

Penyediaan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) Berdasarkan Perkembangan Permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara

Indri Gratia Simanjuntak dan Putu Gde Ariastita

Departemen Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: ariastita@urplan.its.ac.id

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah alokasi kebutuhan TPST yang harus disediakan berdasarkan perkembangan permukiman mendatang di Kabupaten Tapanuli Utara. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Melakukan identifikasi dan pembobotan variabel yang berpengaruh terhadap perkembangan permukiman dengan menggunakan analisis AHP. Penelitian ini juga menggunakan metode Cellular Automata yaitu dengan Landuse Sim dalam memodelkan perkembangan penduduk mendatang, dan menggunakan standar 3242-2008 dalam merumuskan jumlah kebutuhan TPST yang harus disediakan di Kabupaten Tapanuli Utara mendatang. Temuan dari penelitian ini adalah pada tahun 2042, luas permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara adalah 16.195 ha. Hal ini mengalami peningkatan sebesar 2.617 ha dibanding tahun 2022. Dengan pola perkembangan permukiman yaitu mengelompok. Dan hasil akhir dari penelitian ini bahwa pada tahun 2042, Kabupaten Tapanuli Utara membutuhkan sebanyak 4 TPST yang melayani 10 Kecamatan. Dengan tahapan penyediaan yaitu (1) Tahun 2027: penyediaan TPST di Kecamatan Siborongborong; (2) Tahun 2032: penyediaan TPST di Kecamatan Tarutung, Adiankoting, Sipoholon, dan Siatas Barita; (3) Tahun 2037: penyediaan TPST di Kecamatan Garoga, Pangaribuan, dan Sipahutar; dan (4) Tahun 2042: penyediaan TPST di Kecamatan Parmonangan dan Pagaran.

Kata Kunci—Perkembangan Permukiman, Pemodelan Permukiman, Penyediaan TPST, Cellular Automata.

I. PENDAHULUAN

PERMUKIMAN merupakan lingkungan yang bukan kawasan lindung, memiliki fungsi sebagai lingkungan tempat tinggal dan lingkungan hunian dan tempat mendukung kegiatan penduduk. Fenomena perkembangan perkotaan (urban growth) ditandai dengan semakin banyak dan luasnya kawasan permukiman perkotaan. Salah satu penyebab dari semakin luasnya perkembangan perkotaan adalah peningkatan jumlah penduduk perkotaan yang selalu meningkat [1]. Namun peningkatan jumlah penduduk dan tidak meratanya kepadatan permukiman menyebabkan penurunan kualitas infrastruktur. Hal ini berpengaruh kepada kinerja infrastruktur persampahan dalam mengangkut dan mengelola sampah [2]. Tempat Pembuangan Akhir (TPA) yang sekarang berubah nama menjadi Tempat Pemrosesan Akhir merupakan infrastruktur andalan pengolahan yang akan menampung sampah yang dihasilkan di perkotaan. Perkembangan ini mengakibatkan tingginya jumlah sampah yang harus ditampung di TPA. Sehingga dalam UU No. 18 Tahun 2018 tentang Pengolahan Sampah, bahwa penanganan sampah yang melakukan pembuangan langsung ke TPA tidak diperbolehkan lagi. UU (8/2018) mengubah pandangan terhadap tahapan pengolahan sampah yang awalnya sampah yang dihasilkan akan dibuang langsung ke lingkungan

menjadi sampah yang dihasilkan harus mengalami tahap pemrosesan sebelum akhirnya disalurkan ke TPA [3].

Kabupaten Tapanuli Utara pada tahun 2022 memiliki jumlah penduduk mencapai 318.438 jiwa. Mengalami kenaikan sebesar 3.212 jiwa dari tahun 2022 [4]. Berdasarkan data Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Tapanuli Utara, tahun 2021 penduduk dapat menghasilkan sampah sebesar 670,06 m³/ hari. Namun kondisi ini tidak sebanding dengan kemampuan alat pengangkut sampah yang tersedia yaitu hanya mampu mengangkut sampah sebesar 149 m³/ hari. Kabupaten Tapanuli Utara telah memiliki 2 TPA, yaitu TPA Siararang dan TPA Lobu Siregar. Namun ternyata TPA yang tersedia juga belum bisa menampung seluruh sampah yang dihasilkan. Ketidakmampuan infrastruktur pengangkut dan penampung sampah tersebut menuntut Pemerintah Kabupaten Tapanuli Utara untuk segera menyesuaikan sistem pengolahan sampah saat ini dengan kebutuhan mendatang. Namun hal ini bukan hanya tugas dan tanggung jawab pemerintah, tetapi masyarakat yang bermukim sebagai pengguna dan penerima layanan persampahan juga memiliki tanggung jawab dalam isu persampahan ini [5].

Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) merupakan infrastruktur persampahan yang didalamnya dilakukan kegiatan pengumpulan, pemilahan, pendaur ulang, dan penimbunan. Hal yang membedakan antara TPST dan TPS-3R terletak pada kegiatan yang dilakukan di TPST yaitu di TPST dilakukan kegiatan penimbunan sebagai proses akhir kegiatan. Sementara di TPS-3R hanya melakukan kegiatan reuse, reduce, dan recycle, dan hasil dari kegiatan masih perlu disalurkan menuju TPA. Dari segi pengelola, TPST dan TPS-3R dikelola oleh pihak yang berbeda. TPS-3R dikelola oleh masyarakat sekitar sementara TPST berbasis institusi yaitu dikelola oleh pemerintah atau pihak swasta yang ditunjuk .

