

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Prosedur Penelitian**

Dalam mencapai tujuan penelitian, diperlukan prosedur penelitian yang terstruktur dan sistematis sebagai panduan dalam melakukan penelitian. Langkah pertama yang dilakukan yaitu studi literatur dengan mencari serta mengumpulkan data dan informasi yang berkaitan dengan topik penelitian yaitu PLTN, NPP (*Nuclear Power Plant*) *Site Selection*, *Fuzzy-AHP*, dan *Fuzzy-TOPSIS*. Data dan informasi tersebut diperoleh dari publikasi para *expert* dalam jurnal-jurnal nasional maupun internasional yang bersumber dari basis data *Google Scholar*, *Scienceoghdirect*, *IEEE*, *Researchgate*, dan lain-lain. Berdasarkan studi literatur yang telah dilakukan, diperoleh kriteria-kriteria pendukung untuk pemilihan lokasi PLTN selanjutnya, dilakukan penilaian bobot kriteria berdasarkan pendapat para *expert* secara global. Untuk menentukan urutan prioritas kriteria dapat dilakukan menggunakan metode AHP yang perhitungannya dilakukan secara manual dengan bantuan *software Microsoft Excel* dan *Expert Choice*. Jika *Consistent Ratio* (CR) pada bobot penilaian  $\leq 0,1$  atau 10% maka dapat dikatakan konsisten. Nilai dari matriks berpasangan dan vektor prioritas pada metode AHP digunakan untuk melakukan perhitungan lanjut pada metode *Fuzzy-AHP* dan *Fuzzy-TOPSIS* untuk menentukan lokasi sesuai kriteria.

#### **3.2 Karakteristik Area Studi**

Lokasi yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah provinsi Kalimantan Barat dan provinsi Kalimantan Timur yang terletak di pulau Kalimantan. Kedua provinsi tersebut memiliki potensi sebagai alternatif tapak PLTN. Kalimantan Barat merupakan wilayah yang berbatasan dengan Serawal Malaysia pada bagian utara, laut Natuna dan Selat Karimata pada bagian barat, Kalimantan timur pada bagian timur, dan Laut Jawa dan Kalimantan Tengah pada bagian selatan. Provinsi ini memiliki luas sekitar 146.807 km<sup>2</sup> yang sebagian besar merupakan dataran rendah dengan jumlah penduduk pada tahun 2022 sebesar 5,54 juta jiwa dengan kepadatan

penduduk 38 jiwa/km<sup>2</sup>. Sekitar 42,32% dari luas tanah Kalimantan Barat adalah hutan, padang/semak belukar 34,11% dan hanya 0,83% untuk pemukiman warga. Karena sebagian besar merupakan dataran rendah, gunung-gunung yang ada relatif rendah dan tidak aktif, kebanyakan wilayah Kalimantan Barat memiliki jenis tanah PMK (podsolet merah kuning), tanah OGH (organosol, gley, dan humus), dan tanah aluvial. Dari banyaknya sungai di Kalimantan Barat, terdapat 3 wilayah sungai yang merupakan kewenangan provinsi Kalimantan Barat yaitu wilayah sungai Sambas, Mempawah, dan Pawan. Pada Januari 2023 suhu rata-rata berkisar 25,9°C – 27,3°C, dengan suhu maksimum 34,6°C dan suhu minimum 21,6°C, kelembaban udara rata-rata 84%-91%, tekanan udara rata-rata 1007,48 mb – 1010,3 mb, curah hujan tertinggi sebesar 715mm dengan jumlah hari hujan terbanyak 22 hari. Sedangkan, provinsi Kalimantan Timur yang berbatasan dengan Kalimantan Utara pada bagian utara, Kalimantan Selatan pada bagian selatan, dan Kalimantan Barat, Kalimantan Tengah dan Malaysia pada bagian barat. Kalimantan Timur memiliki kawasan hutan lindung, hutan produksi, perkebunan, pertanian, suaka alam dan pelestarian alam, provinsi Kalimantan timur memiliki luas wilayah 127.347 km<sup>2</sup> dengan jumlah penduduk 3,79 juta jiwa menjadikan Samarinda sebagai ibukota provinsi Kalimantan Timur dengan penduduk terbesar dengan kepadatan penduduk 1.062jiwa/km<sup>2</sup>. Kalimantan Timur memiliki topograpfi berupa daratan bergelombang dengan kemiringan landai sampai curam, terdapat 610 cekungan dan 463 daratan. Ketinggian berkisar 0 – 1500mdpl dengan kemiringan 0-40°. Suhu rata-rata berkisar 24,7° - 38,1°C, kecepatan angin 1-4 knot, kelembaban udara rata-rata 71% - 90%, jumlah curah hujan 291,7mm dengan jumlah hari hujan sebanyak 23 hari. Rata-rata lama penyinaran matahari sebesar 41%. Produksi listrik pada provinsi ini mencapai 4.189,35 juta kWH dan tercatat terdapat 193 perusahaan industri dengan industri terbanyak terdapat di Balikpapan.



