



## Pemilihan Lokasi TPA Limbah Padat Menggunakan Metode Analisis Keputusan Multi Kriteria Berbasis Sistem Informasi Geografis: Sebuah Usul Modifikasi SNI 03-3241-1994

### Selection of Solid Waste Landfill Sites Using the Multi-Criteria Decision Analysis Method Based on Geographical Information Systems: A Proposal Modification of SNI 03-3241-1994

DARMAN FERIAN TO SARAGIH

Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, 20155 Medan, Indonesia  
[darmansaragih@polmed.ac.id](mailto:darmansaragih@polmed.ac.id)

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 20 April 2022  
Accepted 19 December 2022  
Published 31 January 2023

##### Keywords:

Landfill  
Site selection  
SNI model  
Geographic information system

#### ABSTRACT

The selection of the landfill location in Indonesia is regulated in SNI 03-3241-1994, where three stages are set in succession, namely regional, elimination, and determination. The first two stages are considered relatively long and less flexible, where the first stage produces a binary location suitability map, which only shows two types of areas, namely feasible and not feasible. This article aims to create and propose a more practical and flexible alternative landfill site selection model as a modification of the SNI model and create a continuous location suitability map based on the proposed model. The first objective is achieved by integrating the stages of the SNI model in an alternative model, called the SNI-A model, using a multi-criteria decision analysis method based on geographic information systems (GIS-MCDA). The SNI-A model was applied to a case study to achieve the second objective with six main analytical steps, namely determining criteria/factors, collecting data/maps, standardizing maps, creating factor maps, weighting factors, and combining factor maps. Sixteen factors that were determined from the literature study were involved in this GIS-MCDA model. Data processing and analysis was completed using IDRISI-Selva software version 17, where the final result was a location suitability map. The suitability map obtained has four levels of suitability, namely low, medium, high and very high, where the area with a very high level of suitability reaches 59,596.740 ha or 6.585% of the total area reviewed. The results of this study can be used as input for decision makers in terms of site selection, especially the location of urban solid waste landfill.

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Histori artikel:

Diterima 20 April 2022  
Disetujui 19 Desember 2022  
Diterbitkan 31 Januari 2023

##### Kata kunci:

TPA  
Pemilihan lokasi  
Model SNI  
Sistem informasi geografis

#### ABSTRAK

Penentuan lokasi TPA di Indonesia diatur dalam SNI 03-3241-1994 yang menetapkan tiga tahapan secara berurutan, yaitu regional, penyisih, dan penetapan. Kedua tahapan yang pertama dianggap relatif panjang dan kurang fleksibel, khususnya karena tahapan pertama tersebut menghasilkan sebuah peta kesesuaian lokasi yang bersifat biner, yang hanya menunjukkan dua jenis area yaitu layak dan tidak layak. Artikel ini bertujuan untuk membuat sekaligus mengusulkan model pemilihan lokasi TPA alternatif yang lebih praktis dan fleksibel sebagai modifikasi model SNI tersebut dan membuat peta kesesuaian lokasi yang bersifat kontinu berdasarkan model yang diusulkan tersebut. Tujuan pertama dicapai dengan mengintegrasikan tahapan model SNI dalam sebuah model alternatif, yang disebut model SNI-A menggunakan metode analisis keputusan multikriteria berbasis sistem informasi geografis (AKMK-SIG). Model SNI-A diaplikasikan pada sebuah studi kasus untuk mencapai tujuan kedua dengan enam langkah analisis utama yaitu penentuan kriteria/faktor, pengumpulan data/peta, standardisasi peta, pembuatan peta faktor, pembobotan faktor, dan kombinasi peta faktor. Enam belas faktor yang ditentukan berdasarkan studi literatur dilibatkan dalam model AKMK-SIG ini. Pengolahan dan analisis data diselesaikan menggunakan perangkat lunak IDRISI-Selva versi 17, yang akan menghasilkan sebuah peta kesesuaian lokasi. Peta kesesuaian yang diperoleh memiliki empat tingkat kesesuaian yaitu rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Luas wilayah dengan tingkat kesesuaian sangat tinggi mencapai 59.596,740 ha atau 6,585% dari total luas wilayah yang ditinjau. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai masukan bagi pengambil keputusan dalam hal pemilihan lokasi, khususnya lokasi TPA limbah padat perkotaan

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemilihan lokasi atau analisis kesesuaian adalah sebuah analisis yang digunakan dalam sistem informasi geografis (SIG) untuk menentukan tempat atau lokasi terbaik untuk sesuatu (Sample *et al.*, 2001; Rikalovic *et al.*, 2014). Memilih lokasi adalah mengambil keputusan kompromis antara kebutuhan proyek yang akan dibangun dengan kualitas spasial dari lahan alternatif (Saragih, 2020). Kebutuhan proyek akan menentukan jenis dan jumlah kriteria yang diperlukan dalam analisis pemilihan lokasi. Jadi, pemilihan lokasi adalah bagian dari pengambilan keputusan multikriteria. Di satu sisi, lahan adalah sumber daya alam yang langka, sementara di sisi lain permintaan penggunaan lahan selalu meningkat untuk memenuhi kebutuhan dasar serta keinginan manusia (Estoque, 2011). Hal inilah juga yang melatarbelakangi semakin pentingnya teknologi pemilihan lokasi.

Menurut SNI 03-3241-1994, kelayakan lokasi TPA ditentukan berdasarkan tiga tahapan kriteria secara berurutan, yaitu kriteria regional (Tahap-1), penyisih (Tahap-2), dan penetapan (Tahap-3) (DPU-RI, 1994). Tujuan Tahap-1 adalah mendapatkan peta zona layak atau zona tidak layak, dengan mengaplikasikan lima kriteria regional (pembatas atau *constraint*), yaitu: geologi/sesar, hidrogeologi, kemiringan tanah, jarak bandara, kawasan lindung dan daerah genangan/banjir. Sebagian besar kriteria ini memiliki subkriteria masing-masing sehingga total faktor pembatas menjadi sembilan faktor. Faktor-faktor tersebut disajikan pada Tabel 1.

