

PEMANFAATAN ANALISIS SPASIAL SIG: PERENCANAAN LOKASI TPS 3R SEBAGAI STRATEGI PENGELOLAAN SAMPAH BERKELANJUTAN DI KABUPATEN GORONTALO

**Mulyani Zahra Paramata¹, Rindang Adhaini Darwanto², Zachra Putri Arfiani
Monoarfa³**

Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Fakultas Teknik, Universitas Negeri
Gorontalo^{1,2,3}

Email: mzparamata@ung.ac.id

ABSTRAK

Salah satu strategi alternatif yang berkelanjutan untuk mengurangi tekanan terhadap kapasitas Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) adalah dengan memperkuat sistem pengelolaan sampah di hulu, khususnya melalui pembangunan dan optimalisasi Tempat Pengolahan Sampah dengan prinsip Reduce, Reuse, dan Recycle (TPS 3R). Penentuan lokasi yang tepat menjadi tahap krusial dalam pembangunan TPS 3R guna menjamin efektivitas dan keberlanjutan operasionalnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi lokasi-lokasi potensial yang memenuhi kriteria spasial dan lingkungan untuk pembangunan TPS 3R di lima kecamatan di Kabupaten Gorontalo. Analisis dilakukan dengan pendekatan spasial berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG), menggunakan teknik buffer, pemberian skor (scoring), dan overlay pada perangkat lunak ArcGIS. Hasil analisis menunjukkan lima lokasi potensial yang memenuhi kriteria sebagai calon lokasi TPS 3R, yaitu: Kelurahan Hutuo, Kecamatan Limboto ($0^{\circ}37'33.3''N$, $122^{\circ}59'55.8''E$); Kelurahan Yosonegoro, Kecamatan Limboto Barat ($0^{\circ}37'30.4''N$, $122^{\circ}55'24.6''E$); Kelurahan Mongolato, Kecamatan Telaga ($0^{\circ}35'17.2''N$, $123^{\circ}01'56.8''E$); Kelurahan Tinelo, Kecamatan Telaga Biru ($0^{\circ}36'24.0''N$, $123^{\circ}01'25.0''E$); dan Kelurahan Tolotio, Kecamatan Tibawa ($0^{\circ}38'33.9''N$, $122^{\circ}51'34.0''E$). Temuan ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam perencanaan pengelolaan persampahan yang lebih efektif dan berkelanjutan di tingkat daerah.

Kata Kunci: *Pengelolaan sampah berkelanjutan, sistem informasi geografis, TPS 3R*

ABSTRACT

A sustainable alternative strategy to prevent the overcapacity of final disposal sites (TPA) is to strengthen waste management systems at the upstream level, particularly through the establishment and optimization of Reduce-Reuse-Recycle Waste Processing Facilities (TPS 3R). The selection of appropriate locations is a critical initial step to ensure the operational effectiveness and long-term sustainability of TPS 3R facilities. This study aims to identify potential sites that meet spatial and environmental criteria for the development of TPS 3R across five subdistricts in Gorontalo Regency. Spatial analysis was conducted using Geographic Information System (GIS) tools, applying buffer, scoring, and overlay techniques in ArcGIS. The analysis identified five optimal locations for TPS 3R development: Hutuo Subdistrict, Limboto ($0^{\circ}37'33.3''N$, $122^{\circ}59'55.8''E$); Yosonegoro Subdistrict, West Limboto ($0^{\circ}37'30.4''N$, $122^{\circ}55'24.6''E$); Mongolato Subdistrict, Telaga ($0^{\circ}35'17.2''N$, $123^{\circ}01'56.8''E$); Tinelo Subdistrict, Telaga Biru ($0^{\circ}36'24.0''N$, $123^{\circ}01'25.0''E$); and Tolotio Subdistrict, Tibawa ($0^{\circ}38'33.9''N$, $122^{\circ}51'34.0''E$). These findings are expected to serve as a strategic reference for improving regional waste management planning in a more effective and sustainable manner.