**Gambar 3.1** Peta Administratif Provinsi Kalimantan Barat  
(Sumber: Peta Tematik Administratif Kalimantan Barat 2015)

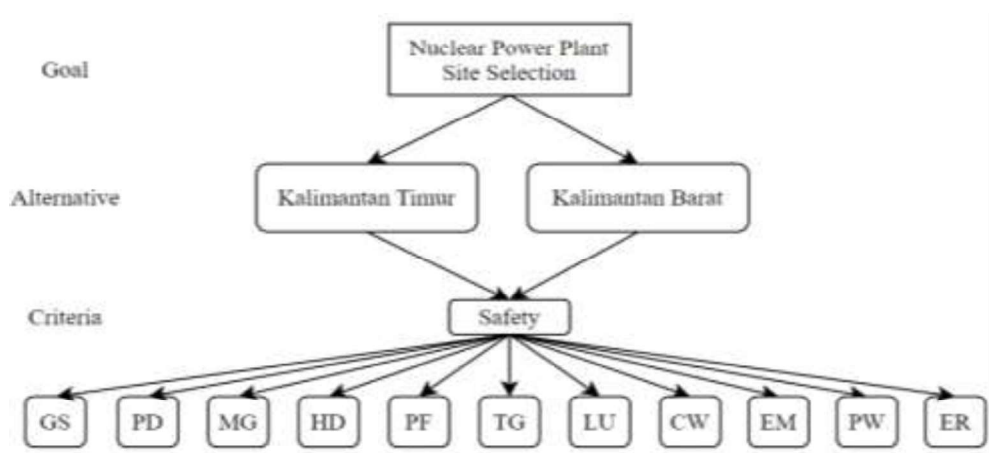


**Gambar 3.4** Peta Administratif Provinsi Kalimantan Timur  
(Sumber: Peta Tematik Administratif Kalimantan Timur 2015)

### 3.3 Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan *focus group discussion* (FGD) bersama delapan *panel expert* yang memiliki gelar doktoral di bidang sains dan teknik dan memiliki pengalaman kerja di institusi perguruan tinggi negeri dan Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) selama lebih dari 10 tahun. Para *panel*

*expert* ini terlibat dalam menetapkan kriteria untuk menentukan lokasi yang karakteristik dan kebijakannya sesuai dengan aturan yang ada di Indonesia. Para *panel expert* tersebut melibatkan beberapa tahapan yang terstruktur secara sistematis. Selain diskusi (FGD), metode studi literatur juga diterapkan sebagai upaya pengumpulan data. Tahap awal adalah melakukan penelusuran data dari berbagai sumber yang di anggap relevan, seperti jurnal ilmiah, laporan penelitian, buku, dan sumber informasi daring (*internet*) yang memiliki kredibilitas terkait dengan topik penelitian yang sedang diteliti. Proses ini bertujuan untuk memperoleh data yang komprehensif dan representatif untuk memenuhi kebutuhan penelitian. Data yang berhasil dikumpulkan dapat digunakan sebagai referensi dan sumber informasi yang mendukung dalam memperluas pemahaman terkait topik penelitian yang dilakukan serta sesuai dengan rumusan masalah. Setelah data terkumpul, tahap berikutnya adalah evaluasi dan analisis data yang diperoleh dari studi literatur dan diskusi tersebut. Data yang telah dianalisis dan dievaluasi kemudian diklasifikasikan berdasarkan kriteria dan sub-kriteria yang relevan untuk pemilihan alternatif lokasi pembangunan PLTN. Untuk menentukan kepentingan kriteria dan alternatif terpilih, dibuatkan struktur hierarki seperti pada **Gambar 3.3** dan digunakan teknik *pairwise comparison* dengan metode MCDM (*Multi Criteria Decision Maker*) untuk membandingkan dua atau lebih alternatif terhadap kriteria yang sudah ditetapkan sebelumnya.



