. Permasalahan yang diangkat adalah bagaimana menentukan kualitas terbaik pada getah karet. Penelitian ini menggunakan 5 kriteria dalam menentukan kualitas getah karet terbaik. Kriteria tersebut diantaranya umur pohon, waktu penyadapan, kadar karet kering, warna dan tekstur. Menggunakan *Multi Attribute Utility Theory* (MAUT) sebagai metode-nya. Alternatif yang digunakan sebanyak 30 data getah karet. kriteria dan alternatif diproses dengan metode MAUT. Hasil akhir berupa perankingan dan rekomendasi keputusan, dimana alternatif dengan skor tertinggi menempati posisi teratas.

Didapatkan 17 data menunjukkan kualitas Baik dengan nilai 0,56 sampai 1,00 dengan 13 data menunjukkan kualitas Tidak Baik dengan nilai 0,20 sampai 0,55. Dengan adanya sistem pendukung keputusan ini dapat membantu merekomendasikan kualitas getah karet terbaik sehingga dapat meningkatkan kepuasan pada konsumen [15].

Pada penelitian ini akan digunakan jenis kriteria yang berbeda dari penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Prasetyo yakni penambahan kriteria kandungan lemak (%), dan rata-rata hasil yang didapatkan (ton/ha). Kemudian untuk alternatif pada penelitian sebelumnya menggunakan 15 varietas, sedangkan pada penelitian ini akan ditambahkan sehingga total 46 varietas. Penambahan ini didasarkan pada Teknik sampling dari populasi 85 varietas yang ada. Metode yang digunakan pada riset ini berbeda dari riset sebelumnya yaitu dengan metode GTMA. Metode ini biasa diterapkan untuk mengevaluasi machinability index dan lebih sederhana dari metode lain. Harapannya untuk persentase akurasi penelitian ini akan lebih besar dari penelitian sebelumnya yang mencapai 60.842%.

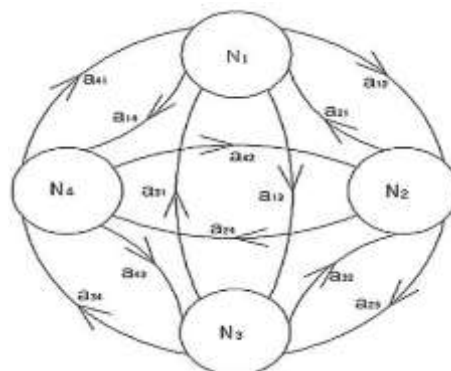
3. Metodologi

Pada penelitian ini menggunakan metode Graph Theory and Matrix Approach (GTMA). Metode ini termasuk dalam kategori *Multicriteria Decision Making (MCDM)*. Multicriteria decision-making (MCDM) dapat melibatkan multi obyektif secara bersamaan atau multi atribut pada alternatif yang dievaluasi. MCDM merupakan cabang dari Riset Operasi yang telah berkembang selama bertahun-tahun, yang telah menghasilkan banyak peminat di kalangan peneliti teoritis dan terapan. Permasalahan MCDM dapat diklasifikasikan dalam multi obyektif atau multi atribut berdasarkan masalah aslinya. MADM mempunyai filosofi berbeda berdasarkan pengukuran nilai utilitas, perbandingan dengan tingkat referensi dan outranking. Weighted-sum model (WSM), weighted-product model (WPM), AHP model, TOPSIS, ELECTRE model, decision-making trial and evaluation laboratory (DEMATEL) dan preference ranking organization method for enrichment of evaluations (PROMETHEE) adalah beberapa metode MCDM yang banyak digunakan [9].

3.1 Graph Theory and Matrix Approach (GTMA)

GTMA adalah sebuah metode MCDM yang diturunkan dari matematika kombinatorik. Metode GTMA menggunakan graf yang merepresentasikan kriteria yang dipilih dan keterkaitan node (simpul) dan edge (garis), dimana matriks mengubah graf ke dalam bentuk matematik. Peringkat/ranking dari alternatif-altrnatif ditentukan menggunakan fungsi permanen. Metode GTMA pertama diadopsi oleh Gandhi dan Agrawal (1992, 1994) untuk menilai kesalahan/error dan analisis efek dari sistem mekanis. Kemudian Rao dan Gandhi (2001, 2002) menerapkan GTMA dalam bidang permesinan industry untuk mengevaluasi machinability index. Kemudian tahun 2007 Rao mempresentasikan metodologi secara detail. Metode GTMA menjadi sebuah MCDM tool dalam bidang teknik dan teknologi secara pesat [13].