Seluruh wilayah yang memenuhi kesembilan subkriteria regional tersebut dinyatakan tidak layak menjadi alternatif pemilihan lokasi TPA. Misalnya zona yang kedalaman air tanahnya < 3 m, zona yang kemiringan tanahnya lebih besar dari 20%, dan zona-zona lainnya (khususnya subkriteria nomor 3, 4, 5, 6, dan 7 pada Tabel 1) dinyatakan tidak layak atau ditolak sebagai alternatif.

Salah satu kelemahan dari model SNI adalah bahwa zona yang layak berdasarkan lima subkriteria dalam Tahap-1 tidak memiliki tingkatan kelayakan. Sebagai contoh, kemiringan yang layak menurut subkriteria nomor 6 adalah 0 sampai dengan 20 % (tanpa tingkatan kelayakan), yang seyogyanya dapat dibedakan, misalnya dalam empat

peringkat, yaitu 0–5%, 5–10%, 10–15%, dan 15–20%. Sebab zona dengan kemiringan di bawah 5% sudah jelas lebih layak dibandingkan dengan zona di atas 15%. Hal seperti ini berlaku juga untuk hampir semua subkriteria lainnya, seperti zona sesar, kedalaman air tanah, kelulusan tanah, jarak sumber air minum, jarak ke bandara, dan jarak daerah banjir. Perlu dicari sebuah solusi untuk mengakomodir klasifikasi kelayakan daerah yang dikategorikan layak tersebut dengan sebuah model pemilihan lokasi TPA alternatif.

Pada Tahap-2 (kriteria penyisih) dilakukan evaluasi lanjutan terhadap keluaran Tahap-1 yang melibatkan sepuluh kriteria penyisih, yaitu iklim, utilitas, lingkungan biologis, kondisi tanah, demografi, batas administrasi, kebisingan, bau, estetika, dan ekonomi atau lima belas subkriteria penyisih yang bisa dilihat pada Tabel 2.

Tujuan Tahap-2 adalah membuat peta tingkat kesesuaian lokasi dari masing-masing zona layak yang dihasilkan Tahap-1. Peta ini dibuat berdasarkan metode standarisasi (pemberian skor kelayakan untuk setiap kriteria/subkriteria penyisih yang biasanya dilakukan dengan cara memberikan nilai 1, 3, 5, 8, atau 10 (DPU-RI, 1994; Apritama *et al.*, 2016) atau nilai 1, 2, atau 3 (Mizwar, 2012) kepada zona layak tersebut. Dengan menjumlahkan perkalian bobot kriteria dengan skor kelayakan kriteria pada setiap zona, maka akan diperoleh total skor kelayakan tiap zona, yang dikenal sebagai nilai kombinasi. Proses kombinasi ini menghasilkan sebuah peta yang menunjukkan jangkauan tingkat kelayakan, dan area dengan kelayakan tertinggi akan dipilih untuk diajukan ke Tahap-3.

Banyak artikel dengan topik pemilihan lokasi TPA telah dipublikasikan. Beberapa studi menggunakan metode analisis keputusan multi kriteria berbasis sistem informasi geografis (selanjutnya disebut AKMK-SIG) (Sener *et al.*, 2010; Ahmad, 2018; Isalou *et al.*, 2012; Miwar, 2012; Manurung dan Santoso, 2019; Pattiasina *et al.*, 2018), namun ada juga yang menggunakan metode AKMK saja (Apritama *et al.*, 2019). Studi-studi yang menggunakan AKMK-SIG tersebut, sebagian tidak mengikuti model SNI dan sebagian lagi mengikuti namun tidak memodifikasi model SNI. Model yang diusulkan dalam tulisan ini akan mengikuti sekaligus memodifikasi model SNI, agar penerapannya lebih praktis dan fleksibel.

Tabel 1. Kriteria dan subkriteria tahap regional (Tahap-1) model SNI

No.	Kriteria Regional (Kriteria Pembatas)	No.	Subkriteria Regional (Subkriteria Pembatas)
1	Geologi/sesar	1	Zona <i>holocene fault</i> (sesar aktif)
		2	Zona bahaya geologi
2	Hidrogeologi	3	Kedalaman air tanah < 3 m
		4	Kelulusan tanah > 10 <sup>6</sup> cm/s
		5	Jarak terhadap sumber air minum (di hilir aliran) < 100 m
3	Kemiringan zona	6	Kemiringan zona > 20%
4	Jarak bandara	7	Jarak ke bandara dgn penerbangan <i>turbo jet</i> < 3.000 m (< 1.500 m untuk penerbangan lainnya)
5	Kawasan lindung dan daerah genangan/ banjir	8	Kawasan lindung atau cagar alam
		9	Daerah banjir dengan periode ulang 25 tahun

Sumber: SNI 03-3241-1994

Tabel 2. Kriteria dan subkriteria tahap penyisih (Tahap-2) model SNI

No.	Kriteria Penyisih	No.	Subkriteria Penyisih
1	Iklim	1	Hujan (semakin rendah semakin baik)
		2	Angin (semakin dominan tidak menuju pemukiman semakin baik)
2	Utilitas	3	Utilitas (semakin lengkap semakin baik)
3	Lingkungan biologis	4	Habitat (semakin kurang bervariasi semakin baik)
		5	Daya dukung (semakin kurang menunjang kehidupan flora dan fauna, dinilai semakin baik)
4	Kondisi tanah	6	Produktivitas tanah (semakin tidak produktif semakin baik)
		7	Kapasitas dan umur (dapat menampung bahan lebih banyak)
		8	Ketersediaan tanah penutup (semakin cukup tanah penutup semakin baik)
		9	Status tanah (semakin bervariasi semakin tidak baik)
5	Demografi	10	Demografi (semakin jarang penduduk semakin baik)
6	Batas administrasi	11	Batas administrasi (semakin jauh ke dalam batas administrasi semakin baik)
7	Kebisingan	12	Kebisingan (semakin banyak zona penyangga semakin baik)
8	Bau	13	Bau (semakin banyak zona penyangga semakin baik)
9	Estetika	14	Estetika (semakin tidak terlihat dari luar semakin baik)
10	Ekonomi	15	Ekonomi (semakin kecil biaya satuan pengelolaan sampah (per m <sup>3</sup> /ton) dinilai semakin baik)

