



Kajian Penempatan Radar Cuaca S-Band Natuna Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process

Maulana Putra^{1*}, Muhamad Habibi¹

¹ Program Profesi Insinyur, Institut Teknologi PLN Jakarta

*Corresponding Author's e-mail: maulana.putra@bmk.go.id

Article History:

Received: July 13, 2025

Revised: July 28, 2025

Accepted: July 31, 2025

Keywords:

Weather Radar, S-Band,
Analytical Hierarchy Process

Abstract: *The strategic placement of S-Band weather radar is crucial for improving the accuracy of extreme weather monitoring in archipelagic regions such as Natuna. This study aims to identify the optimal radar location by systematically considering technical and non-technical factors using the Analytical Hierarchy Process (AHP), which enables quantitative decision-making through hierarchical criteria structuring, pairwise comparisons, and consistency checks. The results indicate that power supply and land ownership status are the most influential sub-criteria in site selection. Among the two alternatives evaluated, Location A scored the highest at 0.593 compared to Location B's 0.407, making it the preferred site for radar installation. The consistency of the results was validated with a consistency ratio within the acceptable threshold. These findings confirm that AHP is a reliable and replicable method for infrastructure decision-making, particularly in supporting meteorological systems in strategic island regions.*

Copyright © 2025, The Author(s).

This is an open access article under the CC-BY-SA license



How to cite: Putra, M., & Habibi, M. (2025). Kajian Penempatan Radar Cuaca S-Band Natuna Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process. *SENTRI: Jurnal Riset Ilmiah*, 4(7), 729–736. <https://doi.org/10.55681/sentri.v4i7.4230>

PENDAHULUAN

Radar cuaca, khususnya tipe S-Band yang andal dalam mengamati fenomena hujan lebat, harus diposisikan secara strategis agar dapat mencakup area yang luas tanpa mengalami gangguan medan (beam blockage). Regulasi dunia saat ini mendeskripsikan bahwa efektivitas sistem radar sangat bergantung pada penempatan lokasi yang optimal, yakni lokasi yang memiliki cakupan bebas hambatan dengan akses infrastruktur yang memadai. Penempatan radar yang tidak tepat dapat menyebabkan terjadinya blind zone dan mengurangi kualitas data [1], yang pada akhirnya berdampak pada akurasi prediksi cuaca dan efektivitas mitigasi bencana.

Wilayah Natuna yang secara geografis terpencil namun strategis, baik secara meteorologis maupun geopolitik [2], [3], kebutuhan akan radar cuaca sangatlah tinggi. Pembangunan radar cuaca S-Band di kawasan ini menjadi penting untuk mendukung operasi pemantauan cuaca, keselamatan pelayaran dan penerbangan, serta penguatan ketahanan nasional. Diperlukan metode yang mampu mempertimbangkan faktor teknis dan non-teknis secara komprehensif untuk menentukan lokasi radar secara optimal. Tanpa pendekatan yang sistematis, penempatan radar berisiko tidak efektif dan boros biaya.

Pembahasan mengenai distribusi dan pemanfaatan radar cuaca di Indonesia telah banyak dibahas sebelumnya, terutama yang berkaitan dengan jenis radar cuaca, jangkauan pengamatan, serta fungsinya dalam sistem peringatan dini [4], [5]. Penelitian tersebut umumnya menitikberatkan pada aspek teknis operasional radar cuaca, termasuk kalibrasi data dan estimasi curah hujannya [6], [7]. Di sisi lain, pendekatan pemilihan lokasi peralatan pada umumnya lebih sering dilakukan secara deskriptif atau melalui pemetaan berbasis GIS, yang mempertimbangkan aspek geografis dan garis pandang tanpa mengukur secara sistematis bobot pentingnya setiap kriteria yang memengaruhi [8], [9]. Metodologi kuantitatif untuk mendukung keputusan lokasi radar cuaca belum diadopsi secara eksplisit pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Penelitian ini menerapkan metode Analytical Hierarchy Process (AHP) untuk pemilihan lokasi radar cuaca dengan mempertimbangkan faktor teknis dan non-teknis. Pendekatan ini tidak hanya kualitatif dan subjektif, tetapi mengukur tingkat kepentingan relatif tiap subkriteria secara terstruktur. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi dan membandingkan alternatif lokasi pemasangan radar cuaca di Natuna secara kuantitatif. Kontribusi utama penelitian ini adalah menyediakan pendekatan yang dapat direplikasi dan dapat dipertanggungjawabkan dalam pengambilan keputusan infrastruktur, khususnya pemilihan lokasi penempatan radar cuaca.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan kuantitatif berbasis metode pengambilan keputusan multikriteria untuk menentukan lokasi optimal radar cuaca S-Band di wilayah Natuna. Pemilihan metode ini didasarkan pada kebutuhan untuk mengevaluasi berbagai faktor teknis dan non-teknis yang saling berinteraksi dan berpengaruh terhadap efektivitas penempatan radar. AHP merupakan metode pendukung keputusan yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan secara sistematis untuk memecah berbagai kriteria ke dalam bentuk hierarki [10]. Dalam menyelesaikan penempatan lokasi radar cuaca S-Band di Natuna menggunakan metode AHP, ada beberapa prinsip yang harus dipahami, diantaranya adalah:

