

Pendekatan Multi-Kriteria dalam Penentuan Lokasi *Solar Farm* di Kepulauan Riau: Analisis Komparatif Metode *Simple Additive Weighting* (SAW) dan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART)

Athalla Safriali¹, Dyah Sulistyowati Rahayu^{2*}, Agung Wahyudi³

^{1,2}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jakarta, 12461

³Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas 45 Surabaya, 60256

Abstrak. Pengembangan energi terbarukan, khususnya *solar farm*, memerlukan pemilihan lokasi yang optimal untuk memastikan efisiensi dan keberlanjutan produksi energi. Penentuan lokasi ini melibatkan berbagai kriteria teknis, lingkungan, ekonomi, dan sosial, sehingga memerlukan pendekatan pengambilan keputusan multi-kriteria (MCDM). Penelitian ini mengkaji analisis komparatif antara dua metode MCDM populer, yaitu *Simple Additive Weighting* (SAW) dan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART) dalam menentukan lokasi *solar farm* di Kepulauan Riau. Kepulauan Riau merupakan wilayah dengan potensi energi surya yang besar dan karakteristik geografis serta sosial-ekonomi yang kompleks. Metode SAW dan SMART diaplikasikan dengan memanfaatkan data kriteria yang relevan dan bobot yang ditentukan dari kajian pustaka. Kriteria yang digunakan yaitu *irradiance*, luas lahan, akses transmisi, kerentanan cuaca, dan kedekatan konsumsi listrik. Hasil penelitian menunjukkan kedua metode memberikan peringkat lokasi yang serupa, namun terdapat perbedaan dalam sensitivitas terhadap bobot kriteria. Batam dan Bintan direkomendasikan sebagai lokasi pembangunan *solar farm*. SAW meskipun lebih sederhana namun memberikan hasil yang serupa dengan SMART. Metode SMART menawarkan fleksibilitas dan detail dalam penilaian. Studi ini memberikan rekomendasi lokasi *solar farm* yang optimal sekaligus memperkaya literatur terkait aplikasi MCDM dalam pengembangan energi terbarukan di wilayah kepulauan. Hasil ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi pengambil kebijakan dan praktisi dalam proyek energi surya yang berkelanjutan.

Kata kunci—*Solar Farm, Kepulauan Riau, Multi-Criteria Decision Making, SAW, SMART*

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan, khususnya tenaga surya, semakin menjadi perhatian global dalam pemenuhan kebutuhan energi yang terus meningkat serta sebagai solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar fosil yang memiliki dampak negatif terhadap lingkungan. *Solar farm* sebagai penyedia energi listrik skala besar membutuhkan proses perencanaan yang matang, terutama dalam penentuan lokasi. Pemilihan lokasi yang tepat harus mempertimbangkan sejumlah faktor yang relevan, seperti intensitas radiasi matahari, ketersediaan dan kondisi lahan, kemudahan akses infrastruktur, hingga potensi dampak lingkungan terhadap masyarakat sekitar [1]. Dalam proses penilaian lokasi tersebut, pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM) menjadi salah satu metode analisis yang banyak digunakan karena mampu mengintegrasikan berbagai kriteria yang bersifat kompleks dan saling memengaruhi [2]. Beberapa metode MCDM populer yang sering diaplikasikan dalam penelitian energi terbarukan adalah *Simple Additive Weighting* (SAW) dan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART). Metode SAW melakukan analisis melalui proses normalisasi dan pembobotan untuk menghasilkan skor akhir setiap alternatif [3], sementara SMART menilai alternatif secara linier berdasarkan tingkat kepentingan kriteria, sehingga lebih fleksibel dan mudah diinterpretasikan [4].