Sebuah graf disusun atas dua obyek, $G = (N, A)$ dimana himpunan $N = \{N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_M\}$ yang elemennya dinamakan nodes, dan himpunan lain $A = \{a_{12}, a_{21}, \dots, a_{ij}, a_{ji}, \dots\}$ yang elemennya dinamakan edges. Pada Gambar 4, sebuah node N_i menyatakan kriteria ke-i, dan graf berarah a_{ij} dari node-i ke node-j menyatakan nilai kepentingan dari kriteria ke-i terhadap kriteria ke-j [9].



Gambar 2. Graf representasi

Prinsip GTMA dari MCDM mengikuti langkah-langkah berikut:

Langkah 1 : Membangun Matriks Keputusan

Misalkan matriks D dari K alternatif dan M kriteria, dengan x_{pj} menyatakan nilai alternatif ke- p terhadap kriteria ke- j .

$$D = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1j} & \dots & x_{1M} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2j} & \dots & x_{2M} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ x_{pj} & x_{p2} & \dots & x_{pj} & \dots & x_{pM} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ x_{k1} & x_{k2} & \dots & x_{kj} & \dots & x_{kM} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Langkah 2 : Membangun Matriks Keputusan Ternormalisasi

Langkah ini mengubah elemen dari matriks keputusan kedalam elemen tak-berdimensi yang sebanding. Transformasi data ini bertujuan untuk mengefektifkan proses komputasi sehingga tidak berat prosesnya. Untuk kriteria benefit j , nilai ternormalisasi dari alternatif ke- p diestimasi oleh

$$r_{pj} = \frac{x_{pj}}{x_{uj}} \quad (2)$$

Dengan x_{uj} nilai maksimum dari kriteria ke- j diantara semua alternatif. Dalam kasus kriteria cost j , nilai ternormalisasi dari alternatif ke- p diestimasi oleh

$$r_{pj} = \frac{x_{lj}}{x_{pj}} \quad (3)$$

Dengan x_{lj} nilai minimum dari kriteria ke- j diantara semua alternatif. Sehingga diperoleh matriks keputusan ternormalisasi R yang diekspresikan sebagai berikut

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1j} & \dots & r_{1M} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2j} & \dots & r_{2M} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ r_{pj} & r_{p2} & \dots & r_{pj} & \dots & r_{pM} \\ \vdots & \dots & \dots & \dots & \dots & \vdots \\ r_{k1} & r_{k2} & \dots & r_{kj} & \dots & r_{kM} \end{bmatrix} \quad (4)$$

Langkah 3 : Membangun Matriks Keputusan Ternormalisasi

Matriks kriteria kepentingan relative E direpresentasikan dalam persamaan (5). Kepentingan relative diantara dua kriteria a_{ij} untuk permasalahan MCDM yang terdapat dalam selang $0 - 1$. Jika a_{ij} menyatakan kepentingan relative dari kriteria- i terhadap kriteria- j , maka kepentingan relative dari kriteria- j terhadap kriteria- i memenuhi

$$a_{ji} = 1 - a_{ij} \quad (5)$$

Sehingga diperoleh matriks E sebagai berikut

$$E = \begin{bmatrix} - & a_{12} \dots a_{1j} \dots & a_{1M} \\ a_{21} & - & a_{2j} \dots & a_{2M} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{j1} & a_{j2} \dots - & \dots & a_{jM} \\ \vdots & \dots & \dots & \vdots \\ a_{M1} & a_{M2} \dots a_{Mj} \dots & - & \dots \end{bmatrix} \quad (6)$$

Tabel 1. Nilai Kepentingan Relatif Pada Skala 3-titik [13]

Deskripsi kelas	Kepentingan relatif	
	a_{ij}	$a_{ji} = 1 - a_{ij}$
Satu kriteria kurang penting daripada kriteria kedua	0.17	0.83
Dua kriteria sama penting	0.5	0.5
Satu kriteria lebih penting daripada kriteria kedua	0.83	0.17

Tabel 2. Nilai Kepentingan Relatif Pada Skala 5-titik [13]