Penelitian terdahulu mengenai perencanaan TPST di Kecamatan Medan Johor, Kota Medan dan di Banjarbakula Kalimantan Selatan, penentuan kebutuhan TPST dilakukan dengan memproyeksi jumlah penduduk [6][7]. Baik dengan melakukan proyeksi penduduk dengan menggunakan rumus proyeksi geometri. Namun teknik proyeksi penduduk ini, tidak mampu memunculkan titik-titik berkepadatan penduduk tinggi. Oleh karena itu diperlukan penelitian yang mampu memproyeksikan jumlah penduduk dengan menggunakan spasial. Sehingga didapatkan jumlah penduduk dan titik-titik yang berkepadatan tinggi. Agar mampu menggambarkan letak kecamatan yang sangat membutuhkan penyediaan lebih lagi.

Penelitian ini dilakukan dengan melakukan pemodelan perkembangan lahan terbangun yaitu permukiman dengan menggabungkan faktor-faktor yang menjadi penyebab

Tabel 1.
Variabel Penelitian

Indikator	Variabel
Aksesibilitas	Jarak sarana pendidikan
	Jarak sarana kesehatan
	Jarak sarana perdagangan dan jasa
	Jarak permukiman eksisting
	Jarak industri eksisting
	Jarak jaringan listrik
	Jarak jaringan air bersih
	Jarak jaringan jalan
Penyediaan TPST	Kapasitas pengolahan TPST yaitu maksimum 248 m ³ [7]

Tabel 2.
Responden Kuisioner Penelitian

No	Instansi
1	Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kab. Tapanuli Utara
2	Dinas Lingkungan Hidup Kab. Tapanuli Utara
3	Dinas Perumahan dan Kawasan Permukiman Kab. Tapanuli Utara
4	BAPPELITBANGDA Bidang Fisik, Prasarana, Sarana dan Tata Ruang Kab. Tapanuli Utara
5	BAPPELITBANGDA Bidang Penelitian dan Pengembangan Kab. Tapanuli Utara
6	Akademisi (Dosen Arsitektur USU)

perkembangan permukiman. Sehingga nantinya hasil pemodelan ini akan digunakan sebagai dasar menentukan penyediaan kebutuhan TPST mendatang di Kabupaten Tapanuli Utara. Penelitian ini memberikan output berupa timeline penyediaan TPST di Kabupaten Tapanuli Utara dari tahun 2027-2042. Urgensi penelitian ini melakukan pemodelan perkembangan permukiman adalah keterbaruan dari RTRW Kabupaten Tapanuli Utara yang hanya berlaku hingga tahun 2017-2037.

II. METODE PENELITIAN

A. Pendekatan Penelitian

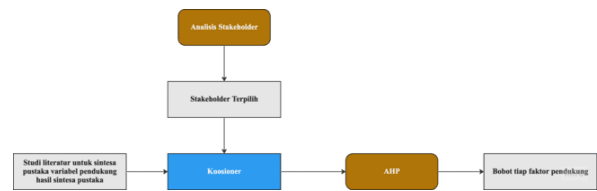
Pendekatan dalam penelitian ini adalah pendekatan positivisme. Pendekatan kuantitatif adalah tahapan yang menggunakan data berupa angka sebagai alat analisisnya untuk menemukan apa yang ingin ditemukan [8]. Metode penelitian kuantitatif dapat disebut juga sebagai metode penelitian yang berlandaskan pada filsafat positivisme [9]. Pada penelitian ini, data yang digunakan yaitu data jarak dan jumlah sarana dan prasarana kawasan yang ada di Kabupaten Tapanuli Utara. Penelitian ini juga menggunakan data penggunaan lahan akan diolah terlebih dahulu menggunakan metode cellular automata untuk mendapatkan model perubahan penggunaan lahan di wilayah penelitian yang nantinya akan dilakukan overlay dengan data lainnya.

B. Variabel Penelitian

Variabel penelitian didapat dari hasil sintesa pustaka yang digunakan minimal tiga penelitian. Variabel yang digunakan dalam penelitian dijabarkan pada Tabel 1.

C. Teknik Sampling

Teknik sampling yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan teknik nonprobability sampling dengan metode purposive sampling. Metode ini memiliki pengertian bahwa tidak semua pihak memiliki kedudukan/ peluang yang sama. Penentuan sampel didasarkan pada responden yang memenuhi persyaratan tertentu yang sesuai dengan tujuan



Gambar 1. Alur tahapan pelaksanaan AHP dalam penentuan bobot variabel.



Gambar 2. Struktur Hirarki Variabel Perkembangan Permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara.

penelitian. Populasi dari penelitian ini adalah seluruh pembuat keputusan yaitu instansi pemerintahan di Kabupaten Tapanuli Utara. Sehingga sampel dari penelitian dijabarkan pada Tabel 2.

D. Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini dilakukan secara primer maupun sekunder. Primer dilakukan dengan kuesioner kepada responden yaitu stakeholder di Kabupaten Tapanuli Utara. Sementara sekunder dilakukan dengan survey instansi untuk memperoleh data yang diperlukan, dan pengambilan citra sentinel.