* Corresponding author: dyah.s.rahayu@univpancasila.ac.id

Penelitian ini berfokus pada penerapan dan perbandingan metode SAW dan SMART dalam menentukan lokasi *solar farm* yang paling layak di Kepulauan Riau. Kepulauan Riau merupakan wilayah dengan potensi energi surya yang tinggi sehingga sangat layak dijadikan lokasi pembangunan *solar farm*. Namun, wilayah ini juga memiliki variasi kondisi geografis dan sosial-ekonomi pada setiap daerahnya sehingga diperlukan pendekatan pengambilan keputusan multi kriteria. Kepulauan Riau juga memiliki keunggulan strategis dalam pengembangan energi surya karena letaknya yang dekat dengan Singapura sebagai pusat logistik dan perdagangan, serta tersedianya kawasan industri yang siap mendukung pembangunan infrastruktur energi bersih. Selain itu, intensitas radiasi matahari yang tinggi dan ketersediaan lahan di beberapa pulau utama menjadikan wilayah ini ideal untuk pengembangan *solar farm* skala besar. Daerah ini juga mulai diarahkan sebagai pusat industri hijau dan rantai pasok panel surya nasional, yang memperkuat relevansinya dalam agenda transisi energi menuju sumber yang lebih berkelanjutan [5]. Lima alternatif lokasi yang dianalisis, yaitu Batam, Bintan, Karimun, Natuna, dan Lingga, dengan mempertimbangkan lima kriteria utama: *irradiance*, luas lahan, akses transmisi, kerentanan cuaca, dan kedekatan konsumsi listrik. Melalui penilaian kuantitatif yang objektif berdasarkan pendekatan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM), penelitian ini bertujuan memberikan rekomendasi lokasi terbaik serta menilai konsistensi hasil dari kedua metode. Penelitian ini juga sekaligus mengidentifikasi sensitivitas bobot kriteria terhadap hasil peringkat akhir dalam konteks pengembangan infrastruktur energi terbarukan yang optimal dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan dua buah metode pengambilan keputusan multi-kriteria yang populer, yaitu *Simple Additive Weighting* (SAW) dan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART). Pemilihan kedua metode ini didasarkan pada preferensi penelitian terhadap pendekatan yang mampu memberikan transparansi perhitungan, kemudahan interpretasi, serta kemampuan membandingkan alternatif secara kuantitatif dengan struktur penilaian yang konsisten.

Metode SAW digunakan untuk melakukan proses normalisasi dan perhitungan nilai preferensi berdasarkan bobot masing-masing kriteria [3]. Metode ini dipilih karena memiliki preferensi pada proses normalisasi sederhana, mudah ditelusuri, dan sangat efektif digunakan ketika hubungan antara atribut bersifat linear serta tidak memerlukan transformasi kompleks. Prinsip dasar metode SAW adalah melakukan pembobotan langsung pada nilai yang telah dinormalisasi sehingga setiap alternatif dapat memperoleh skor akhir yang menggambarkan tingkat prioritasnya. Normalisasi SAW r_{ij} dibedakan berdasarkan tipe kriteria benefit dan *cost*. Kriteria benefit menggunakan normalisasi pembagian dengan nilai maksimumnya, sedangkan untuk kriteria *cost* nilainya dijadikan pembagi nilai minimal kriteria tersebut. Formulasi perhitungan normalisasi SAW ditunjukkan sebagai berikut:

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max(x_j)}, \text{ Jika } C_j \text{ adalah benefit}$$
$$r_{ij} = \frac{\min(x_j)}{x_{ij}}, \text{ jika } C_j \text{ adalah cost}$$

Perhitungan nilai preferensi SAW merupakan jumlah dari perkalian bobot dengan nilai normalisasinya. Prosedur perhitungan nilai preferensi SAW dirumuskan sebagai berikut:

$$V_i = \sum_{j=1}^n (w_j \cdot r_{ij})$$

Metode kedua yaitu *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART), yang mengonversi nilai awal setiap kriteria ke dalam bentuk nilai *utility* berdasarkan skala linear sesuai bobot kepentingan. Metode ini dipilih karena memiliki preferensi terhadap skala penilaian yang fleksibel, mampu mengakomodasi rentang nilai yang berbeda antar atribut, serta memberikan interpretasi *utility* yang lebih intuitif. Metode SMART memberikan penilaian yang lebih fleksibel dengan mempertimbangkan perubahan nilai atribut terhadap bobot secara proporsional. Langkah pertama dalam metode SMART adalah perhitungan *utility*, dilakukan dengan

membagi nilai selisih terhadap nilai minimum dengan range nilainya. Rumus perhitungan *utility* disajikan sebagai berikut:

$$U_{ij} = \frac{x_{ij} - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)}$$

Sedangkan perhitungan nilai preferensi dilakukan dengan menjumlahkan perkalian nilai bobot dengan *utility*-nya. Formulasi nilai prefrensi SMART adalah sebagai berikut:

$$S_i = \sum_{j=1}^n (w_j \cdot U_{ij})$$

Dalam penelitian ini ditetapkan lima alternatif lokasi pengembangan *Solar Farm* di wilayah Kepulauan Riau, yaitu Batam, Bintan, Lingga, Karimun, dan Anambas. Penentuan alternatif dilakukan berdasarkan ketersediaan data teknis yang relevan serta potensi energi surya yang terkonfirmasi pada setiap wilayah, dengan mengacu pada laporan potensi surya dari IESR [6] dan data pemanfaatan lahan serta kedekatan dengan jaringan listrik dari pemerintah daerah dan PLN [7].