Deskripsi kelas	Kepentingan relatif	
	a_{ij}	$a_{ji} = 1 - a_{ij}$
Satu kriteria sangat kurang penting daripada kriteria kedua	0.11	0.89
Satu kriteria kurang penting dari kriteria kedua	0.3	0.7
Dua kriteria sama penting	0.5	0.5
Satu kriteria lebih penting daripada kriteria kedua	0.7	0.3
Satu kriteria sangat lebih penting daripada kriteria kedua	0.89	0.11

Langkah 4 : Menentukan Matriks Kepentingan Relatif untuk Tiap Alternatif

Di langkah ini, diagonal matriks E (persamaan 6) diisi dengan nilai ternormalisasi dari masing-masing alternatif. r_{pj} adalah nilai ternormalisasi dari kriteria ke-j untuk alternatif ke-p. Sehingga untuk alternatif ke-p, matriks kepentingan relative ditulis sebagai

$$H_p = \begin{bmatrix} r_{p1} & a_{12} \dots a_{1j} \dots & a_{1M} \\ a_{21} & r_{p2} \dots a_{2j} \dots & a_{2M} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{j1} & a_{j2} \dots r_{pj} \dots & a_{jM} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ a_{M1} & a_{M2} \dots a_{Mj} \dots & r_{pM} \end{bmatrix} \tag{7}$$

Langkah 5 : Menentukan Permanen dari Matriks Kepentingan Relatif untuk Tiap Alternatif

Pada langkah ini, permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif dihitung. Permanen dari matriks persegi $M \times M$, H_p , dituliskan sebagai berikut

$$per(H_p) = \sum_{\sigma \in S_M} \prod_{j=1}^M a_{j,\sigma(j)} \tag{8}$$

Dimana jumlah tersebut diperluas ke semua elemen dari grup simetris S_M , dimana semua permutasi dari indeks 1, 2, ..., M. Jika tanda permutasi $\sigma \in S_M$ diekspresikan oleh

$$sgn(\sigma) = \begin{cases} 1, & \text{untuk } \sigma \text{ genap} \\ -1 & \text{untuk } \sigma \text{ ganjil} \end{cases} \tag{9}$$

Maka determinan dari matriks H_p didefinisikan oleh

$$\det(H_p) = \sum_{\sigma \in S_M} sgn(\sigma) \prod_{j=1}^M a_{j,\sigma(j)} \tag{10}$$

Langkah 6 : Peringkat Sesuai Urutan Hasil

Semua alternatif sekarang diurutkan secara menurun (descend) berdasarkan nilai $per(H_p)$. Dengan demikian, alternatif terbaik dan terburuk memiliki nilai H_p tertinggi dan terendah.

3.2 Hamming Distance

Hamming distance merupakan suatu metode yang digunakan untuk menghitung jarak antara dua vektor biner. Semakin kecil jarak tersebut maka semakin besar kemiripannya. Objek

dalam vektor tersebut dapat berupa huruf, bit, atau digit decimal atau bilangan [6]. Sebagai contoh, jarak Hamming antara :

“Karina” dan “karimana” adalah 4.

“Karina” dan “kirana” adalah 2.

“Krisna” dan “kresna” adalah 1.

“Karimah” dan “kenimah” adalah 3.

0000 dan 1111 adalah 4.

Hamming distance akan digunakan untuk menghitung akurasi dari hasil program GTMA, dengan menilai persentase hasil benar.

4. Hasil dan Pembahasan

Pada tahap ini akan dijelaskan sampel data yang akan digunakan. Kemudian proses metode GTMA hingga mendapatkan hasil akhir serta pengujian akurasi metode dari hasil akhir tersebut.

4.1 Data yang digunakan

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data varietas unggul kedelai yang dirilis dari buku BALITKABI [5]. Total data sebanyak 85 dataset dan sampel diambil dengan Teknik purpose sampling menurut Slovin sebanyak 46 dataset dengan error 10%. Detail data ditunjukkan oleh Tabel 3. Dengan demikian, untuk implementasi GTMA ini menggunakan 46 alternatif dan 5 kriteria yaitu kadar protein (%), kadar lemak (%), rata-rata hasil (ton/ha), potensi hasil (ton/ha), dan umur matang (hari).