E. Teknik Analisis

Dalam menentukan penyediaan TPST di Kabupaten Tapanuli Utara dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu:

1) Pemodelan Perkembangan Permukiman Mendatang

Sebelum melakukan pemodelan, membutuhkan bobot setiap variabel. Bobot ini ditemukan dari kuesioner yang disebarkan kepada responden. Kemudian kuesioner diolah dengan metode Analytical Hierarchy Process (AHP). AHP merupakan metode analisis yang AHP melibatkan beberapa variabel dan sub variabel dengan mempertimbangkan seluruh variabel yang terkait. Analisis AHP dilakukan dengan bantuan software Expert Choice. Dengan rincian seperti pada Gambar 1.

Dalam analisis AHP, terdapat hirarki AHP yang berisi tujuan, variabel, dan sub-variabel penelitian. Diagram AHP digambarkan pada Gambar 2.

Peta tutupan lahan bersumber dari Citra Sentinel-2, sehingga perlu dilakukan validasi peta hasil sentinel dengan kondisi eksisting. Penentuan titik sampel dilakukan dengan menggunakan Teknik Solvin, yaitu [10]:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2}$$

Keterangan:

n = Sampel; N = Populasi; e = Nilai Presisi 90% atau sig.=0,1

Kemudian untuk menentukan jumlah titik pada setiap jenis tutupan lahan digunakan rumus [11]:

$$n = \frac{\text{jumlah cell}}{\text{total cell} \times \text{sampling}}$$

Setelah ditemukan bobot variabel dari hasil AHP dan hasil

Tabel 3.

Bobot Variabel Berpengaruh terhadap Perkembangan Permukiman Hasil Analisis AHP

No	Variabel	Comb
1	Sarana Pendidikan	0.046
2	Sarana Kesehatan	0.059
3	Sarana Perdagangan dan Jasa	0.180
4	Industri Eksisting	0.058
5	Permukiman Eksisting	0.123
6	Jaringan Listrik	0.111
7	Jaringan Air	0.138
8	Jaringan Jalan	0.286
Inconsistency		0.02

Tabel 4.

Jumlah Titik Sampel pada Tutupan Lahan

Tutupan Lahan	Jumlah Titik
Badan Air	0
Hutan	81
Rawa-rawa	0
Sawah dan Perkebunan	10
Lahan Terbangun	4
Lahan Kosong	0
Padang Rumput	5
Jumlah	100

validasi dari peta tutupan lahan, maka pemodelan dapat dilakukan. Teknik analisis yang dilakukan adalah Cellular Automata. Menurut Wolfram, Cellular Automata merupakan suatu sistem dinamika diskrit di mana ruang dipartisi menjadi sel spasial yang teratur dan di mana proses waktu terjadi pada tahapan yang berbeda-beda. Setiap sel dalam sistem ini memiliki satu kondisi yang selalu diperbaharui sesuai dengan aturan local, waktu yang ditentukan, kondisi sel itu sendiri, dan kondisi tetanga sel tersebut pada saat sebelumnya [12]. Analisis ini dilakukan dengan menggunakan software Landuse Sim. Fitur utama dalam Landuse Sim adalah skenario pembangunan infrastruktur, penerapan zonasi untuk kawasan lindung, dan menghasilkan kelas penggunaan lahan tipe baru. Dalam melakukan analisis menggunakan Landuse Sim dilakukan dengan 2 tahapan. yaitu tahap persiapan data dan tahap analisis. Tahap persiapan data dilakukan dengan bantuan software QGIS. Tahap pelaksanaan dilakukan sebagai berikut:

- Persiapan Data. Pada tahapan ini dilakukan dengan bantuan tools yaitu Landuse Sim Toolbox. Tujuan persiapan data adalah agar data spasial yang akan diolah dapat dikenal oleh Landuse Sim. Hasil yang akan ditemukan adalah nilai Euclidean Distance dari setiap variabel yang digunakan.
- Fuzzy Set (Standarisasi Nilai). Analisis ini dilakukan dengan menggunakan Landuse Sim. Tujuan melakukan fuzzy set untuk menyamakan nilai ED yang beragam menjadi rentang nilai 0 hingga 1.
- Overlay untuk Suitability Maps. Overlay dilakukan dengan menginput nilai hasil AHP disetiap variabel-variabel yang berpengaruh terhadap perkembangan permukiman.
- Transition Potensial with Zoning. Pada proses ini digunakan untuk membuat peta transisi yang dilakukan overlay dengan data suitability maps yang sebelumnya diperoleh, sehingga akan didapatkan transisi potensial maps dengan zona constraint.

Tabel 5.