Preferensi penentuan kriteria berfokus pada aspek-aspek yang secara langsung memengaruhi kelayakan teknis, operasional, dan keberlanjutan pembangunan *Solar Farm*. Oleh karena itu, penelitian ini memilih *irradiance*, luas lahan, akses transmisi, kerentanan cuaca, dan kedekatan konsumsi listrik sebagai kriteria utama. Pemilihan kriteria tersebut didasarkan pada relevansi paling kuat terhadap performa energi surya dan efisiensi infrastruktur.

Seluruh kriteria dalam penelitian ini dianalisis secara kuantitatif melalui proses skoring dan pembobotan untuk merepresentasikan tingkat kepentingan relatif masing-masing atribut dalam penentuan lokasi solar farm. Alternatif lokasi dan data kriteria disajikan pada Tabel 1 dan Tabel 2. Penetapan bobot kriteria didasarkan pada kajian penelitian terdahulu yang menunjukkan bahwa *irradiance* dan luas lahan merupakan faktor paling dominan dalam kelayakan pembangkit listrik tenaga surya, sehingga masing-masing diberikan bobot sebesar 0,40 dan 0,25, sementara kriteria akses transmisi, kerentanan cuaca, dan kedekatan konsumsi listrik diberikan bobot lebih kecil sesuai tingkat pengaruhnya. Selain itu, setiap kriteria ditentukan rentang nilai minimum dan maksimum yang relevan secara teknis, kemudian dikonversi ke dalam skala penilaian 1–5 untuk menyeragamkan perbedaan satuan antar kriteria serta memudahkan proses perhitungan pada metode SAW dan SMART, di mana nilai 1 merepresentasikan kondisi paling tidak layak dan nilai 5 menunjukkan kondisi paling layak.

Tabel 1 Data alternatif lokasi.

Lokasi	<i>Irradiance</i> (kWh/m ²)	Luas Lahan (ha)	Akses Transmisi (km)	Kerentanan Cuaca (%)	Kedekatan Konsumsi Listrik (%)
Batam (A1)	4.80	3100	5	25%	90%
Bintan (A2)	4.70	2150	18	30%	75%
Karimun (A3)	4.65	1800	25	35%	70%
Lingga (A4)	4.75	2400	22	40%	60%
Anambas (A5)	4.85	950	35	45%	50%

Tabel 2 Kriteria, tipe kriteria, bobot setiap kriteria.

Kode	Kriteria	Bobot	Rentang Nilai	Tipe
C1	<i>Irradiance</i>	0.40	4.65 – 4.85	<i>Benefit</i>
C2	Luas Lahan	0.25	950 – 3100	<i>Benefit</i>
C3	Akses Transmisi	0.15	5 – 35	<i>Cost</i>
C4	Kerentanan Cuaca	0.10	24 – 45	<i>Cost</i>
C5	Kedekatan Konsumsi Listrik	0.10	50 - 90	<i>Benefit</i>

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode SAW menghitung skor dengan menjumlahkan nilai bobot kriteria yang telah dinormalisasi, sedangkan metode SMART memanfaatkan pendekatan *utility* rating yang memberikan fleksibilitas dalam menilai kontribusi setiap atribut terhadap alternatif [8]. Analisis komparatif terhadap kedua metode tersebut perlu memperhatikan tidak hanya peringkat lokasi, tetapi juga konsistensi dan stabilitas hasil ketika terjadi perubahan nilai bobot pada masing-masing kriteria (*sensitivity analysis*). Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa integrasi Sistem Informasi Geografis (GIS) bersama metode MCDM seperti SAW dan SMART dapat meningkatkan akurasi dalam penentuan lokasi melalui pemanfaatan data spasial yang lebih detail serta evaluasi multi-kriteria secara simultan [9].

Metode SAW diterapkan dengan melakukan normalisasi nilai setiap kriteria berdasarkan kategori *benefit* atau *cost*, kemudian mengalikan hasil normalisasi tersebut dengan bobot kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian. Proses pengolahan data dilakukan menggunakan *Google Colab* untuk memastikan perhitungan yang sistematis dan transparan, sekaligus memudahkan verifikasi hasil. Nilai akhir dari metode SAW selanjutnya menjadi dasar dalam menentukan peringkat setiap alternatif lokasi, sehingga diperoleh lokasi yang paling optimal untuk pembangunan *solar farm* di Kepulauan Riau.