1. Menyusun Model (Struktur Hierarki) dan Merumuskan Masalah

Pemahaman terhadap masalah penentuan lokasi radar dilakukan dengan memecah permasalahan menjadi elemen-elemen pendukung yang lebih sederhana, kemudian menyusunnya ke dalam suatu struktur hierarki yang sistematis. Proses ini dimulai dengan identifikasi kriteria dan sub-kriteria yang memengaruhi keputusan, hingga akhirnya menentukan alternatif solusi yang tersedia [11]. Penyusunan hierarki ini memungkinkan pengambil keputusan untuk mengevaluasi setiap elemen secara terstruktur dan konsisten, sehingga memudahkan proses sintesis informasi dalam rangka menghasilkan keputusan yang rasional dan dapat dipertanggungjawabkan.

Setelah struktur hierarki disusun, langkah berikutnya adalah menghitung seberapa penting setiap kriteria dibandingkan dengan kriteria lainnya. Pengambil keputusan memberikan penilaian tingkat kepentingan tersebut menggunakan skala 1 hingga 9. Penjelasan rinci mengenai skala ini dapat dilihat pada Tabel 1 [12].

Tabel 1. Skala Penilaian Perbandingan Berpasangan AHP

Skala	Definisi
1	<i>Equal Importance</i> , kedua elemen dianggap sama pentingnya, tidak ada preferensi
3	<i>Moderate importance</i> , satu elemen sedikit lebih penting dari yang lain, tapi perbedaannya
5	tidak signifikan
7	<i>Strong Importance</i> , satu elemen jelas lebih penting dari yang lain
9	<i>Very strong or demonstrated importance</i> , satu elemen sangat lebih penting
2-4-6-8	<i>Extreme importance</i> , satu elemen mutlak lebih penting dari yang lain
	<i>Consensus (average) values</i> , digunakan jika penilaian berada di antara dua skala utama

2. Pembentukan Matriks Perbandingan Berpasangan dan Penentuan Bobot

Sebagai tahapan kedua dalam metode AHP, disusunlah matriks perbandingan berpasangan antar kriteria. Setelah struktur hierarki ditetapkan, langkah ini bertujuan untuk menghitung bobot atau tingkat kepentingan relatif masing-masing kriteria secara kuantitatif. Matriks tersebut memungkinkan pengambilan keputusan dilakukan secara sistematis dengan membandingkan setiap kriteria satu per satu, untuk mengetahui mana yang lebih penting dan sejauh mana perbedaannya. Bentuk umum dari matriks ini dapat dilihat pada Tabel 2 [13].

Tabel 2. Matriks Perbandingan Berpasangan Antar Kriteria

	Kriteria 1	Kriteria 1	Kriteria ...	Kriteria j
Kriteria 1	W1/W1	W1/W2	...	W1/Wj
Kriteria 2	W2/W1	W2/W2	...	W2/Wj
Kriteria ..	...	...	...	...
Kriteria i	Wi/W1	Wi/W2	...	Wi/Wj

3. Penyusunan Matriks yang Telah Dinormalisasi

Dalam metode AHP, setiap kriteria dan alternatif perlu dibandingkan secara berpasangan (*pairwise comparisons*) untuk menentukan tingkat kepentingan relatif masing-masing elemen [10]. Nilai perbandingan ini dapat disesuaikan berdasarkan penilaian yang telah ditentukan, sehingga menghasilkan bobot dan prioritas yang merefleksikan preferensi pengambil keputusan. Salah satu pendekatan yang umum digunakan adalah membentuk matriks ternormalisasi, yaitu dengan membagi setiap nilai dalam kolom terhadap jumlah total kolom tersebut. Dari matriks ini, bobot relatif ditentukan dengan menghitung rata-rata setiap baris. Selanjutnya, nilai-nilai numerik dapat diklasifikasikan ke dalam dimensi kualitatif seperti buruk, cukup, baik, sangat baik, dan istimewa, yang masing-masing diberikan nilai antara 0 hingga 1 sesuai kebutuhan kontekstual. Proses ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih sistematis, objektif, dan terstruktur.