Sumber: SNI 03-3241-1994

Kelemahan kedua model SNI adalah dibutuhkan dua tahapan untuk menghasilkan peta kelayakan lokasi, sementara model pemilihan lokasi TPA yang mengaplikasikan metode AKMK-SIG hanya membutuhkan satu tahap saja untuk menghasilkan sebuah peta kesesuaian lokasi yang menunjukkan seluruh wilayah tinjauan dengan tingkat kesesuaian lokasi yang bervariasi (mulai dari sangat rendah hingga sangat tinggi). Yang terakhir ini dinilai lebih praktis, informatif, dan fleksibel sebagai sebuah alat pendukung keputusan bagi pemangku kepentingan

1.2 Tujuan Penelitian

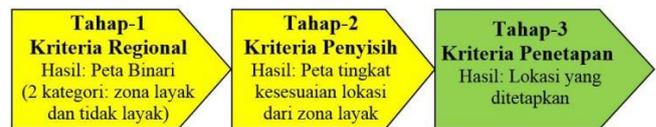
Tujuan penelitian ini adalah untuk membuat model alternatif pemilihan lokasi TPA (yang disebut model SNI-A) sebagai modifikasi dari model SNI yang telah ada, menggunakan AKMK-SIG, serta mengaplikasikannya dalam sebuah studi kasus untuk menghasilkan peta kesesuaian lokasi TPA.

2. METODE

2.1 Model Pemilihan Lokasi TPA Alternatif (SNI-A)

Untuk membuat sebuah model alternatif pemilihan lokasi TPA (selanjutnya disebut model SNI-A), penulis mengintegrasikan tahapan pertama dan kedua dari model SNI, dengan mengadopsi kriterianya (yang dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2) ke dalam sebuah model AKMK-SIG. Model alternatif ini memiliki keluaran berupa peta kontinu yang menunjukkan seluruh wilayah tinjauan dengan tingkat kesesuaian yang bervariasi. Gambar 1 dan Gambar 2 mengilustrasikan perbandingan model SNI dengan model SNI-A.

Jika model SNI terdiri dari tiga tahapan, maka model SNI-A memiliki dua tahapan saja. Keluaran Tahap-1 dari model SNI-A adalah bentuk lain dari keluaran Tahap-2 model SNI, yaitu sebuah peta yang menunjukkan tingkat kelayakan lokasi TPA dari seluruh wilayah alternatif.



Gambar 1. Ilustrasi model SNI



Gambar 2. Ilustrasi model SNI-A

2.2 Aplikasi Model SNI-A (Modifikasi Model SNI)

Metode pemilihan lokasi TPA model SNI-A ini mengadopsi prosedur umum *geographical information system based multi-criteria decision analysis* (GIS-MCDA) atau dalam Bahasa Indonesia dikenal dengan analisis keputusan multi kriteria berbasis sistem informasi geografis (AKMK-SIG), yaitu: 1) penetapan kriteria (faktor dan pembatas); 2) pengumpulan data (peta); 3) standardisasi kriteria (faktor dan pembatas); 4) pembuatan peta Kriteria (faktor dan pembatas); 5) pembobotan faktor; dan 6) kombinasi peta faktor (Malczewski & Rinner, 2015). Berikut ini adalah uraian dari metodologi untuk keenam langkah analisis utama tersebut secara berurutan.

Kriteria/Faktor

Dasar dari sebuah pengambilan keputusan adalah evaluasi terhadap kriteria yang diambil. Pemilihan kriteria yang dilibatkan disesuaikan dengan tujuan akhir pemodelan yaitu untuk menghasilkan sebuah peta kesesuaian lokasi TPA. Jumlah dan jenis kriteria yang dilibatkan dalam penelitian ini ditetapkan berdasarkan studi literatur dan ketersediaan data, dan sedapat mungkin mendekati jenis kriteria yang terdapat pada SNI 03-3241-1994.

Pengumpulan Data (Peta)

Sesuai dengan jenis kriteria (faktor) yang ditetapkan maka dikumpulkanlah data dalam bentuk peta digital

dengan format raster yang berasal dari perwakilan Otoritas di Distrik Kedah, Malaysia. Pemilihan studi kasus di luar Indonesia ini adalah karena ketersediaan data (peta-peta digital) yang dibutuhkan. Data sekunder dalam bentuk peta yang telah dikumpulkan ini adalah jenis peta dasar (*basic map*) yang selanjutnya akan diproses menjadi peta faktor/kriteria.

**Standardisasi Peta Faktor**

Sebelum melakukan evaluasi multikriteria, maka masing-masing peta faktor yang dilibatkan terlebih dahulu distandardisasi. Standardisasi adalah pemberian nilai atau skor yang standar untuk setiap atribut dari faktor evaluasi. Atribut adalah ukuran-ukuran yang menentukan bertambahnya atau berkurangnya nilai atau skor kesesuaian lokasi dalam setiap faktor. Standardisasi diperlukan agar dapat dilakukan kombinasi atau *overlaying* peta-peta faktor.

Metode standardisasi faktor evaluasi dalam penelitian ini adalah metode *Fuzzy Membership Function* (FMF) dengan nilai keanggotaan 0 sampai 255. FMF adalah kurva yang menentukan bagaimana setiap titik dalam ruang masukan dipetakan ke salah satu jangkauan nilai keanggotaan (atau derajat keanggotaan) antara 0 dan 1, antara 1 dan 10, dan antara 0 dan 255.

Jiang dan Eastman (2000) mengemukakan bahwa konsep keanggotaan himpunan *fuzzy* (Zadeh, 1965; Giusti *et al.*, 2015) memberikan dasar untuk mengembangkan pendekatan skala nilai umum dalam AKMK-SIG. Pendekatan ini dapat dilihat sebagai salah satu nilai pemodelan ulang menjadi pernyataan keanggotaan yang ditetapkan. Konsep tersebut telah diimplementasikan dalam modul “*fuzzy*” dalam perangkat lunak IDRISI (Eastman, 1997). Prosedur ‘*fuzzy*’ memberikan nilai kepada alternatif keputusan (piksel/raster) berdasarkan keanggotaannya dalam himpunan *fuzzy*. FMF yang digunakan dalam penelitian ini adalah *linear monoton increasing*, *linear monoton decreasing*, *triangular* atau *linear symmetric*, dan *user-define function* yang dapat dilihat di Gambar 3.