Luas Tutupan Lahan Tahun 2022-2042

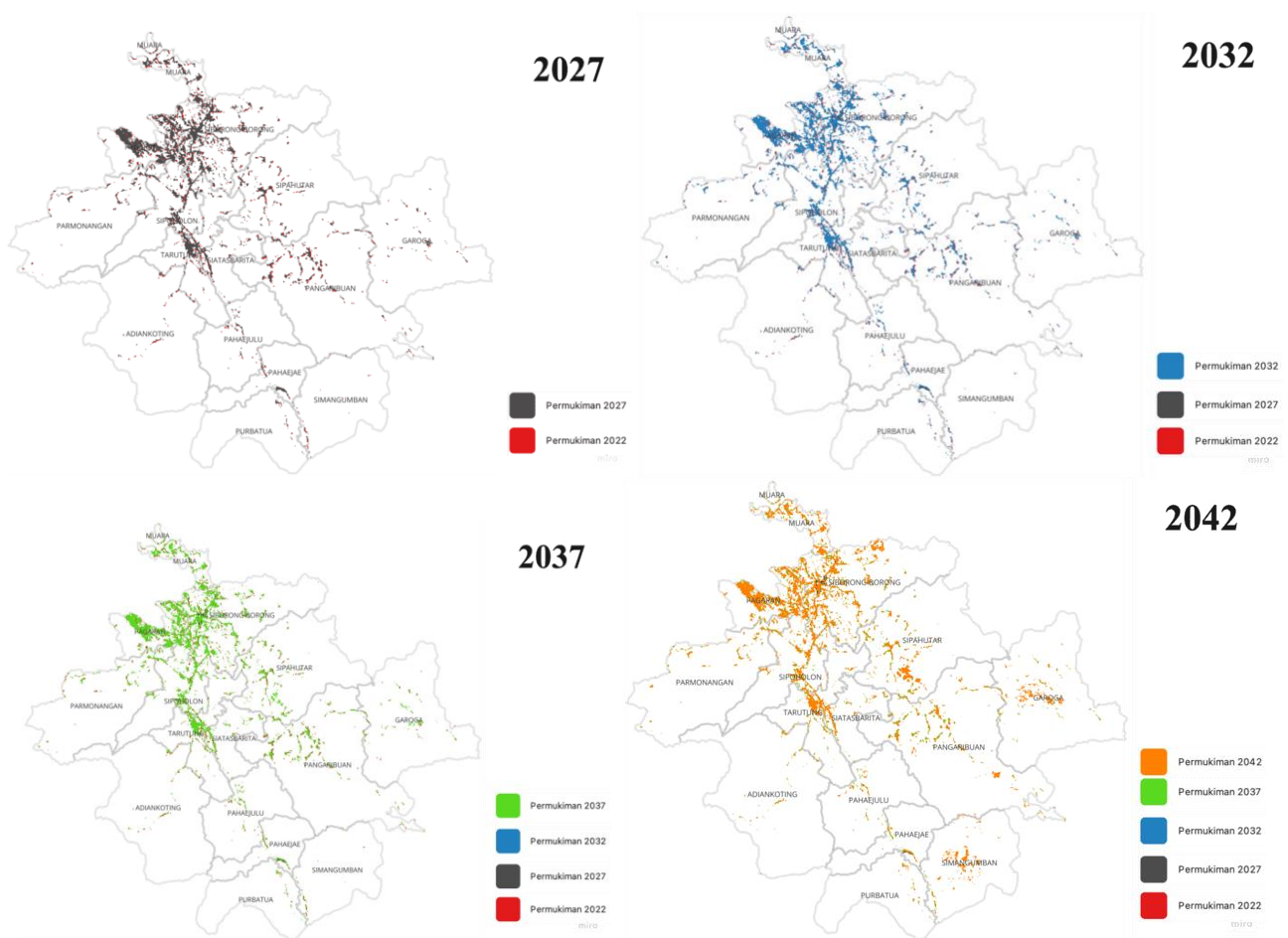
Tutupan Lahan	Luas 2022 (Ha)	Luas 2027 (Ha)	Luas 2032 (Ha)	Luas 2037 (Ha)	Luas 2042 (Ha)
Badan Air	456	456	456	456	456
Hutan	300.744	300.744	300.744	300.744	300.744
Rawa-rawa	141	141	141	141	133
Sawah dan Perkebunan	35.479	35.312	35.355	35.303	34.876
Lahan Terbangun	13.578	13.746	13.831	13.915	16.195
Lahan Kosong	107	106	107	107	100
Padang Rumput	19.731	19.729	19.601	19.569	17.733
Jumlah	370.342	370.342	370.342	370.342	370.342

- Neighborhood Filter. Analisa ini bertujuan dalam memberikan ruang bagi perkembangan cell lahan terbangun dengan memberikan efek suatu nilai (center) terhadap cell tetangganya. Nilai NF yang digunakan adalah 3x3.
- Elasticity. Pada proses ini melihat dari nilai yang diasumsikan memiliki nilai yang sama dengan 0, dalam artian setiap jenis penggunaan lahan memiliki potensi untuk terkonversi menjadi lahan terbangun yang sama.
- Menyusun aturan transisi. Pada proses selanjutnya adalah mengatur aturan transisi pada proses simulasi. Aturan transisi memuat antaranya growth number, dan weighted raster. Growth number adalah nilai besar pertumbuhan tiap penggunaan lahan yang didapat dari matrix perubahan penggunaan lahan dan pendekatan yang digunakan.
- Simulasi. Tahap selanjutnya adalah melakukan simulasi perubahan lahan terbangun berbasis Cellular Automata. LanduseSim pada penggunaan lahan tahun eksisting. Hasil dari tahap ini adalah model perkembangan lahan terbangun 20 tahun mendatang di Kabupaten Tapanuli Utara
- Validasi Model Perubahan Tutupan Lahan. Validasi dilakukan untuk mengetahui persentase persamaan antara pemodelan dengan hasil sebenarnya nanti. Hal ini dilakukan dengan menggunakan map comparison di Landuse Sim, dengan membutuhkan Peta Tutupan Lahan Eksisting 2022 dan Peta Pemodelan Tutupan Lahan Tahun 2022.