**Gambar 3.6** Struktur Hierarki Pemilihan Lokasi PLTN

### 3.4 Metode Pengolahan Data

Dalam penelitian ini, metode AHP digunakan untuk melakukan analisis data dan menentukan nilai bobot setiap kriteria. Proses perhitungan bobot ini dilakukan menggunakan perangkat lunak *Microsoft Excel* dan *Expert Choice*, yang memiliki kemampuan untuk mengolah data dengan efektif dan efisien. Selanjutnya, agar mencapai tujuan penelitian, yaitu penentuan lokasi yang optimal untuk penempatan PLT-Nuklir, metode *Fuzzy-AHP* dan *Fuzzy-TOPSIS* diterapkan. Untuk memastikan keakuratan hasil yang diperoleh, evaluasi ulang akan dilakukan jika terdapat ketidaksesuaian atau inkonsistensi nilai yang diperoleh.

#### 3.4.1 Tahapan AHP

Hal pertama yang dilakukan dalam tahap AHP ini adalah mencari kriteria dan sub-kriteria. Kriteria-kriteria yang diperoleh dari studi literatur terkait topik penelitian akan diurutkan prioritasnya dengan maksud untuk mengetahui dan menentukan kriteria yang paling berpengaruh dalam pemilihan lokasi PLTN menggunakan metode AHP. Selanjutnya, pada metode ini dilakukan penilaian bobot yang diperoleh berdasarkan pendapat para *expert*, pembobotan menggunakan nilai seperti pada **Tabel 3.1** yang merupakan skala ketetapan metode AHP.

**Tabel 3.1** Skala AHP dari L. Saaty

Intensitas Kepentingan	Definisi	Keterangan
1	Sama pentingnya	Kedua elemen memiliki pengaruh yang sama
3	Sedikit lebih penting	Salah satu elemen sedikit lebih penting dibandingkan elemen lain
5	Lebih penting	Penilaian lebih mendukung salah satu elemen
7	Sangat penting	Salah satu elemen jelas lebih penting
9	Mutlak sangat penting	Salah satu elemen mutlak kepentingannya
2,4,6,8	Nilai jika kepentingan berada di antara dua nilai	Jika elemen memiliki kepentingan di antara dua kepastian kepentingan
1/3, 1/5, 1/7, 1/9	Kebalikan	Jika kriteria i memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kriteria j, maka nilai dari kriteria j merupakan kebalikan yang dibandingkan dengan kriteria i.

Setelah melakukan pembobotan, terdapat beberapa langkah yang harus dilakukan untuk menyelesaikan tahap AHP:

1. Membandingkan elemen secara berpasangan sesuai dengan kriteria yang telah diperoleh dan membuat matriks perbandingan berpasangan dengan bobot nilai yang telah ditentukan untuk menunjukkan pengaruh pentingnya suatu elemen terhadap elemen lainnya.
2. Melakukan normalisasi matriks dengan membagi nilai pada setiap elemen berpasangan dengan jumlah setiap kolom.
3. Menghitung nilai eigen, nilai *Consistency Index* (CI), dan *Consistency Ratio* (CR). Hirarki disebut konsisten apabila nilai  $CR \leq 0,1$ . Jika lebih dari 0,1 maka perlu dilakukan perhitungan ulang.

Nilai *Consistency Ratio* (CR) didapatkan dengan rumus berikut:

$$CR = \frac{CI}{IR} \quad (1)$$

Dimana:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n-1}$$

IR = Index Random Consistency, pada **Tabel 3.2** (Multazam et al., 2017) menunjukkan nilai yang dapat digunakan untuk IR pada metode AHP. Sedangkan ordo  $n$ , merupakan banyaknya kriteria yang digunakan.