Fungsi *linear monoton increasing* ditulis dengan Persamaan 1 (Jain dan Sharma, 2020):

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & x > b \end{cases} \dots\dots\dots (1)$$

Fungsi *linear monoton decreasing* ditulis sebagai Persamaan 2:

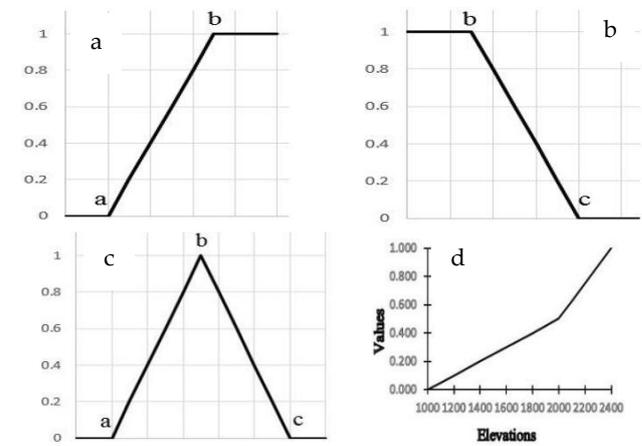
$$\mu(x) = \begin{cases} 1, & x < b \\ \frac{x-c}{b-c}, & b \leq x \leq c \\ 0, & x > c \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

Fungsi *triangular* atau *linear symmetric* ditulis sebagai Persamaan 3:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x < a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{x-c}{b-c}, & b \leq x \leq c; \\ 0, & x > c \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana  $\mu(x)$  adalah nilai FMF dan a, b, dan c adalah titik-titik kontrol. Jika  $x < a$  dan  $x > c$  maka  $\mu(x) = 0$ , dan jika  $x = b$  maka  $\mu(x) = 1$ .

Prosedur standardisasi dalam hal ini telah terintegrasi dalam perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini. Titik-titik kontrol merupakan jarak-jarak spasial dan nilai fungsi merupakan indeks kesesuaian lokasi yang dalam hal ini dipilih skala 0 sampai dengan 255.



Gambar 3. Ilustrasi fungsi keanggotaan *fuzzy*: a) *linear monoton increasing*, b) *linear monoton decreasing*, c) *linear symmetric*, dan d) *user-define function*

**Pembuatan Peta Faktor**

Peta-peta faktor kemudian dibuat berdasarkan hasil standardisasi dengan metode yang diuraikan di atas. Setiap piksel dari masing-masing peta ini memiliki sebuah nilai standar (diantara 0 hingga 255) yang besarnya tergantung pada tiga hal, yaitu jenis kriteria, nilai dasar kriteria, dan rumusan kesesuaian kriteria. Kriteria kemiringan tanah untuk pemilihan lokasi TPA misalnya akan memiliki rumusan kesesuaian: “Semakin rendah kemiringan tanah semakin sesuai untuk lokasi TPA”. Dengan demikian, lokasi-lokasi yang mendekati datar akan memiliki nilai standard mendekati maksimum yaitu 255.

**Pembobotan Peta Faktor**

Langkah selanjutnya adalah menentukan bobot tiap faktor yang dilibatkan, yang akan mempertimbangkan pengaruh atau tingkat pentingnya masing-masing faktor. Bobot faktor dalam penelitian ini ditentukan berdasarkan hasil penelitian frekuensi kejadian (*frequency of occurrence*) atau penggunaannya yang dilaporkan dalam hasil-hasil penelitian yang terpublikasi, yang diaplikasikan pada wilayah tinjauan yang sama (Ahmad, 2018).

**Kombinasi Peta Faktor**

Langkah berikutnya ialah penggabungan (*overlay*) peta-peta faktor menggunakan metode *Analytic Hierarchy Process* (AHP) dengan struktur empat tingkat, yaitu 1 gol (indeks kesesuaian lokasi), 3 buah tujuan (3 faktor evaluasi), 16 atribut (16 faktor evaluasi), dan alternatif (jumlah piksel peta dari seluruh wilayah studi). Metode kombinasi peta yang paling sering digunakan dalam AKMK-SIG adalah metode *weighted linear combination* atau WLC (Rezaeisabzevar *et al.*, 2020). Kombinasi ini akan menghasilkan sebuah peta indeks kesesuaian lokasi (PIK). Setiap piksel dari PIK memiliki nilai

indeks kesesuaian lokasi yang besarnya ditentukan dengan Persamaan (4) (Malczewski & Rinner, 2015).

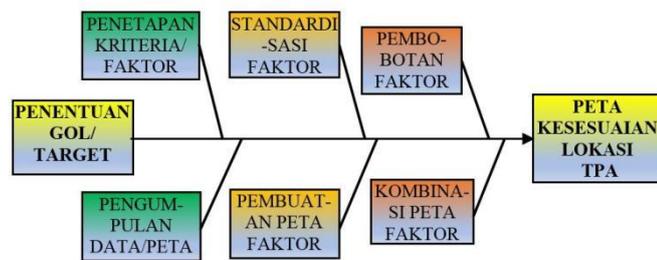
$$TI(A_i) = \sum_{k=1}^n w_j w_{k(j)} v(a_{ik}), \dots \dots \dots (4)$$

dimana  $TI(A_i)$  adalah indeks kesesuaian total alternatif ke-i,  $v(a_{ik})$  adalah fungsi nilai (nilai standard atribut ke-k untuk alternatif ke-i);  $w_j$  adalah bobot yang berasosiasi dengan tujuan ke-j ( $j = 1, 2, 3$ ), dan  $w_{k(j)}$  adalah bobot yang diberikan kepada atribut ke-k yang berasosiasi dengan tujuan ke-j. PIK ini kemudian direklasifikasi untuk menghasilkan sebuah peta kesesuaian lokasi (PKL).

Proses pengolahan dan analisis data peta dilakukan menggunakan perangkat lunak SIG bernama IDRISI versi 17.0 (Idrisi Selva) (Eastman, 2012).