4. Perhitungan Rasio Konsistensi (*Consistency Ratio*)

Langkah terakhir dalam metode AHP adalah memeriksa konsistensi penilaian, yang dilakukan dengan menghitung rasio konsistensi atau *Consistency Ratio* (CR). Perhitungan ini penting untuk memastikan bahwa penilaian berpasangan yang dilakukan oleh pengambil keputusan bersifat logis dan konsisten. CR dihitung dengan rumus $CR = \frac{CI}{RI}$, di mana CI adalah *Consistency Index* atau indeks konsistensi dan RI atau *Random Index* adalah nilai acak yang bergantung pada jumlah kriteria yang dibandingkan. Nilai CI sendiri dihitung dengan rumus $CI =$

$\frac{\lambda_{max}-n}{n-1}$ dengan λ_{max} sebagai nilai eigen maksimum dari matriks perbandingan dan n sebagai jumlah kriteria. Jika nilai CR kurang dari 0,1 maka penilaian dianggap konsisten dan dapat diterima. Namun, jika CR lebih dari atau sama dengan 0,1, maka perlu dilakukan evaluasi ulang terhadap penilaian tersebut karena dinilai tidak konsisten [14]. Dengan demikian, pengukuran konsistensi ini menjadi kunci untuk memastikan validitas hasil akhir dari proses pengambilan keputusan dalam AHP.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil penerapan metode AHP dalam mengevaluasi alternatif lokasi pemasangan radar cuaca S-Band. Sebagai bagian dari tahap penentuan bobot dalam metode AHP, dilakukan penyusunan matriks perbandingan berpasangan untuk menilai tingkat kepentingan relatif antar subkriteria dalam masing-masing aspek. Tabel 3 menampilkan hasil perbandingan tersebut untuk dua kelompok utama, yaitu aspek teknis dan aspek non-teknis. Dalam dokumen WMO dijelaskan bahwa pemilihan lokasi radar dipengaruhi oleh banyak faktor ekonomi dan teknis, antara lain: (a) Akses jalan menuju radar; (b) Ketersediaan daya listrik dan jaringan telekomunikasi; (c) Biaya tanah; (d) Kedekatan dengan fasilitas pemantauan dan pemeliharaan; (e) *Beam blockage*. Tidak boleh ada hambatan pada sudut lebih besar dari setengah lebar berkas di atas cakrawala, atau dengan lebar horizontal lebih besar dari setengah lebar berkas [15]. Penilaian dilakukan berdasarkan masukan dari tim teknis menggunakan skala preferensi yang dikembangkan oleh Saaty. Dalam aspek teknis yang memiliki bobot dominan sebesar 0,65, subkriteria daya listrik dinilai paling penting, ditunjukkan oleh tingginya nilai relatif terhadap subkriteria lainnya. Sementara itu, subkriteria proyeksi pemeliharaan memperoleh nilai perbandingan yang relatif lebih rendah. Pada aspek non-teknis yang berbobot 0,35, subkriteria lahan dipandang paling berpengaruh dibandingkan aksesibilitas maupun keamanan.

Tabel 3. Matriks Perbandingan Berpasangan

Kriteria	Sub Kriteria	Daya Listrik	Telekomunikasi	<i>Beam Blockage</i>	Proyeksi Pemeliharaan
Aspek Teknis (Bobot: 0,65)	Daya Listrik	1	2	3	4
	Telekomunikasi	0,5	1	2	3
	<i>Beam Blockage</i>	0,33	0,5	1	2
	Proyeksi Pemeliharaan	0,25	0,33	0,5	1
Kriteria	Sub Kriteria	Lahan	Aksesibilitas	Keamanan	-
Aspek Non Teknis (Bobot: 0,35)	Lahan	1	2	2	-
	Aksesibilitas	0,5	1	1	-
	Keamanan	0,5	1	1	-