2) Penentuan Penyediaan TPST Kabupaten Tapanuli Utara Tahun 2042

Setelah didapatkan peta tutupan lahan Kabupaten Tapanuli Utara sampai tahun 2042, tahap selanjutnya adalah menentukan alokasi penyediaan TPST. Dalam menentukan jumlah TPST yang akan disediakan pada tahun 2042 nanti, data yang dibutuhkan adalah:

- Prediksi jumlah penduduk mendatang di setiap kecamatan, yang didapatkan dari pemodelan permukiman pada tahap 1.
- Prediksi total volume timbunan sampah di setiap kecamatan. Dengan mengalikan prediksi jumlah penduduk dengan SNI 3242-2008 yaitu Volume sampah perkapita/ hari untuk Kota Besar adalah 3 liter/hari dan Kota Sedang/Kecil: 2-2,5 liter/hari; dan



Gambar 3. Peta perkembangan lahan permukiman dari tahun 2027-2042.

- c. Standar volume sampah yang dapat dikelola oleh TPST. Standar yang digunakan adalah Permen PU No. 3 Tahun 2013 dan volume sampah yang dapat dikelola oleh 1 TPST setiap harinya adalah 248 m³ [7].

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Gambaran Umum Wilayah

Secara administratif Kabupaten Tapanuli Utara memiliki luas daratan seluas 3.793,71 km² dan luas perairan Danau Toba seluas 6,60 km². Terdiri atas 15 kecamatan, 11 kelurahan, dan 141 desa. Kecamatan Tarutung merupakan kecamatan yang memiliki jumlah desa/ kelurahan, yaitu: 24 desa dan 7 kelurahan. Secara astronomis Kabupaten Tapanuli Utara terletak di posisi 1°20' – 2°41' LU dan 98°05'' – 99°16'' BT. Kabupaten Tapanuli Utara berbatasan langsung dengan lima kabupaten, yaitu:

1. Utara : Kabupaten Toba
2. Timur: Kabupaten Labuhan Batu Utara
3. Selatan : Kabupaten Tapanuli Selatan
4. Barat : Kabupaten Humbang Hasundutan dan Tapanuli Tengah

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2022 jumlah penduduk Kabupaten Tapanuli Utara sejumlah 299.319 jiwa, dan tahun 2021 sejumlah 296.872 jiwa. Kecamatan dengan jumlah penduduk paling besar tahun 2022 adalah Kecamatan Siborong-borong sejumlah 51.936 jiwa, Kecamatan Tarutung sejumlah 43.694 jiwa, dan Kecamatan Pangaribuan sejumlah 30.263 jiwa. Sementara kecamatan

dengan penduduk paling kecil tahun 2022 adalah Kecamatan Purbatua sejumlah 8.215 jiwa, Kecamatan Simangumban sejumlah 8.416 jiwa, dan Kecamatan Pahae Jae sejumlah 12.195 jiwa. Berdasarkan data jumlah penduduk Kabupaten Tapanuli Utara, diketahui bahwa 16,3% penduduk menempati Kecamatan Siborongborong.

B. Bobot Kriteria Variabel Perkembangan Permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara

Berdasarkan hasil kuesioner dan olah data menggunakan Expert Choice, didapatkan bobot variabel yang dijelaskan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil analisis AHP dalam Expert Choice, ditemukan nilai konsistensi kombinasi dari seluruh responden sebesar 0,02, yang berarti tingkat kesalahan dalam analisis ini dapat diterima. Maka bobot sub-variabel yang paling berpengaruh pada perkembangan permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara adalah Jaringan Jalan (0,286); Sarana Perdagangan dan Jasa (0,180); Jaringan Air (0,138); Permukiman Eksisting (0,123); dan Jaringan Listrik (0,111).

C. Trend Perubahan Tutupan Lahan Kabupaten Tapanuli Utara 2017-2022

Hasil perhitungan Rumus Solvin, didapatkan jumlah titik sampel yang dibutuhkan adalah 100 titik, yang dijabarkan dalam Tabel 4. Akurasi yang dilakukan antara lain: User's Accuracy, Producer's Accuracy, dan Overall Accuracy. Dan melakukan Kappa Accuracy, dikarenakan Overall Accuracy masih bersifat over-estimate. Berdasarkan hasil survey sekunder dengan menggunakan Google Earth pada sebaran

Tabel 6.
Penyediaan TPST di Kabupaten Tapanuli Utara

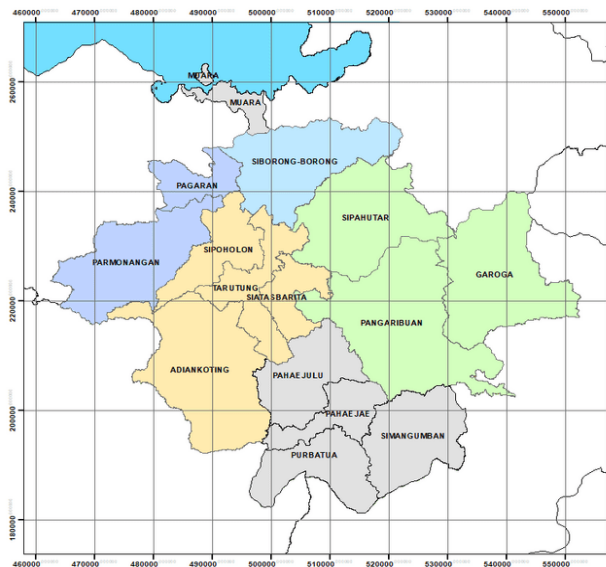
No	Kecamatan	Jumlah Penduduk 2022 (jiwa)	Jumlah Cell Permukiman 2042	Jumlah Penduduk 2042 (jiwa)	Jumlah Volume timbunan sampah perkapita/hari (liter)	Jumlah Timbunan Sampah perkapita/hari (m ³)	Kebutuhan TPST	Keterangan
1	Adiankoting	14.747	6.385	12.770	31.925	32		Tarutung,
2	Sipaholon	15.255	1.767	3.534	8.835	9	1	Sipoholon, Siatas
3	Tarutung	24.618	14.487	28.974	72.435	72		Barita,
4	Siatas Barita	43.694	12.216	24.432	61.080	61		Adiankoting
5	Pahae Julu	14.386	4.519	9.038	22.595	23		
6	Pahae Jae	13.768	2.523	5.046	12.615	13		
7	Purbatua	12.326	1.554	3.108	7.770	8		
8	Simangumban	8.282	1.248	2.496	6.240	6		
9	Pangaribuan	8.482	8.345	16.690	41.725	42		
10	Garoga	30.263	12.917	25.834	64.585	65	1	Pangaribuan,
11	Sipahutar	18.530	8.943	17.886	44.715	45		Garoga, Sipahutar
12	Siborongborong	28.319	14.785	29.570	73.925	74	1	Siborongborong
13	Parmonangan	51.936	44.307	88.614	221.535	222	1	Parmonangan,
14	Pagaran	19.134	32.948	65.896	164.740	165		Pagaran
15	Muara	14.694	12.973	25.946	64.865	65		
Jumlah		318.434	179.917	359.834	899.585	900	4	