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Model pemilihan lokasi TPA yang diterapkan dalam penelitian ini (model SNI-A) diilustrasikan dengan Gambar 4. Model AKMK-SIG yang diusulkan ini memiliki enam langkah utama: menentukan kriteria atau faktor, mengumpulkan data/peta, standardisasi faktor, membuat peta faktor, pembobotan faktor, dan kombinasi peta faktor.



Gambar 4. Model pemilihan lokasi TPA (Model SNI-A)

Berdasarkan literatur (DPU-RI, 1994; Ahmad, 2018; Isalou *et al.*, 2012; Sener *et al.*, 2010; Manurung dan Santoso, 2019; Rezaeisabzevar *et al.*, 2020; Alkaradaghi *et al.*, 2020) dan ketersediaan data/peta, telah ditetapkan enam belas faktor evaluasi dalam studi ini. Model SNI-A ini hanya menggunakan dan memproses data dalam bentuk peta digital sebagai masukan/input.

Hasil standardisasi faktor evaluasi dipresentasikan pada Tabel 3. Terdapat 3 faktor yang menggunakan *user-defined function* (akuifer, permeabilitas, dan penggunaan tanah), 8 faktor menggunakan *Linear Monotonically increasing* (badan air, daerah genangan, daerah sensitif, jarak bandara, jarak sesar, daerah pemukiman, daerah perkotaan, dan utilitas), 3 faktor menggunakan *Linear Monotonically decreasing* (curah hujan, kemiringan tanah, potensial angin), dan 2 faktor menerapkan *Linear Symmetric* (akses jalan dan jarak angkut sampah).

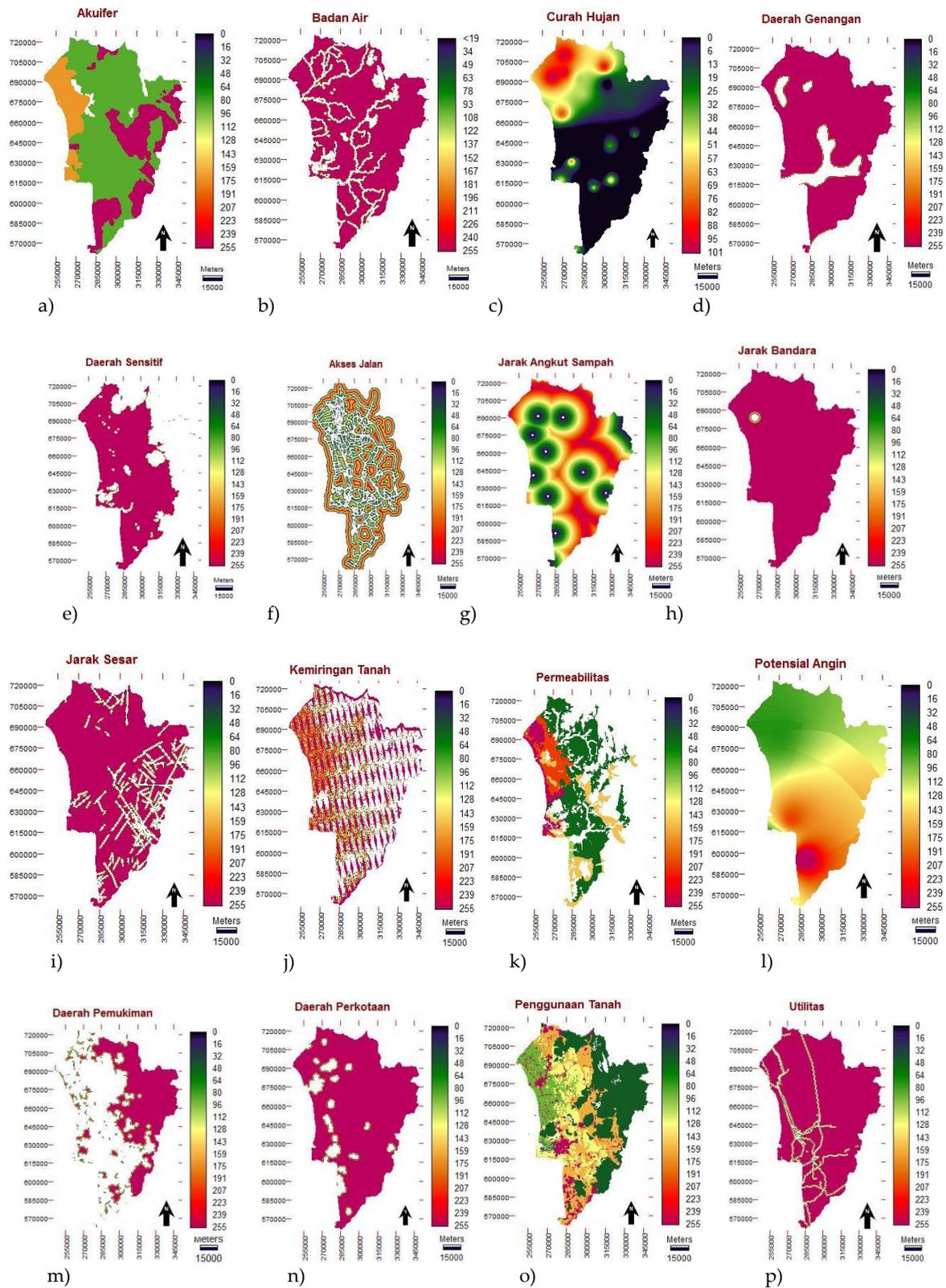
Tabel 4 menunjukkan sejauh mana kriteria pada studi kasus model SNI-A mencakup kriteria dalam model SNI. Dari segi subkriteria, diketahui ada tujuh faktor model SNI-A yang mencakup lebih 75% dari total subkriteria regional model SNI (total 9 subkriteria). Melalui standardisasi (lihat Tabel 3), tujuh subkriteria regional yang dalam model SNI digunakan hanya sebagai pembatas, maka dalam SNI-A digunakan sekaligus sebagai pembatas dan faktor evaluasi kesesuaian lokasi. Jadi, kelemahan model SNI yang diuraikan sebelumnya telah diatasi dalam model SNI-A.