Tabel 3. Data Sampel Varietas Unggul Kedelai

No	Varietas	Kadar protein (%)	Kadar lemak (%)	Rata-rata hasil (ton/ha)	Potensi hasil (ton/ha)	Umur matang (hari)
1	Grobogan	43.9	18.4	2.77	3.4	76
2	Baluran	40	22	3	3.5	80
3	Anjasmoro	42.1	18.6	2.14	2.25	88
4	Burangrang	39	20	2.05	2.5	81
5	Argomulyo	39.4	20.8	1.75	2	81
6	Devon 1	34.8	17.34	2.75	3.09	83
7	Dena 1	36.7	18.8	1.7	2.9	78
8	Dering 1	34.2	17.1	2	2.8	81
9	Orba	37	18	1.5	1.5	88
10	Galunggung	44.4	19.9	1.5	1.5	88
11	Gepak Kuning	35.38	15.1	2.22	2.86	73
12	Mallika	37	20	2.34	2.94	88
13	Wilis	37	18	1.6	1.6	88
14	Dempo	41	18	1.5	1.5	91
15	Kerinci	42	14	1.7	1.7	87
16	Raung	39	14	1.6	1.6	85
17	Merbabu	45	20	1.6	1.6	85
18	Tidar	37	20	1.4	1.4	75
19	Muria	36	21.5	1.8	1.8	88
20	Gumitir	32.1	19	2.08	2.41	81
21	Tambora	39	17	1.5	1.5	86
...
46	Otau	35	19.3	2.1	3.2	80

Sebelum dilakukan implementasi metode GTMA, pertama kali data mentah (raw data) dilakukan pre-processing terlebih dahulu. Pre-processing ini bertujuan untuk mentransformasi data menjadi data setara dengan ragam (variance) yang lebih kecil. Hal ini berguna untuk proses komputasi sehingga waktu yang diperlukan lebih cepat. Selain itu, transformasi data juga dapat menjadikan hasil komputasi sangat sesuai dengan asumsi-asumsi yang mendasari analisisnya. Pada penelitian ini digunakan transformasi min-max.

4.2 Proses Metode GTMA

Berdasarkan langkah-langkah yang diuraikan di Bagian Metode dan masukan data yang telah dilakukan pre-processing, maka langkah-langkahnya sebagai berikut:

Langkah 1: Membangun matriks keputusan

Berdasarkan data varietas kedelai yang diambil dari Tabel 3 dan telah dilakukan pre-processing, matriks keputusan x dapat ditulis sebagai berikut

$$x = \begin{bmatrix} 43.9 & 18.4 & 27.7 & 34 & 76; \\ 40 & 22 & 30 & 35 & 80; \\ 42.1 & 18.6 & 21.4 & 22.5 & 88; \\ 39 & 20 & 20.5 & 25 & 81; \\ 39.4 & 20.8 & 17.5 & 20 & 81; \\ 34.8 & 17.34 & 27.5 & 30.9 & 83; \\ 36.7 & 18.8 & 17 & 29 & 78; \\ 34.2 & 17.1 & 20 & 28 & 81 \end{bmatrix};$$

Gambar 5. Hasil input dataset ke program

Langkah 2: Membangun matriks keputusan ternormalisasi

Kolom pertama sampai kolom keempat dari matriks x tersebut adalah kriteria benefit. Sedangkan kolom kelima dari matriks x adalah kriteria cost. Dengan menggunakan persamaan (2) dan (3) diperoleh matriks keputusan ternormalisasi R yang ditunjukkan oleh Gambar 6.

	1	2	3	4	5
1	0.8478	0.9091	0.6833	0.6545	0.8765
2	0.9543	0.8364	0.9233	0.8901	0.9342
3	0.8696	1	1	0.9162	0.8875
4	0.8565	0.9455	0.5833	0.5236	0.8765
5	0.8565	0.9455	0.5833	0.5236	0.8765
6	0.9152	0.8455	0.7133	0.5890	0.8068
7	0.7978	0.8545	0.5667	0.7592	0.9103
8	0.7435	0.7773	0.6667	0.7330	0.8765
9	0.8043	0.8182	0.5000	0.3927	0.8068
10	0.9652	0.9045	0.5000	0.3927	0.8068
11	0.7691	0.6864	0.7400	0.7487	0.9726
12	0.8043	0.9091	0.7800	0.7696	0.8068
13	0.8043	0.8182	0.5333	0.4188	0.8068