Keywords: *Sustainable waste management, Geographic Information System, TPS 3R*

PENDAHULUAN

Pengelolaan sampah di kawasan perkotaan telah menjadi salah satu permasalahan multidimensional yang paling mendesak yang dihadapi oleh banyak negara berkembang, termasuk Indonesia. Hingga saat ini, sistem penanganan sampah di sebagian besar kota di Indonesia masih sangat bergantung pada pendekatan konvensional, yaitu dengan menjadikan Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) sebagai metode utama (Wibisono et al., 2020). Model kumpul-angkut-buang ini, meskipun tampak sederhana, pada dasarnya adalah sebuah strategi yang tidak berkelanjutan. Ketergantungan yang berlebihan pada TPA menciptakan sebuah bom waktu lingkungan dan sosial, karena volume sampah yang dihasilkan oleh masyarakat terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perubahan pola konsumsi.

Kondisi ini diperparah oleh fakta bahwa kapasitas TPA di berbagai daerah di Indonesia kini berada pada titik kritis. Banyak TPA yang dilaporkan telah mencapai, atau bahkan melampaui, batas daya tampung maksimalnya (Misrawati & Zaim, 2024). TPA yang sudah terlampaui kapasitasnya ini kemudian memicu serangkaian permasalahan lingkungan yang serius, seperti pencemaran tanah dan air tanah akibat rembesan air lindi (*leachate*), serta polusi udara akibat emisi gas metana yang berbahaya. Selain dampak ekologis, TPA yang tidak terkelola dengan baik juga sering kali menjadi sumber permasalahan sosial, termasuk di antaranya adalah potensi konflik dengan masyarakat yang tinggal di sekitar lokasi akibat bau tak sedap dan penurunan kualitas lingkungan hidup (Lingga et al., 2024).

Situasi krisis pengelolaan sampah ini tidak terkecuali terjadi di Kabupaten Gorontalo, di mana TPA Talumelito menjadi pusat penampungan sampah utama. Berdasarkan temuan penelitian oleh Muarif et al. (2022), terungkap bahwa sejak tahun 2012 hingga 2021, telah terjadi peningkatan volume sampah yang masuk ke TPA tersebut secara signifikan dan terus-menerus. Akibat dari akumulasi sampah selama bertahun-tahun ini, dari total empat sel penampungan yang tersedia, tiga di antaranya kini telah penuh dan tidak dapat lagi digunakan. Dengan hanya tersisa satu sel yang masih dapat dioperasikan, kondisi ini menandakan bahwa kapasitas TPA Talumelito sudah hampir mencapai ambang batas optimalnya dan berada di ambang krisis kelebihan muatan.

Untuk dapat mengatasi masalah ini secara berkelanjutan dan mencegah penuhnya kapasitas TPA Talumelito, maka diperlukan sebuah pergeseran strategi dari yang semula berfokus pada penanganan di hilir (TPA) menjadi penguatan sistem pengelolaan di hulu. Salah satu strategi alternatif yang paling efektif adalah melalui pengadaan dan optimalisasi Tempat Pengolahan Sampah *Reduce-Reuse-Recycle* (TPS 3R). Secara ideal, TPS 3R berfungsi sebagai fasilitas pengolahan sampah di tingkat sumber, yang bertugas untuk memilah dan mengolah sampah organik dan anorganik, sehingga hanya residu yang tidak dapat diolah saja yang akan diangkut ke TPA. Dengan demikian, keberadaan TPS 3R yang fungsional akan secara signifikan mengurangi beban TPA.

Meskipun TPS 3R merupakan sebuah solusi yang ideal, realitas di Kabupaten Gorontalo menunjukkan adanya sebuah kesenjangan yang sangat besar antara kebutuhan dengan ketersediaan infrastruktur. Berdasarkan data yang ada, diketahui bahwa saat ini hanya terdapat satu unit TPS 3R di seluruh wilayah Kabupaten Gorontalo. Lebih memprihatinkan lagi, satu-satunya unit tersebut kini berada dalam status sudah tidak berfungsi lagi atau dapat dikatakan mangkrak (Damiti et al., 2024). Kesenjangan antara urgensi kebutuhan akan fasilitas pengolahan sampah di hulu dengan kondisi di mana tidak ada satu pun fasilitas yang beroperasi ini menunjukkan adanya sebuah kegagalan dalam implementasi strategi pengelolaan sampah sebelumnya.