Hasil normalisasi dari matriks perbandingan berpasangan serta bobot lokal (relatif) setiap subkriteria dalam masing-masing aspek disajikan dalam Tabel 4. Normalisasi

dilakukan dengan cara membagi setiap nilai dalam kolom dengan total nilai pada kolom tersebut, kemudian bobot lokal ditentukan dari rata-rata nilai setiap baris hasil normalisasi. Berdasarkan hasil tersebut, pada aspek teknis, subkriteria daya listrik memiliki bobot relatif tertinggi sebesar 0,31, diikuti oleh telekomunikasi (0,18), *beam blockage* (0,10), dan proyeksi pemeliharaan (0,06). Sedangkan pada aspek non-teknis, subkriteria lahan menunjukkan pengaruh paling besar dengan bobot 0,17, sementara aksesibilitas dan keamanan masing-masing memperoleh bobot 0,09. Bobot akhir dari tiap subkriteria dihitung melalui perkalian antara bobot aspek dan bobot lokal subkriteria yang bersangkutan. Nilai bobot akhir ini kemudian digunakan dalam Tabel 5 untuk mengevaluasi dua alternatif lokasi berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Lokasi A berada di Jalan H. Agus Salim Puak, Kecamatan Bunguran Timur dengan koordinat 3°57'35.3"N 108°23'10.7"E, sedangkan lokasi B berada di Jalan Raya Teluk Buton, Kecamatan Bunguran Utara dengan koordinat 4°13'34.2"N 108°12'47,118"E.

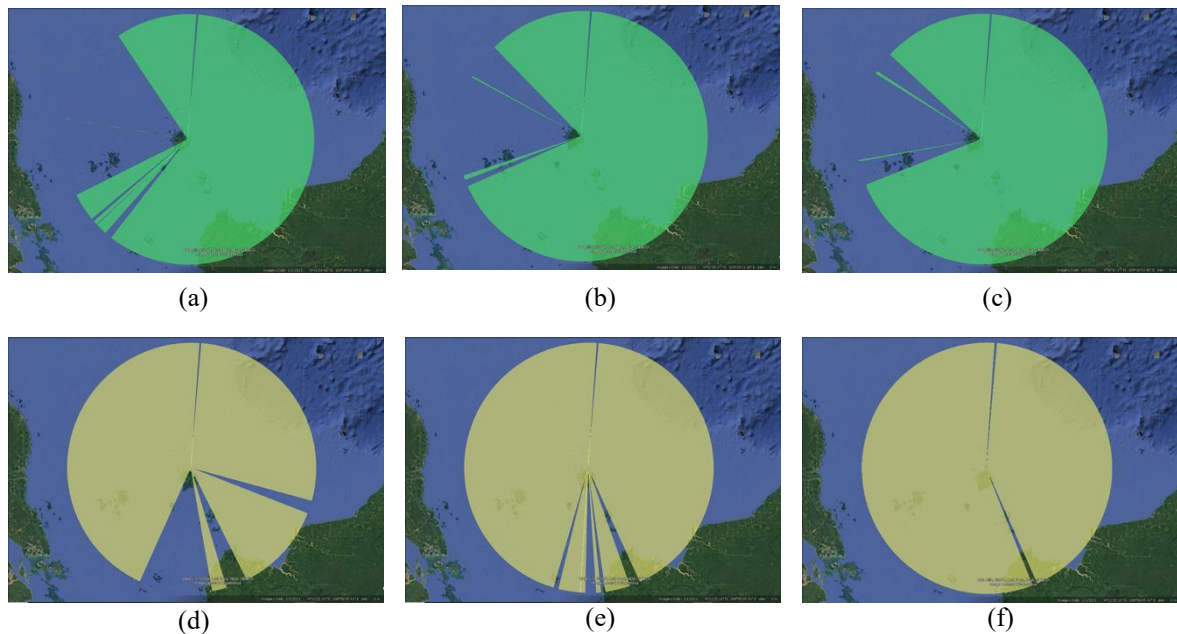
Tabel 4. Matriks Normalisasi

Sub Kriteria	Daya Listrik	Telekomunikasi	<i>Beam Blockage</i>	Proyeksi Pemeliharaan	Bobot	Bobot Akhir
Daya Listrik	0,48	0,52	0,47	0,40	0,47	0,31
Telekomunikasi	0,24	0,26	0,31	0,30	0,28	0,18
<i>Beam Blockage</i>	0,16	0,13	0,15	0,20	0,16	0,10
Proyeksi Pemeliharaan	0,12	0,09	0,08	0,10	0,10	0,06
Sub Kriteria	Lahan	Aksesibilitas	Keamanan	-		
Lahan	0,50	0,50	0,50	-	0,50	0,17
Aksesibilitas	0,25	0,25	0,25	-	0,25	0,09
Keamanan	0,25	0,25	0,25	-	0,25	0,09