Keterangan:

Jumlah Penduduk 2042 = Jumlah cell permukiman 2042 x 2

Jumlah Volume Timbunan Sampah Perkapita/ Hari = Jumlah penduduk 2042 x 2,5 liter

Kebutuhan TPST = Jumlah volume timbunan sampah perkapita (m³) / 248 m³



Gambar 4. Peta Pelayanan TPST Tahun 2042 Kabupaten Tapanuli Utara.

titik sampel validasi didapatkan perbandingan tutupan lahan hasil klasifikasi dengan kondisi di lapangan sebagai berikut:

1. Dari 100 titik sampel penelitian, ditemukan 8 sampel yang tidak cocok antara hasil citra dengan kondisi sebenarnya.
2. Tingkat Akurasi Keseluruhan (Overall Accuracy) adalah 93%; dan
3. Tingkat Akurasi Kappa (Kappa Accuracy) adalah 78%.

Setelah melakukan validasi peta tutupan lahan Sentinel dan diperoleh hasil bahwa hasil citra Sentinel dapat digunakan, langkah selanjutnya adalah mengetahui jumlah perubahan lahan terbangun dari tahun 2017 hingga 2022. Hal ini bertujuan untuk menentukan growth potential yang akan digunakan pada pemodelan tutupan lahan permukiman tahun 2042. Berdasarkan hasil Raster Layer Unique Values Report di QGIS ditemukan kecenderungan perubahan tutupan lahan Kabupaten Tapanuli Utara yaitu permukiman. Perubahan luasan permukiman tahun 2017 dan 2022 bertambah seluas 8.131 Ha, dimana tutupan lahan padang rumput berubah

sebesar 50,17% dan sawah dan perkebunan seluas 35,7%.

D. Pemodelan Tutupan Lahan Kabupaten Tapanuli Utara Tahun 2022-2042

Setelah ditemukan bobot variabel yang berpengaruh terhadap perkembangan permukiman dan kecenderungan perubahan lahan permukiman tahun 2017-2022. Maka pemodelan perkembangan permukiman tahun 2042 dapat dilakukan. Pemodelan ini dilakukan dengan menggunakan ukuran cell yaitu 30 m x 30 m = 900 m², yang artinya satu cell mewakili 900 m² pada luas sebenarnya. Untuk bobot yang diperlukan dapat Weighted Raster didapatkan dari hasil analisis AHP sebelumnya. Constraint yang digunakan dalam penelitian ini adalah badan air dan hutan. Dasar pertimbangan adalah regulasi pemerintah yang tidak memperbolehkan untuk alih fungsi lahan kawasan hutan yang merupakan kawasan lindung. Untuk alokasi pertumbuhan kebutuhan lahan permukiman (Growth Potential) didapatkan dari selisih antara luas permukiman 2017 dan 2022 yang dibagi setiap tahunnya. Besar Growth Potensial permukiman pada tahun 2042 adalah 4.685 cell atau seluas 421.650.000 m².

Hasil dari analisis pemodelan, kawasan permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara mengalami penambahan luas seiring berjalannya waktu. Pada tahun 2027, luas permukiman bertambah seluas 168 Ha dibandingkan dengan tahun 2022. Pada tahun 2032, luas permukiman bertambah seluas 85 Ha dibandingkan dengan tahun 2027. Pada tahun 2037, luas permukiman bertambah seluas 84 Ha dibandingkan dengan tahun 2032. Pada tahun 2042, luas permukiman bertambah seluas 2.280 Ha dibandingkan tahun 2037. Sehingga penambahan luas permukiman tahun 2042 bertambah seluas 2.617 Ha dibandingkan dengan tahun 2022. Berdasarkan hasil analisis pemodelan, perubahan penggunaan lahan tahun 2022 dengan tahun 2042 menjadi permukiman didominasi oleh padang rumput (76,31%) dan sawah dan perkebunan (23,03%). Luas perkembangan tutupan lahan tahun 2022-2042 dijabarkan dalam Tabel 5, serta Gambar 3 merupakan visualisasi kondisi permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara.