Kegagalan di masa lalu memberikan sebuah pelajaran penting bahwa pembangunan infrastruktur pengelolaan sampah seperti TPS 3R tidak dapat dilakukan secara sembarangan. Copyright (c) 2025 CENDEKIA : Jurnal Ilmu Pengetahuan

Untuk memastikan efektivitas dan keberlanjutannya di masa depan, proses pembangunan harus diawali dengan sebuah tahapan yang sangat krusial, yaitu penentuan lokasi yang tepat. Pemilihan lokasi TPS 3R harus didasarkan pada serangkaian kriteria yang ketat, yang mencakup aspek teknis, lingkungan, sosial, dan ekonomi. Lokasi yang ideal haruslah mudah diakses, tidak berada di kawasan lindung, memiliki jarak yang aman dari permukiman, serta diterima oleh masyarakat sekitar, guna menjamin bahwa fasilitas tersebut dapat beroperasi secara optimal tanpa menimbulkan masalah baru.

Untuk dapat melakukan analisis penentuan lokasi yang kompleks dan melibatkan banyak variabel spasial, maka diperlukan sebuah pendekatan yang berbasis teknologi. Nilai kebaruan atau inovasi dari penelitian ini terletak pada pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (SIG) sebagai alat bantu utama dalam menganalisis kesesuaian lokasi untuk pembangunan TPS 3R. SIG merupakan sebuah sistem komputasi yang mampu mengelola, menganalisis, dan memvisualisasikan data geografis. Dengan menggunakan SIG, berbagai kriteria penentuan lokasi dapat dipetakan dan dianalisis secara simultan melalui teknik tumpang susun (*overlay*), sehingga dapat dihasilkan sebuah peta kesesuaian lahan yang objektif dan berbasis data.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memetakan lokasi-lokasi potensial yang paling sesuai untuk pembangunan TPS 3R di wilayah Kabupaten Gorontalo dengan menggunakan analisis berbasis SIG. Penelitian ini akan menghasilkan sebuah peta kesesuaian lahan yang dapat menjadi dasar ilmiah bagi para pengambil kebijakan dalam merencanakan pengembangan infrastruktur pengelolaan sampah di masa depan. Kontribusi yang diharapkan adalah tersedianya sebuah dokumen perencanaan yang strategis, yang dapat membantu pemerintah daerah dalam menentukan lokasi TPS 3R secara lebih tepat, efektif, dan efisien, sehingga dapat mendukung terwujudnya sistem pengelolaan sampah yang lebih berkelanjutan.