Gambar 6. Matriks ternormalisasi

Langkah 3: Membangun matriks kriteria kepentingan relatif

Pada kasus pertama ini diterapkan bahwa satu kriteria lebih penting dari kriteria kedua, dan menggunakan skala 3-titik. Tampak dari Tabel 1 nilai $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$ untuk beberapa kriteria. Hal ini berarti bahwa jika kriteria 3 rata-rata hasil lebih penting dari kriteria 1 kadar protein maka $a_{31} = 0.83$ dan $a_{13} = 0.17$. Kemudian kriteria 1 kadar protein sama pentingnya dengan kriteria 2 kadar lemak maka didapatkan $a_{12} = 0.5$ dan $a_{21} = 0.5$. dan seterusnya hingga membentuk matriks kepentingan relatif E sebagai berikut

	1	2	3	4	5
1	0	0.5000	0.8300	0.8300	0.8300
2	0.5000	0	0.8300	0.8300	0.8300
3	0.1700	0.1700	0	0.5000	0.5000
4	0.1700	0.1700	0.5000	0	0.5000
5	0.1700	0.1700	0.5000	0.5000	0

Gambar 7. Matriks kriteria kepentingan relatif dengan $a_{13} = 0.83$ dan $a_{31} = 0.17$

Langkah 4: Menentukan matriks kepentingan relative untuk tiap alternatif

Pada langkah ini, matriks E yang telah didapatkan dari langkah 3, diagonal matriks E tersebut yang awalnya berisi 0 diisi dengan nilai ternormalisasi dari masing-masing alternatif. Dengan persamaan (2) dan (3) didapatkan r_{pj} yaitu nilai ternormalisasi dari kriteria ke- j untuk alternatif ke- p . Sehingga diperoleh nilai

$$r_{11} = 0.779 ; r_{22} = 0.7773 ; r_{33} = 0.6667 ; r_{44} = 0.8 ; r_{55} = 0.9383$$

kemudian matriks E menjadi matriks H_p seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 8.

	1	2	3	4	5
1	0.8348	0.5000	0.8300	0.8300	0.8300
2	0.5000	0.8409	0.8300	0.8300	0.8300
3	0.1700	0.1700	0.8000	0.5000	0.5000
4	0.1700	0.1700	0.5000	0.9162	0.5000
5	0.1700	0.1700	0.5000	0.5000	0.8161

Gambar 8. Matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif

Langkah 5: Menentukan permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif

Pada langkah ini, dihitung permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif. Permanen dari matriks kepentingan relatif diperoleh dari determinan dari matriks H_p tersebut. Sehingga diperoleh 46 nilai permanen dari setiap alternatif sebagai hasil skor akhir dari GTMA ini. Dari hasil yang ditunjukkan pada Figure 5, tidak menutup kemungkinan terdapat beberapa alternatif dengan nilai akhir sama. Hal ini tentunya akan menjadikan hasil perankingan menjadi agak bias, karena untuk menentukan alternatif mana yang lebih diatas akan menjadi masalah baru. Untuk menghadapi fenomena dan temuan hasil seperti ini, akan dikembalikan pada analis atau stakeholder yang bersangkutan. Analis atau stakeholder dapat mempertimbangkan beberapa karakteristik penting lain, misalnya kondisi tanah yang sesuai, dan ketahanan terhadap hama dan cuaca tentu akan sangat membantu menemukan solusi dari permasalahan ini.

1	2	1	2	1	2	1	2
1	4.0024	13	3.0194	25	3.0567	37	3.9201
2	5.2031	14	3.0176	26	3.4642	38	3.9136
3	5.5430	15	2.9976	27	2.8127	39	3.7899
4	3.6491	16	2.8511	28	3.3660	40	3.2717
5	3.6491	17	3.4477	29	3.1705	41	3.3137
6	3.8207	18	3.1318	30	3.1433	42	3.1221
7	3.8273	19	3.4043	31	3.4334	43	5.1349
8	3.6729	20	3.6096	32	3.3905	44	3.4264
9	2.9316	21	2.9500	33	3.4376	45	3.6105
10	3.2805	22	3.1655	34	3.7254	46	4.4617
11	3.8532	23	3.0318	35	3.4472		
12	4.1974	24	2.9123	36	3.6391		

Gambar 9. Hasil nilai permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif

Langkah 6: Mengurutkan nilai permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif untuk mendapatkan peringkat terbaik

Pada langkah ini, semua alternatif diurutkan secara menurun (descend) menurut nilai permanen matriks kepentingan relatif, $per(H_p)$. Dengan demikian, terbaik memiliki nilai $per(H_p)$ tertinggi dan alternatif terburuk memiliki nilai $per(H_p)$ terendah.