**Tabel 3. 2** *The Average Random Consistency Index (RI)*

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IR	0	0	0,52	0,89	1,12	1,26	1,36	1,41	1,46	1,49	1,52	1,54

Untuk hasil yang lebih maksimal dilakukan perbandingan perhitungan dengan *software Microsoft Office* dan *Expert Choice*.

### 3.4.2 Tahapan *Fuzzy*-AHP

Metode *Fuzzy*-AHP merupakan metode yang dikembangkan dari AHP. Dalam teori himpunan *Fuzzy* terdapat bilangan TFN (*Triangular Fuzzy Number*) *Scale* yang terdiri dari tiga keanggotaan yaitu nilai rendah (l), nilai tengah (m), dan

nilai tertinggi (u), nilai keanggotaan didapatkan dari transformasi TFN (*Triangular Fuzzy Number*) terhadap skala AHP (Chang, 1996). Terdapat beberapa langkah yang dapat dilakukan dalam menggunakan perhitungan *Fuzzy* -AHP:

1. Melakukan perbandingan berpasangan menggunakan nilai skala TFN terhadap skala AHP

**Tabel 3.3** Skala *Triangular Fuzzy Number* (TFN)

Intensitas Kepentingan	Definisi	<i>Triangular Fuzzy Number</i> (TFN)	Kebalikan
1	Sama pentingnya	(1, 1, 1)	(1, 1, 1)
2	Relatif penting	(1/2, 1, 3/2)	(2/3, 1, 2)
3	Cukup penting	(1, 3/2, 2)	(1/2, 2/3, 1)
4	Relatif cukup penting	(3/2, 2, 5/2)	(2/5, 1/2, 2/3)
5	Penting	(2, 5/2, 3)	(1/3, 2/5, 1/2)
6	Relatif lebih penting	(1/2, 3, 7/2)	(2/7, 1/3, 2/7)
7	Sangat Penting	(3, 7/2, 4)	(1/4, 2/7, 1/3)
8	Relatif sangat penting	(7/2, 4, 9/2)	(2/9, 1/4, 2/7)
9	Mutlak Penting	(4, 9/2, 9/2)	(2/9, 2/9, 1/4)

2. Menentukan batas *Fuzzy sintesis extent* (Si)

Perhitungan *Fuzzy* dapat digunakan langkah analisis dari Chang extent (Athakorn et al., 2013; Chang, 1992). Untuk mendapatkan nilai sintesis *Fuzzy* perlu menentukan nilai masing-masing *lower* (l), *medium* (m), *upper* (u) pada kolom kriteria yang telah didapatkan dari matriks perbandingan berpasangan TFN pada setiap kolom kriteria.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \times \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1} \quad (2)$$

Dimana  $\sum_{j=1}^m M_{gi}^j$  didapatkan dari nilai pada masing-masing kolom kriteria yang dihitung lalu dijumlahkan secara keseluruhan dengan rumus:

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j = \sum_{j=1}^m l_j + \sum_{j=1}^m m_j + \sum_{j=1}^m u_j \quad (3)$$

Sedangkan untuk  $[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1}$  diperoleh dari hasil pada penjumlahan matriks, sehingga didapatkan *invers* dengan rumus:

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j]^{-1} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m u_j, \sum_{j=1}^m m_j, \sum_{j=1}^m l_j} \quad (4)$$

3. Menghitung nilai prioritas vektor

Nilai batas *Fuzzy synthetic extent* (Si) merupakan acuan untuk menentukan nilai prioritas vektor. Setelah nilai *Fuzzy sintesis* dihitung, terdapat salah satu nilai *Fuzzy sintesis* yang memiliki kemungkinan derajat lebih tinggi daripada yang lain, maka hal tersebut dapat ditentukan dengan cara berikut (Sehra et al., 2012):

$$V(M_2 \geq M_1) = \begin{cases} 1, & \text{if } m_2 \geq m_1 \\ 0, & \text{if } l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)}, & \text{other} \end{cases} \quad (5)$$

$M_1$  = nilai Si pada kriteria 1,  $M_2$  = nilai Si pada kriteria 2.

4. Menentukan nilai ordinat defuzzifikasi

Dalam menentukan nilai defuzzifikasi, digunakan nilai minimum dari hasil prioritas vektor.