METODE PENELITIAN

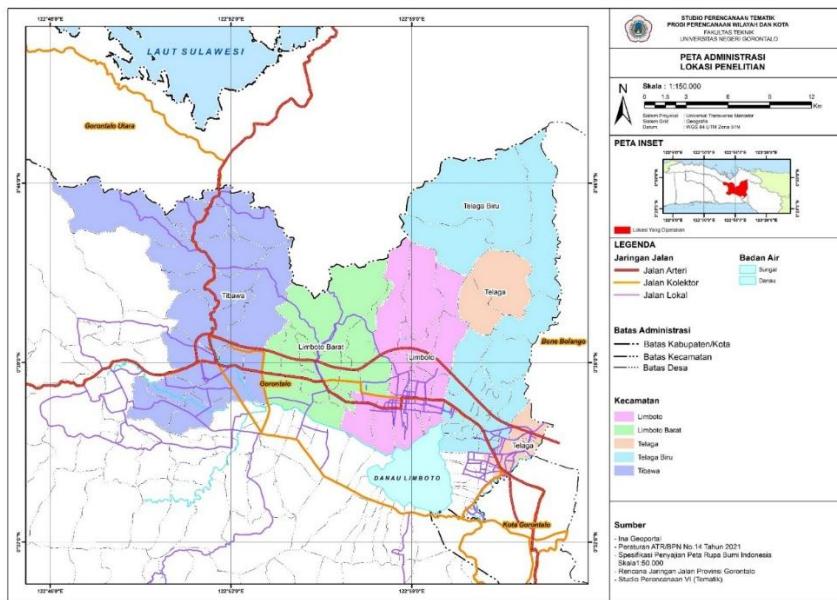
Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Gorontalo dengan fokus lokasi pada lima kecamatan yakni Kecamatan Tibawa, Kecamatan Telaga, Kecamatan Telaga Biru, Kecamatan Limboto dan Kecamatan Limboto Barat. Metodologi yang digunakan untuk penelitian ini adalah metode kuantitatif dengan analisis spasial yang dilengkapi dengan analisis deskriptif. Analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) dengan penggunaan teknik *buffer*, *scoring* dan *overlay* pada aplikasi ArcGis 10.8. Data yang digunakan pada penelitian ini berupa data sekunder yang diperoleh dari berbagai instansi resmi seperti Dinas Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam Kabupaten Gorontalo, PUPR Kabupaten Gorontalo, Bappeda Kabupaten Gorontalo, BPS Kabupaten Gorontalo, SIPSN KemenLHK, dan UPT TPA Talumelito. Data diperoleh dari observasi langsung ke instansi terkait dan wawancara dengan pihak instansi. Data yang dikumpulkan berupa timbulan sampah selama lima tahun terakhir dari lima kecamatan yang ada di Kabupaten Gorontalo sebelum akhirnya dilakukan analisis proyeksi timbulan sampah 20 tahun mendatang. Berdasarkan hasil proyeksi timbulan sampah tersebut, dilakukan analisis data spasial menggunakan SIG untuk merencanakan lokasi TPS 3R di lima kecamatan berbeda Kabupaten Gorontalo untuk 20 tahun kedepan yang sesuai dengan tujuh multi-kriteria berikut:

Tabel 1. Kriteria dan Skor Kesesuaian TPS 3R

Parameter	Skor
Jarak dari permukiman	
a. < 1 km	1
b. > 1 km	0
Kawasan Lindung	

Parameter	Skor
a. Bukan daerah kawasan lindung, hutan produksi dan pariwisata	1
b. Berada pada kawasan lindung, hutan produksi dan pariwisata	0
Penggunaan lahan	
a. Lahan tidak produktif dan semak belukar	1
b. Perumahan dan perkantoran	0
Jaringan jalan	
a. Terdapat jaringan jalan dengan jarak < 50 m	1
b. Jarak dari jaringan jalan umum > 50 m	0
Badan air	
a. Jarak dari badan air harus > 100 m	1
b. Jarak dari badan air kurang dari < 100 m	0
Kemiringan Lereng	
a. $0 - 15\%$	1
b. $> 15\%$	0
Kawasan rawan banjir	
a. Tidak berada pada kawasan banjir	1
b. Berada pada kawasan banjir	0

Sumber: (Nahlisa et al., 2024)



Gambar 1. Peta Administrasi Lima Kecamatan Fokus Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Pengambilan data timbulan sampah selama lima tahun terakhir didapatkan dari Dinas Lingkungan Hidup dan Sumber Daya Alam Kabupaten Gorontalo selama tahun 2019 hingga 2024. Berdasarkan hasil timbulan sampah tersebut dilakukan analisis proyeksi penduduk untuk 20 tahun kedepan yakni pada tahun 2044 dan didapatkan hasil pada tabel 2.