Tabel 5. Penilaian Alternatif Terhadap Subkriteria

Alternatif	Daya Listrik	Telekomunikasi	<i>Beam Blockage</i>	Proyeksi Pemeliharaan	Lahan	Aksesibilitas	Keamanan	Skor Penilaian
Lokasi A	1	1	0,35	1	1	1	0,7	0,593
Lokasi B	1	0,15	0,7	0,7	0,7	0,7	0,35	0,407

Penilaian alternatif terhadap subkriteria pada Tabel 5 dilakukan berdasarkan kondisi aktual masing-masing lokasi dan dikonversi ke dalam nilai numerik sesuai skala penilaian kualitatif yang ditetapkan, yaitu: buruk (0,0), cukup (0,15), baik (0,35), sangat baik (0,7), dan istimewa (1,0). Misalnya, kedua lokasi dinilai memiliki kesiapan daya listrik yang sama baiknya sehingga keduanya diberi nilai 1,0. Untuk aspek telekomunikasi, Lokasi A memiliki jaringan fiber optik dan dukungan radiolink sehingga diberi nilai tertinggi (1,0), sedangkan Lokasi B belum tersedia akses, sehingga mendapat nilai rendah (0,15).



Gambar 1. Cakupan pengamatan lokasi A pada (a) elevasi pertama mencapai 75%, (b) elevasi kedua mencapai 75% dan (c) elevasi ketiga mendekati 80% area pengamatan. Cakupan pengamatan lokasi B pada (d) elevasi pertama mencapai 85%, (e) elevasi kedua mencapai > 95% dan (f) elevasi ketiga mendekati 100% area pengamatan

Dalam aspek *beam blockage*, Lokasi A tertutup sebagian (0,35), sedangkan Lokasi B bebas hambatan (0,7), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Penilaian lainnya juga dilakukan dengan cara serupa berdasarkan kedekatan dengan kantor atau teknisi, status lahan, aksesibilitas terhadap jalan dan kantor, serta dukungan keamanan. Nilai-nilai tersebut kemudian diolah menggunakan bobot masing-masing subkriteria untuk menghasilkan skor penilaian total dari masing-masing lokasi: Lokasi A sebesar 0,593 dan Lokasi B sebesar 0,407.

Tabel 6. Tabel Perhitungan Rasio Konsistensi

Kriteria	λ_{max}	CI	RI	CR
Aspek Teknis	4,031	0,0103	0,9	0,0115
Aspek Non Teknis	3,00	0,00	0,58	0,00

Perhitungan rasio konsistensi untuk matriks perbandingan berpasangan pada dua kelompok kriteria, yaitu aspek teknis dan aspek non-teknis ditunjukkan pada Tabel 6. Nilai λ_{max} untuk aspek teknis adalah 4,031 dengan *CI* sebesar 0,0103 dan *CR* sebesar 0,0115. Sementara itu, untuk aspek non-teknis diperoleh nilai λ_{max} sebesar 3,00 dengan *CI* dan *CR* sebesar 0,00. Karena kedua nilai *CR* lebih kecil dari batas toleransi 0,1 yang ditetapkan dalam metode AHP, maka dapat disimpulkan bahwa kedua matriks memiliki tingkat konsistensi yang baik. Hal ini memastikan bahwa penilaian perbandingan berpasangan

yang digunakan dalam menentukan bobot masing-masing subkriteria adalah logis dan dapat dipercaya.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil menunjukkan bahwa metode AHP merupakan pendekatan yang efektif dan sistematis dalam menentukan lokasi optimal untuk penempatan radar cuaca S-Band di Wilayah Natuna. Dengan mempertimbangkan kombinasi antara aspek teknis dan non-teknis, proses pengambilan keputusan menjadi lebih terstruktur, objektif, dan dapat dipertanggungjawabkan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa Lokasi A memiliki skor penilaian akhir lebih tinggi (0,593) dibandingkan Lokasi B (0,407), yang menjadikannya sebagai pilihan terbaik untuk lokasi pembangunan radar. Konsistensi penilaian antar subkriteria juga telah dikonfirmasi melalui penghitungan rasio konsistensi yang valid ($CR < 0,1$). Hasil ini mendukung pentingnya penggunaan pendekatan kuantitatif dalam perencanaan infrastruktur meteorologi.