Untuk  $k = 1, 2, \dots, n$ ;  $k \neq i$  maka diperoleh vektor

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (6)$$

5. Normalisasi nilai bobot vektor *weight value* dan menentukan vektor *value*.

Normalisasi ini dapat dilakukan dengan cara membagi elemen dari setiap kolom dengan jumlah kolom dan elemen setiap baris ditambahkan kemudian dijumlahkan dan dibagi dengan jumlah elemen dalam setiap baris (Perçin, 2008), sehingga diperoleh persamaan normalisasi sebagai berikut:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n))^T \quad (7)$$

Dimana:  $A_1 = 1, 2, \dots, n$  adalah elemen keputusan dan untuk menentukan

nilai pada masing-masing  $W = \frac{d'(A_1), d'(A_2), \dots, d'(A_n)}{W'}$



#### 6. *Buckley's Geometric Mean*

Penerapan algoritma *Buckley's* pada metode *Fuzzy-AHP* digunakan untuk menganalisis faktor yang berpengaruh dalam keputusan penempatan lokasi PLT-Nuklir. Model rata-rata geometrik Buckley merupakan salah satu model pengembangan dalam proses analisis hirarki berbasis keadaan yang mengadopsi konsep *Fuzzy*. Dalam model ini, digunakan angka *Fuzzy* trapesium untuk mempertimbangkan pendapat responden (Zanjirchi, 2011). Setelah melakukan berbagai tahapan *Fuzzy*, selanjutnya matriks penilaian *Fuzzy* disiapkan dan di implementasikan dengan cara berikut (Buckley, 1985; Ali et al., 2017):

$$r_i = \left( \prod_{j=1}^m a_{ij} \right)^{1/m} \quad (8)$$

Nilai  $r_i$  didapatkan dengan rumus berikut:

$$r_i = \left( \prod_{j=1}^m l_{ij} \right)^{1/m}, \left( \prod_{j=1}^m m_{ij} \right)^{1/m}, \left( \prod_{j=1}^m u_{ij} \right)^{1/m} = (lri, mri, uri)$$

Bobot *Fuzzy* pada setiap kriteria kemudian dihitung menggunakan persamaan:

$$\widetilde{W}_i = \widetilde{r}_i \otimes (\widetilde{r}_1 \oplus \widetilde{r}_2 \oplus \dots \oplus \widetilde{r}_n)^{-1} \quad (9)$$

Langkah berikutnya adalah melakukan defuzzifikasi, yakni proses mengubah output  $\widetilde{W}_i$  menjadi output yang bernilai tunggal (*crisp*). Setelah diperoleh nilai *crisp* dari setiap kriteria, bobot akhir dari masing-masing kriteria dapat diketahui dengan cara menormalisasi nilai *crisp* tersebut.

#### 3.4.3 Tahapan *Fuzzy-TOPSIS*

Metode *Fuzzy-TOPSIS* merupakan metode yang menggunakan konsep alternatif terpilih tidak hanya memperhitungkan jarak terpendek dari solusi ideal positif namun, juga memiliki jarak terpanjang dari solusi ideal negatif. Pada tahapan *Fuzzy-TOPSIS* terdapat beberapa langkah yang dapat dilakukan sebagai berikut:

##### 1. Konversi data *Fuzzy*

Bobot yang didapatkan berdasarkan penilaian para *expert* kemudian di konversi ke dalam nilai *Fuzzy* seperti pada **Tabel 3.4** yang memberikan skala linguistik untuk Alternatif:

**Tabel 3.4** Linguistik *Fuzzy* terhadap Alternatif

<i>Linguistics Terms</i>	<i>Triangular Fuzzy Number (TFN)</i>
<i>Very Poor (VP)</i>	(1, 1, 3)
<i>Poor (P)</i>	(1, 3, 5)
<i>Medium Good (MG)</i>	(3, 5, 7)
<i>Good (G)</i>	(5, 7, 9)
<i>Very Good (VG)</i>	(7, 9, 9)

2. Normalisasi matrik keputusan dengan perbandingan berpasangan (*Pairwise Comparison*)

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_{ij}}{c_j^*}, \frac{b_{ij} c_{ij}}{c_j^* c_j^*} \right) \text{ and } c_j^* = \max_i a_{ij} \text{ (benefit criteria)} \quad (10)$$

$$\tilde{r}_{ij} = \left( \frac{a_j^-}{c_{ij}}, \frac{a_j^- a_j^-}{b_{ij} a_{ij}} \right) \text{ and } a_j^- = \min_i a_{ij} \text{ (cost criteria)} \quad (11)$$