Tabel 3 Hasil normalisasi SAW.

Lokasi	Irradiance (kWh/m ²)	Luas Lahan (ha)	Akses Transmisi (km)	Kerentanan Cuaca (%)	Kedekatan Konsumsi Listrik (%)
A1	1.0	0.263158	1.000000	0.666667	1.0
A2	1.0	0.789474	0.8666	1.0	0.6
A3	0.80	0.578947	0.9466	0.333333	0.5
A4	0.60	1.0	0.60	0.333333	0.2
A5	0.92	0.368421	0.4666	0.533333	0.3

Tabel 4 Hasil akhir SAW.

Lokasi	SAW Score	Ranking SAW
A1	0.782456	2
A2	0.887358	1
A3	0.690060	3
A4	0.633333	4
A5	0.613429	5

Proses pengambilan keputusan dalam penentuan lokasi *solar farm* menggunakan metode *Simple Multi-Attribute Rating Technique* (SMART) menerapkan proses pembobotan dan penilaian rating pada setiap kriteria secara proporsional untuk menghasilkan nilai utilitas masing-masing alternatif. Perhitungan juga dilakukan melalui *Google Colab* agar setiap tahapan seperti normalisasi bobot, konversi rating, hingga penentuan nilai akhir dapat ditampilkan secara jelas dan terstruktur.

Tabel 5 merupakan hasil dari perhitungan *utility* yang dilakukan berdasarkan persamaan (3). Bobot yang dikalikan dengan nilai *utility* merupakan hasil preferensi dari metode SMART yang disajikan pada Tabel 6.

Tabel 5 Hasil normalisasi SMART.

Lokasi	Irradiance (kWh/m ²)	Luas Lahan (ha)	Akses Transmisi (km)	Kerentanan Cuaca (%)	Kedekatan Konsumsi Listrik (%)
A1	0.50	0.093023	0.150	0.25	0.1000
A2	0.40	0.087209	0.125	0.050	0.500
A3	0.30	0.089535	0.140	0	0.375
A4	0.20	0.084884	0.075	0.025	0
A5	0.36	0.091860	0.050	0.015	0.125

Tabel 6 Hasil akhir SMART.

Lokasi	SMART Score	Ranking SMART
A1	0.681977	1
A2	0.537791	2
A3	0.387965	3

A4	0.165116	5
A5	0.345640	4

Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan metode SAW dan SMART, diperoleh hasil bahwa metode SAW menempatkan alternatif A2 sebagai peringkat pertama, sedangkan metode SMART menempatkan alternatif A1 pada peringkat pertama. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kedua metode memiliki tingkat sensitivitas yang berbeda terhadap bobot dan skala penilaian kriteria. Meskipun demikian, hasil perankingan secara umum menunjukkan pola yang relatif serupa, di mana alternatif A1 dan A2 secara konsisten berada pada peringkat teratas, sedangkan alternatif lainnya menempati peringkat yang lebih rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa kedua metode tetap memberikan hasil yang stabil secara umum, namun perbedaan pendekatan perhitungan menyebabkan variasi dalam penentuan alternatif terbaik. Dengan demikian, A1 dan A2 dapat dipertimbangkan sebagai lokasi yang paling layak untuk pembangunan *solar farm* pada wilayah studi ini, tergantung pada metode pengambilan keputusan yang digunakan.

Meskipun metode SAW lebih sederhana dan kurang responsif terhadap selisih nilai kriteria yang kecil, namun hasil rekomendasinya konsisten dengan metode SMART untuk studi kasus ini. Metode SMART lebih fleksibel namun memerlukan penilaian yang relatif subjektif [10].

Tabel 7 Perbandingan hasil dan ranking alternatif.

Lokasi	SAW Score	SMART Score
A1	0.782456	0.681977
A2	0.887358	0.537791
A3	0.690060	0.387965
A4	0.633333	0.165116
A5	0.613429	0.345640

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian mengenai penentuan lokasi optimal pembangunan solar farm menggunakan metode *Simple Additive Weighting* (SAW) dan *Simple Multi Attribute Rating Technique* (SMART), diperoleh kesimpulan bahwa Kota Batam merupakan salah satu alternatif lokasi paling layak dibandingkan empat lokasi lainnya yang dianalisis, yaitu Bintan, Karimun, Natuna, dan Lingga. Batam secara konsisten menempati peringkat teratas pada metode SMART dan berada pada peringkat kedua pada metode SAW, yang menunjukkan performa unggul dan relatif stabil dibandingkan alternatif lainnya. Keunggulan Batam didukung oleh capaian nilai yang tinggi pada hampir seluruh kriteria penilaian, mulai dari intensitas radiasi matahari yang baik, ketersediaan lahan yang memadai, hingga aksesibilitas dan infrastruktur yang mendukung konektivitas energi. Perbedaan peringkat teratas antara kedua metode menunjukkan adanya variasi sensitivitas terhadap bobot dan skala penilaian kriteria, namun secara umum pola peringkat yang dihasilkan tetap serupa.