Tabel 4. Hasil Perankingan 15 Skor Teratas oleh GTMA, parameter $a_{ij} = 0.83, a_{ji} = 0.17$

Rank	Skor	Varietas No	Nama
1	5.543	3	Baluran
2	5.2031	2	Grobogan
3	5.1349	43	Dega 1
4	4.4617	46	Mutiara 2

Rank	Skor	Varietas No	Nama
5	4.1974	12	Mallika
6	4.0024	1	Burangrang
7	3.9281	37	Leuser
8	3.9136	38	Bromo
9	3.8532	11	Gepak Kuning
10	3.8273	7	Dena 1
11	3.8207	6	Anjasmoro
12	3.7899	39	Kawi
13	3.7254	34	Mahameru
14	3.6729	8	Dering 1
15	3.6491	4	Argomulyo

Pada penelitian ini dilakukan simulasi sebanyak 2 kali dengan parameter berbeda. Untuk kasus pertama digunakan tingkat kepentingan berbeda antar kriteria yaitu $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$ seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Sedangkan kasus kedua akan digunakan tingkat kepentingan yang sama antara dua kriteria. Sehingga nilai $a_{ij} = a_{ji} = 0.5$ dan matriks kriteria kepentingan relatif ditunjukkan oleh Gambar 11.

	1	2	3	4	5
1	0	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
2	0.5000	0	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5000	0	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0	0.5000
5	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0

Gambar 11. Hasil Matriks kriteria kepentingan relatif simulasi kedua dengan $a_{ij} = a_{ji} = 0.5$

Langkah yang digunakan sama dengan kasus pertama. Diawali dengan membangun matriks keputusan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan normalisasi matriks keputusan, dan diperoleh hasil matriks ternormalisasi yang sama dengan Gambar 5. Matriks ternormalisasi tersebut berukuran 46×5 karena menyesuaikan dengan 46 objek/alternatif dan 5 kriteria. Kemudian dilanjutkan dengan langkah ketiga yakni membangun matriks kriteria kepentingan relatif. Setelah itu, dilanjutkan dengan menentukan matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif. Dengan menggunakan persamaan Matriks kepentingan (2) dan (3) didapatkan r_{pj} yaitu nilai ternormalisasi dari kriteria ke-j untuk alternatif ke-p, untuk mengisi diagonal matriks dari Gambar 11, sehingga diperoleh matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif yang baru seperti ditunjukkan oleh Gambar 12.

	1	2	3	4	5
1	0.8348	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
2	0.5000	0.8409	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.8000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0.9162	0.5000
5	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.8161

Gambar 12. Update Matriks Kriteria Kepentingan Relatif

Setelah memperbarui matriks kriteria kepentingan relatif, matriks ini akan digunakan untuk menghitung nilai permanen dari tiap alternatif. Sehingga diperoleh 46 nilai permanen dari setiap alternatif sebagai hasil skor akhir dari GTMA.

Setelah mendapatkan nilai permanen dari matriks kepentingan relatif untuk tiap alternatif, maka sebagai langkah terakhir nilai permanen tersebut diurutkan secara menurun (descend). Nilai permanen tertinggi sebagai alternatif terbaik atau yang paling dikehendaki, sedangkan nilai permanen terendah sebagai alternatif terburuk atau yang paling tidak dikehendaki.

Matriks nilai permanen yang diperoleh merupakan hasil akhir dari metode GTMA. Matriks tersebut harus diurutkan nilainya dari nilai terbesar sampai nilai terkecil. Nilai terbesar menjadi peringkat pertama dalam perankingan ini yang berarti alternatif tersebut dinyatakan sebagai alternatif terbaik berdasarkan lima kriteria atau variable yang dinyatakan di awal proses.

4.3 Hasil dan Pengujian Metode GTMA

Gambar 14 untuk lebih jelasnya dapat diinterpretasikan sebagai Tabel 5. Tabel 5 menunjukkan urutan varietas kedelai terbaik (memiliki skor atau nilai permanen tertinggi) pertama sampai keduapuluh.