Tabel 3. Standardisasi faktor evaluasi

No	Kriteria (Faktor)	Fungsi dan Bentuk
		Titik kontrol
1	Akuifer	<i>User-defined function</i> Sangat tinggi = 0, tinggi = 85, sedang = 170, rendah = 255
2	Badan air (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 500 m, b = c = d = 1.000 m
3	Curah hujan (mm)	<i>Linear Monotonically decreasing</i> a = 100 mm, b = c = d = 200 mm
4	Daerah genangan (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 100 m, b = c = d = 1.000 m
5	Daerah sensitif (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 500 m, b = c = d = 1.000 m
6	Akses jalan (m)	<i>Linear Symmetric</i> a = 500 m, b = c = 3.000 m, d = 5.500 m
7	Jarak angkut sampah (m)	<i>Linear Symmetric</i> a = 1.000 m, b = c = 25.000 m, d = 49.000 m
8	Jarak bandara (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 3.000 m, b = c = d = 5.000 m
9	Jarak sesar (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 500 m, b = c = d = 1.000 m
10	Kemiringan tanah (%)	<i>Linear Monotonically decreasing</i> a = 0%, b = c = d = 10%
11	Permeabilitas tanah	<i>User-defined function</i> cepat = 0, sedang ke cepat = 51, sedang = 102, lambat ke sedang = 153, lambat = 204, sangat lambat = 255
12	Potensi angin	<i>Linear Monotonically decreasing</i> a = 1, b = c = d = 2
13	Daerah pemukiman (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 1.000 m, b = c = d = 2.000 m
14	Daerah perkotaan (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 1.000 m, b = c = d = 2.000 m
15	Penggunaan tanah	<i>User-defined function</i> waterbody = 0, paddy = 90, agriculture = 160, primary development area = 255
16	Utilitas (m)	<i>Linear Monotonically increasing</i> a = 300 m, b = c = d = 1.000 m

Tabel 4. Perbandingan kriteria pada studi kasus model SNI-A dengan model SNI

No	Kriteria (Faktor) dalam studi kasus model SNI-A	Kriteria/subkriteria dalam model SNI	
		Nama	Kategori
1	Akuifer	Kelulusan tanah, kedalaman air tanah	Regional
2	Badan air (m)	-	-
3	Curah hujan (mm)	Hujan	Penyisih
4	Daerah genangan (m)	Daerah banjir	Regional
5	Daerah sensitif (m)	Kawasan lindung atau cagar alam	Regional
6	Akses jalan (m)	Utilitas	Penyisih
7	Jarak angkut sampah (m)	Ekonomi	Penyisih
8	Jarak bandara (m)	Jarak ke bandara	Regional
9	Jarak sesar (m)	Zona sesar aktif	Regional
10	Kemiringan tanah (%)	Kemiringan zona	Regional
11	Permeabilitas tanah	Kelulusan tanah	Regional
12	Potensi angin	Angin	Penyisih
13	Daerah pemukiman (m)	Demografi, Kebisingan, Bau	Penyisih
14	Daerah perkotaan (m)	Demografi, Kebisingan, Bau	Penyisih
15	Penggunaan tanah	Produktivitas tanah	Penyisih
16	Utilitas (m)	Utilitas	Penyisih



Gambar 5. Peta-peta faktor

Untuk kriteria penyisih, terdapat delapan kriteria model SNI-A yang mencakup 53% dari total subkriteria penyisih model SNI (total 15 subkriteria). Satu kriteria, yaitu badan air, dalam model SNI-A ini tidak terdapat dalam model SNI. Kriteria ini diyakini penting dilibatkan untuk mencegah pencemaran air permukaan oleh TPA. Dari segi kriteria, 100% kriteria regional model SNI (total 5 kriteria)

terwakili dalam model SNI-A ini, sedangkan untuk kriteria penyisih (total 10 kriteria) terwakili 70% saja.

Ada faktor-faktor model SNI yang tidak menjadi faktor dalam model SNI-A, sebaliknya ada juga faktor-faktor yang dilibatkan dalam model SNI-A ini yang tidak terdapat dalam model SNI. Kelebihan faktor dalam model SNI-A ini dianggap sebagai tambahan yang dapat meningkatkan

kinerja model, sedangkan kekurangannya dapat diakomodir menyusul bila diperlukan dan datanya tersedia.

Berdasarkan hasil standardisasi yang tertera pada Tabel 3 telah dibuat enam belas peta faktor, seperti ditunjukkan pada Gambar 5. Urutan nama peta-peta faktor tersebut sesuai dengan nama faktor pada Tabel 4 kolom 2. Setiap piksel pada setiap peta tersebut memiliki nilai antara 0 sampai dengan 255, di mana semakin tinggi nilainya berarti semakin tinggi kesesuaian lokasinya.

Tabel 5 menyajikan hasil pembobotan kriteria (faktor) evaluasi. Dari Tabel 5 diketahui lima faktor dominan mempengaruhi hasil pemilihan lokasi, yaitu badan air, daerah sensitif, akses jalan, penggunaan tanah, dan daerah pemukiman.

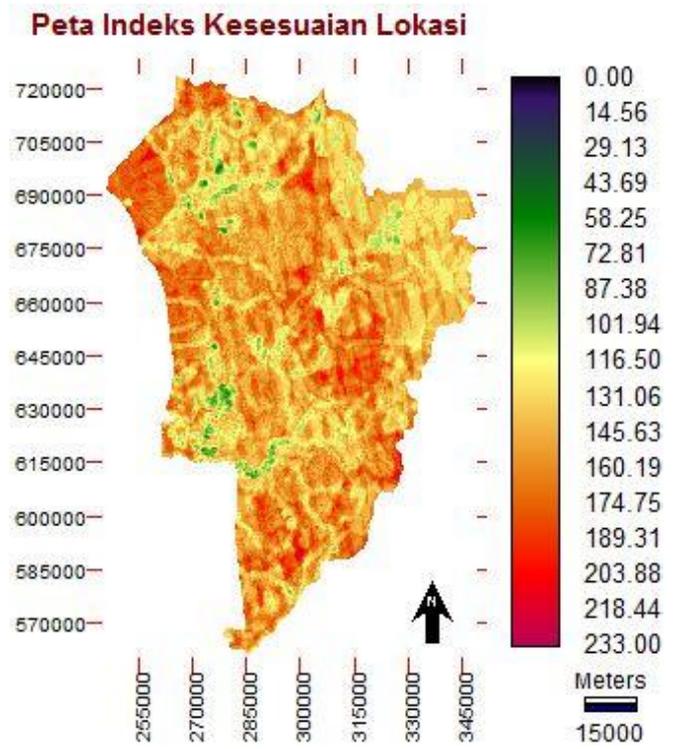
Kombinasi seluruh peta faktor yang melibatkan bobot factor menghasilkan sebuah peta indeks kesesuaian lokasi (PIK) yang disajikan pada Gambar 6. Karena pengaruh bobot faktor yang berbeda-beda maka nilai indeks kesesuaian setelah proses penggabungan menjadi antara 0 sampai dengan 233.