E. Validasi Pemodelan Tutupan Lahan Kabupaten Tapanuli Utara

Validasi dilakukan untuk memastikan apakah pemodelan penggunaan lahan berhasil dilakukan. Proses validasi dilakukan dengan menggunakan Landuse Sim dengan menggunakan data yaitu Tutupan Lahan tahun 2022 eksisting dan Tutupan Lahan Pemodelan tahun 2022. Sehingga sebelum melakukan validasi, perlu melakukan pemodelan tutupan lahan tahun 2022 dengan menggunakan tutupan lahan tahun 2017. Hasil dari proses validasi adalah 84,75% sesuai.

Metode proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan analisis pemodelan perkembangan permukiman merupakan metode yang lebih efektif dibandingkan metode proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan rumus aritmatika, geometri, dan eksponensial. Melakukan proyeksi penduduk dengan melakukan pemodelan lebih dapat menggambarkan kondisi penduduk, dikarenakan tidak hanya menampilkan jumlah penduduk, juga kawasan persebaran penduduk. Kawasan-kawasan dimana saja yang berpotensi memiliki kepadatan penduduk yang tinggi.

Dengan menggunakan Teknik analisis Nearest Neighbor, didapatkan hasil pola perkembangan permukiman adalah mengelompok. Dengan pola perkembangan perkotaan adalah mengelompok dan sejajar mengikuti jaringan jalan.

F. Penyediaan TPST di Kabupaten Tapanuli Utara

Metode proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan analisis pemodelan perkembangan permukiman merupakan metode yang lebih efektif dibandingkan metode proyeksi jumlah penduduk dengan menggunakan rumus aritmatika, geometri, dan eksponensial. Melakukan proyeksi penduduk dengan melakukan pemodelan lebih dapat menggambarkan kondisi penduduk, dikarenakan tidak hanya menampilkan jumlah penduduk, juga kawasan persebaran penduduk. Kawasan-kawasan dimana saja yang berpotensi memiliki kepadatan penduduk yang tinggi.

Sehingga hasil pemodelan perkembangan permukiman, dapat melakukan penentuan alokasi penyediaan TPST. Jumlah cell pada tutupan lahan permukiman dapat dilakukan proyeksi jumlah penduduk. Hal ini dapat dilakukan dengan pemisalan yaitu dengan membagi antara jumlah penduduk tahun 2022 dengan jumlah cell permukiman tahun 2022. Sehingga ditemukan bahwa 1 cell permukiman mewakili 2 penduduk. Kemudian jumlah penduduk tahun 2042 ditemukan dengan mengalikan 2 dengan jumlah cell permukiman tahun 2042.

Kemudian setelah ditemukan proyeksi jumlah penduduk tahun 2042, dilakukan perhitungan volume timbunan sampah perkapita setiap hari. Dikarenakan berdasarkan kategori jumlah penduduk, Kabupaten Tapanuli Utara masih dikategorikan Kota Kecil, maka berdasarkan SNI 3242-2008, jumlah penduduk dikali dengan 2,5 liter/hari. Penentuan TPST dilakukan dengan membagi setiap kecamatan dengan jumlah 1 TPST dengan volume sampah 248 m³/ hari. Sehingga ditemukan jumlah TPST yang dibutuhkan di Kabupaten Tapanuli Utara yaitu 4 TPST. Secara rinci dijelaskan dalam Tabel 6. Dengan wilayah pelayanan yaitu: (1) Kecamatan Tarutung, Adiankotting, Sipoholon, dan Siatas Barita; (2) Kecamatan Pagaran dan Parmonangan; (3) Kecamatan Siborongborong; dan (4) Kecamatan Sipahutar, Garoga, dan Pangaribuan. Peta wilayah pelayanan di jelaskan

pada Gambar 4.

Pemodelan perkembangan permukiman menghasilkan time series perkembangan permukiman selama 20 tahun kedepan. Sehingga didapatkan alokasi penyediaan TPST hingga tahun 2042. Hal yang menjadi pertimbangan tahapan penyediaan adalah kecamatan yang memiliki jumlah penduduk terbanyak. Rincian tahapan penyediaan dijabarkan sebagai berikut, yaitu: Tahun 2027 penyediaan TPST di Kecamatan Siborongborong; Tahun 2032 penyediaan TPST di Kecamatan Tarutung, Adiankotting, Sipoholon, dan Siatas Barita; Tahun 2037: penyediaan TPST di Kecamatan Garoga, Pangaribuan, dan Sipahutar; dan Tahun 2042: penyediaan TPST di Kecamatan Parmonangan dan Pagaran. Berdasarkan Permen PU No. 3 Tahun 2013, lokasi TPST berada di dalam kota atau di TPA. Sehingga untuk TPST dapat ditempatkan di 2 TPA yaitu, TPA Siarangarang dan TPA Lobu Siregar. Hal ini juga bertujuan untuk mengurangi beban TPA dalam menampung sampah dan efisiensi waktu pengolahan sampah. Juga efisiensi kebutuhan lahan TPST yang mengharuskan ada kegiatan penimbunan seperti di TPA.