Matriks yang di normalisasi adalah  $\tilde{R} = \tilde{r}_{ij}$  (Nadaban, 2016). Simbol  $\tilde{r}_{ij}$  pada persamaan diatas mewakili nilai dari bobot kriteria yang telah di normalisasi. Normalisasi dilakukan dengan membagi masing-masing skala TFN pada kriteria terhadap alternatif dengan nilai tertinggi untuk *benefit* kriteria ( $c_j^*$ ) sedangkan untuk *cost* kriteria ( $a_j^-$ ) nilai terendah dari skala TFN dibagi dengan nilai masing-masing kolom pada skala TFN. Normalisasi ini dilakukan pada setiap skala TFN kriteria terhadap alternatif.

3. Normalisasi matriks terbobot.

$$\tilde{v}_{ij} = \tilde{r}_{ij} \times w_j \quad (12)$$

Pada persamaan diatas,  $w_j$  adalah variabel yang menggunakan bobot nilai AHP yang didapatkan untuk setiap kriteria. Nilai dari bobot AHP tersebut nantinya akan dibagi dengan masing-masing hasil normalisasi skala TFN pada setiap kriteria terhadap alternatif yang telah dilakukan menggunakan persamaan (9) dan (10).

4. Menentukan *Fuzzy Positive Ideal Solution (FPIS)* dan *Fuzzy Negative Ideal Solution (FNIS)*.

$$\begin{aligned} A^+ &= (\tilde{v}_1^+, \tilde{v}_2^+, \dots, \tilde{v}_n^+) \\ A^- &= (\tilde{v}_1^-, \tilde{v}_2^-, \dots, \tilde{v}_n^-) \end{aligned} \quad (13)$$

Setelah melakukan perhitungan pada persamaan (11), ditentukan nilai maksimal dari skala *upper* (u) pada kriteria terhadap alternatif sehingga dapat dikatakan sebagai nilai dari *Fuzzy Positive Ideal Solution*, sedangkan untuk nilai dari *Fuzzy Negative Ideal Solution* didapatkan dari nilai minimal skala *low* (l) pada kriteria terhadap alternatif.

5. Menghitung jarak alternatif terhadap *Fuzzy Positive Ideal Solution* (FPIS) dan *Fuzzy Negative Ideal Solution* (FNIS).

$$\begin{aligned} D_j^+ &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}^+), i = 1, 2, \dots, m \\ D_j^- &= \sum_{j=1}^n d(\tilde{v}_{ij}^-), i = 1, 2, \dots, m \end{aligned} \quad (14)$$

Persamaan ini digunakan untuk mengukur sejauh apa jarak alternatif dalam mendekati solusi ideal positif atau solusi ideal yang diharapkan.  $D_j^+$  menyimbolkan jarak untuk alternatif positif dengan melibatkan hasil FPIS pada perhitungannya, sedangkan  $D_j^-$  merupakan simbol untuk jarak alternatif negatif yang melibatkan nilai FNIS dalam perhitungannya. Untuk mendapatkan nilai jarak alternatif pada setiap kriteria digunakan rumus sebagai berikut:

$$d(\tilde{a}, \tilde{b}) = \sqrt{\frac{1}{3} (a - a')^2 + (b - b')^2 + (c - c')^2} \quad (15)$$

6. Mencari nilai preferensi total.

Nilai preferensi total digunakan untuk menentukan alternatif terbaik. Untuk menyelesaikan masalah tersebut, digunakan rumus sebagai berikut:

$$CC_i = \frac{D^-}{D^+ - D^-}, i = 1, 2, \dots, m \quad (16)$$

Nilai dari jarak alternatif akan menentukan hasil dari nilai preferensi total, jarak alternatif terhadap FNIS akan dibagi dengan hasil kalkulasi jarak alternatif FPIS dengan FNIS.

7. Pengurutan alternatif berdasarkan prioritas atau nilai preferensi, dimana nilai preferensi tertinggi akan menjadi urutan pertama sebagai lokasi terpilih.