Reklasifikasi dari peta indeks kesesuaian lokasi menghasilkan peta kesesuaian lokasi (PKL) TPA, yang dipresentasikan pada Gambar 7. Jangkauan nilai indeks dari PIK telah dikelompokkan ke dalam empat jangkauan indeks kesesuaian lokasi (Tabel 6 kolom 1) yang masing-masing sesuai dengan kategori peringkat kesesuaian lokasi yaitu rendah, sedang, tinggi, dan sangat tinggi (Tabel 6 kolom 2).

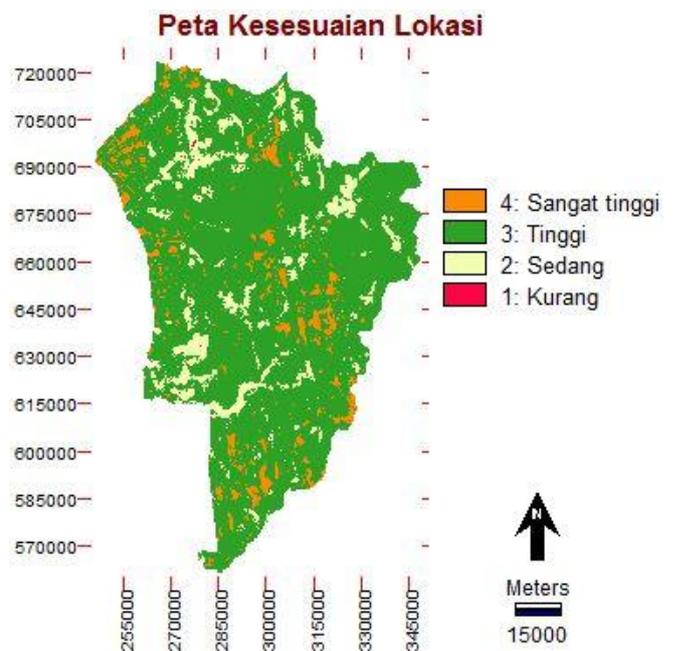
Dari Gambar 7 terlihat bahwa seluruh daerah tinjauan (alternatif) terdiri dari empat zona kelayakan dengan masing-masing tingkat kesesuaian mulai dari level rendah (warna merah), sedang (warna kuning gading), tinggi (warna hijau), dan sangat tinggi (warna merah jambu).

Tabel 5. Hasil pembobotan faktor (Ahmad, 2018)

No.	Kriteria (Faktor) Evaluasi	Bobot relatif faktor	Bobot kelompok faktor	Bobot mutlak faktor
1	Akuifer	0,252		0,080
2	Badan air	0,321		0,101
3	Curah hujan	0,038	0,316	0,012
4	Daerah genangan	0,084		0,027
5	Daerah sensitif	0,305		0,096
6	Akses jalan	0,242		0,094
7	Jarak angkut	0,068		0,027
8	Jarak bandara	0,118		0,046
9	Jarak sesar	0,143	0,390	0,056
10	Kemiringan tanah	0,205		0,080
11	Permeabilitas	0,161		0,063
12	Potensi angin	0,063		0,025
13	Daerah pemukiman	0,311		0,091
14	Daerah perkotaan	0,295	0,294	0,087
15	Penggunaan tanah	0,320		0,094
16	Utilitas	0,074		0,022



Gambar 6. Peta indeks kesesuaian lokasi (PIK)



Gambar 7. Peta kesesuaian lokasi (PKL)

Tabel 6. Luas wilayah menurut tingkat kesesuaian lokasi TPA

Range indeks kesesuaian lokasi	Tingkat kesesuaian	Skor Kesesuaian	Luas (ha)	Persentase (%)
180 - 240	Sangat tinggi	4	59.596,7	6,59
120 - 180	Tinggi	3	746.758,5	82,51
60 - 120	Sedang	2	98.064,3	10,84
0 - 60	Rendah	1	654,0	0,07
Total:			90.5073,7	100

Sesuai dengan empat level kesesuaian lokasi yang ada, maka pada Tabel 6 kolom 4 dan 5 disajikan luas dan persentase masing-masing wilayah. Persentase luas wilayah menurut tingkat kesesuaiannya berturut-turut adalah 0,07% (rendah), 10,84 % (sedang), 82,51 % (tinggi), dan 6,59 % (sangat tinggi). Peta kesesuaian lokasi (Gambar 7) merupakan keluaran Tahap-1 dari model SNI-A yang sebanding dengan keluaran Tahap-2 model SNI. Untuk keperluan Tahap-2 model SNI-A (atau tahap-3 model SNI), yaitu Kriteria Penetapan, maka dari peta kesesuaian lokasi tersebut selanjutnya dipilih zona dengan tingkat kesesuaian tertinggi yaitu kategori sangat tinggi untuk diajukan.

#### 4. KESIMPULAN

Model alternatif pemilihan lokasi TPA (model SNI-A) yang diusulkan, seperti diilustrasikan pada Gambar 4, merupakan proses satu tahap yang melibatkan semua subkriteria dari Tahap-1 dan Tahap-2 model SNI. Zona yang layak berdasarkan Tahap-1 SNI (yang tidak memiliki peringkat), dalam model SNI-A ini sudah sekaligus diberi peringkat yang standar. Dengan demikian model yang diusulkan ini lebih praktis dan komprehensif.