Tabel 5. Hasil Perankingan 15 Skor Teratas oleh GTMA, $a_{ij} = a_{ji} = 0.5$

Rank	Skor	Varietas No	Nama
1	8.9288	3	Baluran
2	8.4657	2	Grobogan
3	8.4245	43	Dega 1
4	7.4194	46	Mutiara 2
5	7.0179	12	Mallika
6	6.7174	1	Burangrang
7	6.6052	37	Leuser
8	6.5893	38	Bromo
9	6.5787	11	Gepak Kuning
10	6.4879	7	Dena 1
11	6.4438	6	Anjasmoro
12	6.4302	39	Kawi
13	6.3037	34	Mahameru
14	6.2852	8	Dering 1
15	6.1879	36	Manglayang

Hasil dari kedua simulasi ditunjukkan oleh Tabel 4 dan Tabel 5. Simulasi yang pertama dengan parameter $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$ menghasilkan output Tabel 4. Kemudian simulasi kedua dengan parameter $a_{ij} = a_{ji} = 0.5$ menghasilkan output Tabel 5. Hasil perankingan varietas dari Tabel 4 dan Tabel 5 tampak sama dimulai dari ranking 1 sampai ranking 14, kemudian mulai berbeda hasil dari ranking 15 ke bawah. Tabel 6 menunjukkan hasil perbandingan simulasi GTMA dengan parameter yang berbeda. Untuk simulasi pertama mengambil parameter $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$. Waktu yang dibutuhkan untuk merunning program sebesar 2.503143 detik dan akurasi sebesar 86.95%.

Tabel 6. Perbandingan akurasi beberapa parameter

Simulasi	a_{ij}	$a_{ji} = 1 - a_{ij}$	Time (s)	Akurasi
GTMA 1	0.83	0.17	2.503143	40/46 = 86.95%
GTMA 2	0.5	0.5	2.005729	36/46 = 78.26%

Sedangkan untuk simulasi kedua mengambil parameter $a_{ij} = 0.5$ dan $a_{ji} = 0.5$ dan waktu yang dibutuhkan sebesar 2.005729 detik. Akurasi yang didapatkan sebesar 78.26%. dari segi waktu running tidak jauh berbeda antara dua parameter yang berbeda tersebut. Sedangkan untuk akurasi menggunakan metode Hamming distance. Akurasi dari kedua simulasi memiliki selisih yang tidak terlalu besar yaitu 86.95%. Akurasi simulasi pertama dengan parameter $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$ menghasilkan akurasi tertinggi. Kondisi pertama ini lebih mirip dengan keadaan real daripada kondisi kedua. Pada kondisi pertama dinyatakan kriteria rata-rata hasil dan potensi hasil lebih penting daripada kadar protein dan kadar lemak. Kondisi pertama yang mirip dengan kondisi real mengakibatkan tingkat akurasi yang dihasilkan lebih tinggi.

Riset ini menghasilkan output yang berbeda dengan riset sebelumnya yang menggunakan metode AHP. Hasil ranking pemilihan dengan AHP dan GTMA untuk varietas kedelai berumur genjah berbeda pada ranking pertama hingga ketiga. Sedangkan pada ranking keempat dan seterusnya sama hasilnya. Selanjutnya untuk varietas kedelai biji besar menghasilkan output yang hampir sama dengan riset sebelumnya. Perbedaan ada pada ranking kelima hingga ketujuh dengan urutan yang berbeda namun varietas sama. Kemudian dari aspek tingkat akurasi didapatkan rata-rata persentase akurasi yang lebih tinggi yakni 82.605%.

5. Simpulan

Dari implementasi dan analisis yang telah dilakukan dapat diambil beberapa konklusi sebagai berikut. Penerapan Graph Theory and Matrix Approach (GTMA) pada pemilihan varietas unggul kedelai menggunakan lima kriteria utama yaitu kriteria kadar protein, kadar lemak, rata-rata hasil, potensi hasil, dan umur polong matang. Sebelum dilakukan pemilihan varietas unggul terbaik, terlebih dahulu dilakukan pre-processing yaitu transformasi data. Kemudian langkah-langkah GTMA diikuti dengan parameter kepentingan relatif tiap kriteria tertentu salah satunya yakni menggunakan parameter $a_{ij} = 0.83$ dan $a_{ji} = 0.17$. Hasil yang didapatkan yaitu varietas terbaik dari 46 dataset yaitu varietas Baluran, Grobogan, Dega 1, Mutiara 2, Mallika, dan Burangrang. Tingkat akurasi yang dihasilkan sebesar 86.95%. Dengan demikian, pemilihan varietas unggul kedelai dengan metode GTMA dinyatakan baik dan layak digunakan. Tingkat akurasi dari GTMA ditentukan oleh besarnya nilai parameter kriteria kepentingan relatif.