Selain itu, penelitian ini menunjukkan bahwa metode SAW dan SMART sama-sama efektif dalam mendukung proses pengambilan keputusan multikriteria pada perencanaan energi terbarukan. Metode SAW menawarkan proses perhitungan yang sederhana dan transparan melalui normalisasi dan penjumlahan berbobot, sedangkan metode SMART memberikan fleksibilitas melalui penggunaan fungsi utilitas yang lebih sensitif terhadap preferensi dan bobot kriteria. Perbedaan hasil peringkat teratas antara kedua metode tidak mengurangi keandalan penelitian, melainkan menunjukkan pentingnya pemilihan metode sesuai dengan kebutuhan pengambil keputusan. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambahkan variabel berbasis data spasial serta analisis sensitivitas bobot guna menguji ketahanan hasil dan memperkuat rekomendasi kebijakan dalam pengembangan energi surya berkelanjutan di wilayah kepulauan.

KESIMPULAN

- [1] M. Salmelin, A. Sridhar, N. Hosseinpour, S. Honkapuro, and J. Lassila, "Optimizing solar farm locations for revenue and reduced electricity costs in deregulated electricity markets," *Solar Energy*, vol. 300, Nov. 2025, doi: 10.1016/j.solener.2025.113802.

-
- [2] S. Hosouli and R. A. Hassani, “Application of multi-criteria decision making (MCDM) model for solar plant location selection,” *Results in Engineering*, vol. 24, Dec. 2024, doi: 10.1016/j.rineng.2024.103162.
- [3] A. Setiawan and D. A. Chandra, “Study Program Selection Modeling With Simple Additive Weight (SAW) Method,” *Engineering and Technology International Journal*, vol. 4, no. 01, pp. 8–15, Mar. 2022, doi: 10.55642/eatij.v4i01.160.
- [4] H. Taherdoost and A. Mohebi, “Using SMART Method for Multi-criteria Decision Making: Applications, Advantages, and Limitations,” *Archives of Advanced Engineering Science*, vol. 2, no. 4, pp. 190–197, Apr. 2024, doi: 10.47852/bonviewaaes42022765.
- [5] “Menyongsong Transformasi Energi Masa Depan: Peluang Emas dari Industri Solar Panel di Kepulauan Riau – SUMATRANOMICS.” Accessed: Nov. 10, 2025. [Online]. Available: <https://sumatranomics.com/artikel-blog/menyongsong-transformasi-energi-masa-depan-peluang-emas-dari-industri-solar-panel-di-kepulauan-riau/>
- [6] “Indonesia Energy Transition Outlook (IETO) 2023 – IESR.” Accessed: Nov. 11, 2025. [Online]. Available: <https://iesr.or.id/pustaka/indonesia-energy-transition-outlook-ieto-2023/>
- [7] “STATISTIK PLN 2024 Data Operasional (Unaudited).”
- [8] A. Ikhwan and N. Aslami, “Decision Support System Using Simple Multi-Attribute Rating Technique Method in Determining Eligibility of Assistance,” *Building of Informatics, Technology and Science (BITS)*, vol. 3, no. 4, pp. 604–609, Mar. 2022, doi: 10.47065/bits.v3i4.1370.
- [9] G. Villacreses, J. Martínez-Gómez, D. Jijón, and M. Cordovez, “Geolocation of photovoltaic farms using Geographic Information Systems (GIS) with Multiple-criteria decision-making (MCDM) methods: Case of the Ecuadorian energy regulation,” Nov. 01, 2022, *Elsevier Ltd.* doi: 10.1016/j.egy.2022.02.152.
- [10] Z. N. Shehab, R. M. Faisal, and S. W. Ahmed, “Multi-criteria decision making (MCDM) approach for identifying optimal solar farm locations: A multi-technique comparative analysis,” *Renew Energy*, vol. 237, p. 121787, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.RENENE.2024.121787.