IV. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

A. Kesimpulan

Penelitian ini dilakukan untuk menjawab Kebutuhan TPST yang harus disediakan di Kabupaten Tapanuli Utara berdasarkan perkembangan permukimannya mendatang. Pemodelan perkembangan permukiman menghasilkan, kawasan permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara mengalami pertambahan luas seiring berjalannya waktu. Pada tahun 2027, luas permukiman bertambah seluas 168 Ha dibandingkan dengan tahun 2022. Pada tahun 2032, luas permukiman bertambah seluas 85 Ha dibandingkan dengan tahun 2027. Pada tahun 2037, luas permukiman bertambah seluas 84 Ha dibandingkan dengan tahun 2032. Pada tahun 2042, luas permukiman bertambah seluas 2.280 Ha dibandingkan tahun 2037. Sehingga pertambahan luas permukiman tahun 2042 bertambah seluas 2.617 Ha dibandingkan dengan tahun 2022. Berdasarkan hasil analisis pemodelan, perubahan penggunaan lahan tahun 2022 dengan tahun 2042 menjadi permukiman didominasi oleh padang rumput (76,31%) dan sawah dan perkebunan (23,03%).

Hasil dari penelitian ini menghasilkan Kabupaten Tapanuli Utara membutuhkan 4 TPST yang dapat melayani 10 kecamatan. Dengan tahapan penyediaan yaitu (1) Tahun 2027: penyediaan TPST di Kecamatan Siborongborong; (2) Tahun 2032: penyediaan TPST di Kecamatan Tarutung, Adiankotting, Sipoholon, dan Siatas Barita; (3) Tahun 2037: penyediaan TPST di Kecamatan Garoga, Pangaribuan, dan Sipahutar; dan (4) Tahun 2042: penyediaan TPST di Kecamatan Parmonangan dan Pagaran. Hasil dari penelitian ini juga didapatkan pola perkembangan permukiman di Kabupaten Tapanuli Utara adalah mengelompok, dengan pola perkembangan perkotaan mengelompok dan linier mengikuti jaringan jalan dan sempadan sungai/danau.

B. Rekomendasi

Berdasarkan hasil penelitian, rekomendasi yang diperoleh dari penelitian ini untuk penelitian selanjutnya, yaitu:

Hasil penentuan alokasi penentuan TPST dapat menjadi referensi untuk penentuan Masterplan Persampahan

Kabupaten Tapanuli Utara, penyusunan RTRW dan RDTR. Penentuan lokasi spesifik TPST dan alur pelayanan persampahan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis I. G. S. dan P. G. A. mengucapkan terima kasih kepada Pemerintah Kabupaten Tapanuli Utara. Kepada instansi pemerintahan dan perusahaan yang membantu baik dalam pengumpulan data dan menjadi responden dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Dinas Pekerjaan Umum dan Tata Ruang Kab. Tapanuli Utara; Dinas Lingkungan Hidup Kab. Tapanuli Utara; Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman Kab. Tapanuli Utara; BAPPEDALITBANG Kab. Tapanuli Utara; Dinas Pendidikan Kab. Tapanuli Utara; Dinas Kesehatan Kab. Tapanuli Utara; Dinas Koperasi, Usaha Kecil, Menengah, Perindustrian, dan Perdagangan Kab. Tapanuli Utara; PT. PLN (Persero) UP 3 Sibolga; dan PDAM Mual Natio. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada PT. Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk yang telah memberikan bantuan berupa dana penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Handayani, H. Mardiansjah, and S. Setyono, "Pertumbuhan penduduk perkotaan dan perkembangan pola distribusinya pada kawasan metropolitan surakarta," *J. Wil. Dan Lingkung.*, vol. 6, 2018.
- [2] L. Fortuna, S. Murtiadi, and J. Fajrin, "Analisis hubungan ketersediaan infrastruktur dengan tingkat kepadatan permukiman di kota mataram," *J. Sains Teknol. dan Lingkung.*, vol. 1, no. 2, 2015.
- [3] L. Sahwan, "Tempat pengolahan sampah terpadu (tpst) urgensi dan implementasinya," *J. Rekayasa Lingkung.*, vol. 6, no. 2, 2010.
- [4] Badan Pusat Statistik, "Kabupaten Tapanuli Utara Dalam Angka 2023," 2023.
- [5] A. Aprilia, T. Tezuka, and G. Spaargaren, "Household Solid Waste Management in Jakarta, Indonesia," 2012, doi: 10.5772/51464.
- [6] M. Iman, "Perencanaan tempat pengolahan sampah terpadu," Universitas Sumatera Utara, 2018.
- [7] F. Nafiah, K. Fadilah, and W. Lukita, "Perencanaan detail engineering design (ded) tempat pengolahan sampah terpadu (tpst) di tempat pembuangan akhir (tpa) regional banjarbakula kalimantan selatan," *J. Tek. Sipil dan Lingkung.*, vol. 8, no. 1, pp. 37–46, 2023.
- [8] M. Kasiram, *Metodologi Penelitian*. Malang: UIN Maliki Press, 2010.
- [9] Sugiyono, *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif dan R 7 n D*. Bandung: Penerbit Alfabeta, 2013.
- [10] T. Wahyuni and A. Rubiyanto, "Pengaruh pelatihan cba (computer based assessment) terhadap hasil ukp tarunaangkatan 54 program studi nautika politeknik bumi akpelni," *J. Sainstek Marit.*, vol. 23, 2023.
- [11] D. Syafitri, "Pemodelan penentuan lahan pengganti lp2b (lahan pertanian pangan berkelanjutan) berdasarkan proyeksi perubahan lahan pertanian di kabupaten karanganyar," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2018.
- [12] U. Siddiq, "Analisis dinamika bentuk perkotaan berdasarkan permodelan perkembangan tutupan lahan berbasis ca-ahp serta implikasinya terhadap tata ruang kabupaten subang," Institut Teknologi Bandung, 2023.