Daftar Referensi

- [1] J. H. H. Prawiro, "Penerapan TOPSIS pada Sistem Pemilihan Kedelai di Balai Penelitian Tanaman Aneka Kacang dan Umbi BALITKABI," Institut Teknologi Nasional Malang, 2019.
- [2] Badan Pusat Statistik, "Statistik Pertanian Indonesia," *Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Tanaman Pangan Jakarta*, 2015. .
- [3] Badan Pusat Statistik, "Statistik Pertanian Indonesia," *Badan Pusat Statistik dan Direktorat Jenderal Tanaman Pangan Jakarta*, 2016. .
- [4] M. M. D. Widiarta, T. Rizaldi, D. P. S. Setyohadi, and H. Y. Riskiawan, "Comparison of Multi-Criteria Decision Support Methods (AHP, TOPSIS, SAW & PROMENTHEE) for Employee Placement," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 953, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1742-6596/953/1/012116.
- [5] S. (Balai P. K. dan U. Suhartina, *Perkembangan dan Deskripsi Varietas Unggul Kedelai 1918-2016*, 2nd ed. Malang: BALITKABI Malang, 2016.
- [6] E. N. S. Purnomo, S. W. Sihwi, and R. Anggrainingsih, "Analisis Perbandingan Menggunakan Metode AHP, TOPSIS dan AHP-TOPSIS dalam Studi Kasus Sistem Pendukung Keputusan Penerimaan Siswa Program Akselerasi," *J. Itsmart*, vol. 2, no. 1, pp. 6–23, 2013.
- [7] K. Pertanian, *Outlook Kedelai, Komoditas Pertanian Subsektor Tanaman Pangan*. Indonesia: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian, 2019.
- [8] A. Prasetyo, T. M. Akhriza, and D. Wahyuningsih, "Implementasi Metode Analytical Hierarchy Process dalam Pemilihan Varietas Unggul Tanaman Kedelai di BALITKABI Malang," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi (Sentik)*, 2020, pp. 143–157.
- [9] A. Ghosh, P. Mal, and A. Majumdar, *Advanced Optimization And Decision-Making Techniques in Textile Manufacturing*. United Kingdom: CRC Press, Taylor and Francis Group, 2019.
- [10] N. K. Geetha and P. Sekar, "Graph Theory Matrix Approach - A Qualitative Decision Making Tool," in *Int COntference on Advancements in Aeromechanical Materials for Manufacturing (ICAAMM) 2016, 2017*, pp. 7741–7749, [Online]. Available: sciencedirect.com.
- [11] R. V. Rao, "Multiple Attribute Decision Making in the Manufacturing Environment," in *Decision Making in Manufacturing Environment Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods Vol.2*, 2nd ed., India: Springer Series in Advanced Manufacturing, 2013, pp. 1–5.
- [12] S. Hosouli, J. Elvins, J. Searle, S. Boudjabeur, B. Jordan, and E. Jewell, "A Multi-Criteria Decision Making (MCDM) Methodology For High Temperature Thermochemical Storage Material Selection Using Graph Theory and Matrix Approach," *J. Mater. Des.*, vol. 227, no. 111685, p. 10, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2023.111685>.
- [13] R. V. Rao and O. P. Gandhi, *Decision Making in the Manufacturing Environment: Using Graph Theory and Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods*. London: Springer, 2007.
- [14] C. Imam, J. Santony, and Y. Yuhandri, "Sistem Pendukung Keputusan Spesifikasi Biji Jagung Berkualitas Terbaik Dengan Metode Multi Atribute Utility Theory," *J. Komtekinfo*, vol. 5, no. 3, pp. 10–19, 2019.

- [15] D. Aldo, "Rekomendasi Kualitas Getah Karet Terbaik Berbasis Sistem Pendukung Keputusan dengan Metode MAUT," *J. Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 4, no. 3, pp. 1592–1602, 2022.