DAFTAR REFERENSI

1. J. L. Lake, M. Yeary, and C. D. Curtis, "Effects of Radio Frequency Interference Mitigation Strategies on Meteorological Data," in *2016 IEEE Radar Conference (RadarConf)*, IEEE, May 2016.
2. B. Pramono, M. Wibisono, and T. L. Suko, "The Strategic Value of Natuna EEZ from Tiongkok Perspective," *International Affairs and Global Strategy*, vol. 90, pp. 5–12, Feb. 2021, doi: 10.7176/iags/90-02.
3. H. M. E. I. Kartubi, "Mengembalikan Natuna Sebagai Pusat Poros Maritim Dunia Tinjauan Ekonomi dan Perdagangan Serantau," *Jurnal Segeram*, vol. 3, no. 1, p. 2024, 2024.
4. M. Putra, M. S. Rosid, and D. Handoko, "A Review of Rainfall Estimation in Indonesia: Data Sources, Techniques, and Methods," *Signals*, vol. 5, no. 3, pp. 542–561, Aug. 2024, doi: 10.3390/signals5030030.
5. M. Anwar Syaefudin, Sugiarto, and M. Putra, "Sistem Informasi Monitoring Intensitas Hujan Berdasarkan Citra Radar Cuaca," in *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Aplikasinya*, 2021, p. 2021.
6. M. Putra, M. S. Rosid, and D. Handoko, "Rainfall Estimation Model in Seasonal Zone and Non-Seasonal Zone Regions Using Weather Radar Imagery Based on a Gradient Boosting Algorithm," *Atmosphere (Basel)*, vol. 15, no. 6, Jun. 2024, doi: 10.3390/atmos15060726.
7. R. K. Setianegara, M. Putra, D. Handoko, and M. S. Rosid, "Improving Radar-Based Rainfall Estimation with Ensemble Learning: A Comparative Analysis with the Z-R Equation," in *2023 International Conference on Artificial Intelligence Robotics, Signal and Image Processing (AIRoSIP)*, IEEE, Aug. 2023.
8. A. Demir, A. E. Dinçer, C. Çiftçi, S. Gülçimen, N. Uzal, and K. Yılmaz, "Wind farm site selection using GIS-based multicriteria analysis with Life cycle assessment integration," *Earth Sci Inform*, vol. 17, no. 2, pp. 1591–1608, Apr. 2024, doi: 10.1007/s12145-024-01227-4.
9. S. Türk, A. Koç, and G. Şahin, "Multi-criteria of PV solar site selection problem using GIS-intuitionistic fuzzy based approach in Erzurum province/Turkey," *Sci Rep*, vol. 11, no. 1, Dec. 2021, doi: 10.1038/s41598-021-84257-y.

10. C. Oral, "Analytical Hierarchy Process as a Tool for Investment Appraisal," *Int J Econ Finance*, vol. 8, no. 4, p. 306, Mar. 2016, doi: 10.5539/ijef.v8n4p306.
11. R. E. Wulandari and S. J. Bulan, "Penerapan Analytical Hierarchy Process (AHP) Dalam Perangkingan Bengkel Mobil Terbaik di Kota Kupang," *Jurnal Teknologi Terpadu*, vol. 5, no. 1, Jul. 2019.
12. T. L. Saaty, "Relative Measurement and Its Generalization in Decision Making Why Pairwise Comparisons are Central in Mathematics for the Measurement of Intangible Factors The Analytic Hierarchy/Network Process (To the Memory of my Beloved Friend Professor Sixto Rios Garcia)," *Rev. R. Acad. Cien. Serie A. Mat. VOL*, vol. 102, no. 2, pp. 251–318, 2008.
13. B. Chandran, B. Golden, and E. Wasil, "Linear programming models for estimating weights in the analytic hierarchy process," *Comput Oper Res*, vol. 32, no. 9, pp. 2235–2254, 2005, doi: 10.1016/j.cor.2004.02.010.
14. I. Umi Putri, A. Laila Nugraha, and B. Darmo Yuwono, "Penentuan dan Pemilihan Lokasi Bandara dengan Menggunakan SIG dan Metode Analytical Hierarchy Process (Rencana Bandara di Kabupaten Kendal)," *Jurnal Geodesi Undip*, vol. 4, no. 2, Apr. 2015.
15. *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observation*. 2014.