Hasil aplikasi model SNI-A pada penentuan lokasi TPA di Distrik Kedah (Malaysia), dengan melibatkan enam belas kriteria yang dianggap telah mewakili seluruh kriteria pada Tahap-1 dan Tahap-2 model SNI, menunjukkan empat tingkat kesesuaian lokasi secara berturut-turut yaitu sebesar 6,59 % (sangat tinggi), 82,51 % (tinggi), 10,84 % (sedang), dan 0,07 % (rendah).

Disarankan kepada pihak yang berwenang dan kompeten untuk meninjau SNI 03-3241-1994 agar lebih adaptif terhadap perkembangan metode analisis keputusan multikriteria berbasis sistem informasi geografis (AKMK-SIG), seperti model SNI-A yang dibahas dalam studi ini. Untuk penelitian lanjutan, disarankan melibatkan perwakilan para pemangku kepentingan (seperti tokoh masyarakat peduli lingkungan, akademisi, konsultan bidang perencanaan TPA, dan dinas pemerintah kota/daerah terkait) dalam menentukan bobot faktor, misalnya dengan metode perbandingan berpasangan dari AHP (*analytic hierarchy process*). Untuk mendukung aplikasi AKMK-SIG tersebut di atas, maka diusulkan kepada instansi terkait agar menyiapkan peta-peta tematik digital untuk seluruh kriteria yang diperlukan dalam standard pemilihan lokasi TPA

#### PERSANTUNAN

Penulis dengan penuh rasa syukur menyampaikan penghargaan dan mengucapkan terimakasih atas dukungan finansial yang diberikan melalui dana DIPA Politeknik Negeri Medan tahun 2021 dengan nomor kontrak: B/153/PL5/PT.01.05/2021 tertanggal 2 Juni 2021.

#### DAFTAR PUSTAKA

Ahmad, S. Z. (2018). *Fuzzy Logic-Ordered Weighted Average Model for Effective Municipal Solid Waste Landfill Site Selection Using Comprehensive Spatial Environmental, Physical and Socio-economic Criteria* (Ph.D.'s thesis). USM, Universiti Sains Malaysia, Penang, Malaysia.

Alkaradaghi, K., Ali, S.S., Al-Ansari, N. & Laue, J. (2020).

Landfill Site Selection Using GIS and Multi-Criteria Decision-Making AHP and SAW Methods: A Case Study in Sulaimaniyah Governorate, Iraq. *Engineering*, 12, 254–268.

- Apritama, M. R., Oktiawan, W., Wardhana, I. W. (2016). Studi Pemilihan Lokasi TPA Regional Bregasmalang (Brebes, Tegal, Slawi, Pemalang). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 5(2), 1–8.
- DPU-RI, (1994). Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia SNI 03-3241-1994. *Tata Cara Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir Sampah*. Jakarta
- Eastman, J. R. (1997). *IDRISI for Windows, Version 2.0: Tutorial exercises*. Worcester: Clark University.
- Eastman, J. R. (2012) *IDRISI Selva Tutorial, Manual Version 17*. IDRISI Production. Clark University. Worcester, Massachusetts, USA.
- Estoque Ronald C. (2011) *GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis (in Natural Resource Management)*. <http://giswin.geo.tsukuba.ac.jp/sis/tutorial/GIS-based%20MCDA%20RCEstoque.pdf>. Accessed 2 March 2018
- Giusti, E., Marsili-Libelli, S. (2015). A Fuzzy Decision Support System for irrigation and water conservation in agriculture. *Environmental Modelling & Software*, 63, 73–86.
- Isalou, A. A., Zamani, V., Shahmoradi, B. (2012). Landfill site selection using integrated fuzzy logic and analytic network process (F-ANP). *Environmental Earth Science*, 68(6), 1745–1755.
- Jain, A., Sharma, A. (2020). Membership Function Formulation Methods for Fuzzy Logic System: A Comprehensive Review. *Journal of Critical Reviews*, 7(19), 8717-8733
- Jiang, H., & Eastman, J. R., 2000. Application of fuzzy measures in multi-criteria evaluation in GIS. *International Journal of Geographical Information Systems*, 14(2), 173–184.
- Malczewski, J. & Rinner, C. (2015). *Multi Criteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. New York: Springer.
- Manurung, D. W. dan Santoso, E. B. (2019). Penentuan Lokasi Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) Sampah yang Ramah Lingkungan di Kabupaten Bekasi. *Jurnal Teknik Sipil ITS*, 8(2), 123–130.
- Mizwar, A. (2012). Penentuan Lokasi Tempat Pengolahan Akhir (TPA) Sampah Kota Banjar Baru Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG). *EnviroScientiae*, 8(1), 16–22.
- Pattiasina, M.K., Tondobala, L., & Lakat, R.S.M. (2018). Analisis Pemilihan Lokasi Tempat Pembuangan Akhir (TPA) Berbasis *Geography Information System (GIS)* di Kota Tomohon. *Jurnal Spasial*, 5(3), 449–460.
- Rezaeisabzevar, Y., Bazargan, A., Zohourian, B. (2020). Landfill site selection using multi criteria decision

- making: Influential factors for comparing locations. *Journal of Environmental Sciences*, 93, 170–184.
- Rikalovik, A., Cosic, I., Lazarevic, D. (2014). GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection. *Procedia Engineering*, 69, 1054–1063.
- Sample, D.J., Heaney, J.P., Wright L.T., and Koustas R. (2001). Geographic Information System, Decision Support System, and Urban Storm-Water Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 127(3), 155–161.
- Saragih D.F., Spatial Multi Criteria Site Selection of Detention and Retention Pond for Urban Storm Water Management at Medan City [Ph.D. thesis], Malaysia: Universiti Sains Malaysia; 2020.
- Saaty, T.L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83–98.
- Sener, S., Sener, E., Karaguezel, R. (2011). Solid waste disposal site selection with GIS and AHP methodology: a case study in Seniskent-Uluborlu (Isparta) Basin, Turkey. *Environ Monit Assess.* 173(1–4), 533–554.
- Zadeh, L. A.(1965). Fuzzy Sets. *Information and Content*, 8(3), 338–353.