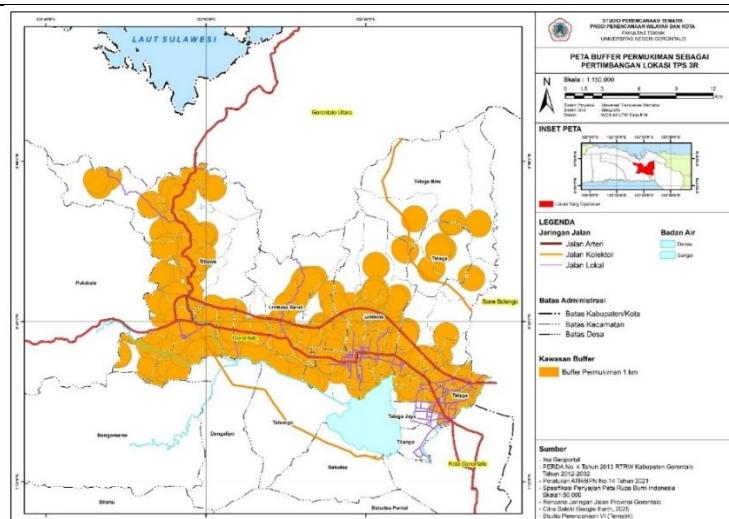
Tabel 2. Proyeksi Timbulan Sampah Kabupaten Gorontalo

Kecamatan	Timbulan Sampah Ton/ hari			
	2029	2034	2039	2044
Tibawa	19,28	20,97	22,65	24,33
Telaga	10,60	11,34	12,08	12,82
Telaga Biru	15,32	17,23	19,13	21,04
Limboto	23,94	26,23	28,51	30,80
Limboto Barat	11,56	12,36	13,15	13,95
TOTAL	29.459	32.164	34.868	37.573

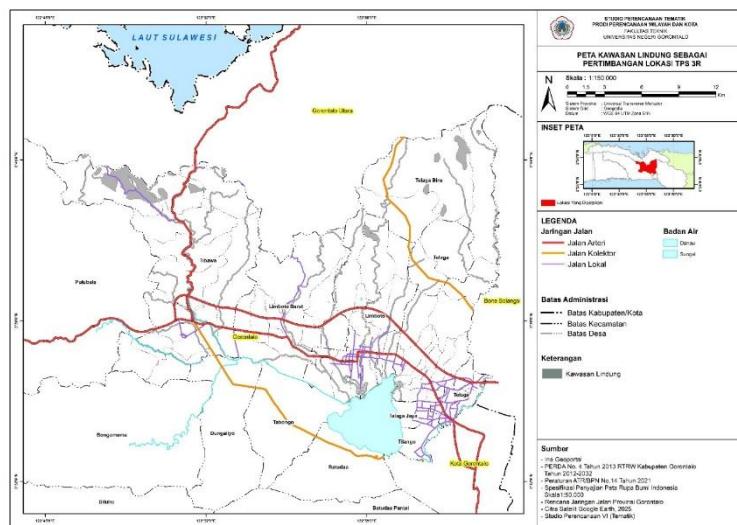
Hasil timbulan sampah tersebut menjadi acuan untuk penentuan lokasi TPS 3R untuk 20 Tahun mendatang yakni 2044. Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan (2017), melalui Buku Petunjuk Teknis yang TPS 3R, 1 TPS 3R dapat melayani 4–6 m³/hari sehingga berdasarkan hasil analisis volume timbulan sampah untuk 20 tahun yang akan datang yakni pada Tahun 2044, dapat ditentukan jumlah unit TPS 3R untuk lima kecamatan di Kabupaten Gorontalo sesuai dengan Tabel 3. Namun dikarenakan batasan penelitian ini, maka untuk setiap kecamatan dilakukan analisis secara spasial satu lokasi TPS 3R yang memenuhi multi kriteria menggunakan ArcGIS. Hasil analisis data spasial menggunakan ArcGIS dapat dilihat pada Gambar 2 hingga Gambar 8. Setelah dilakukan overlay kemudian dilanjutkan tahap *scoring* berdasarkan kriteria skor pada Tabel 4 sehingga pada akhirnya mendapatkan daerah-daerah yang memenuhi tujuh kriteria untuk lokasi TPS 3R sesuai Gambar 9.

Tabel 3. Analisis Kebutuhan unit TPS 3R Tahun 2044

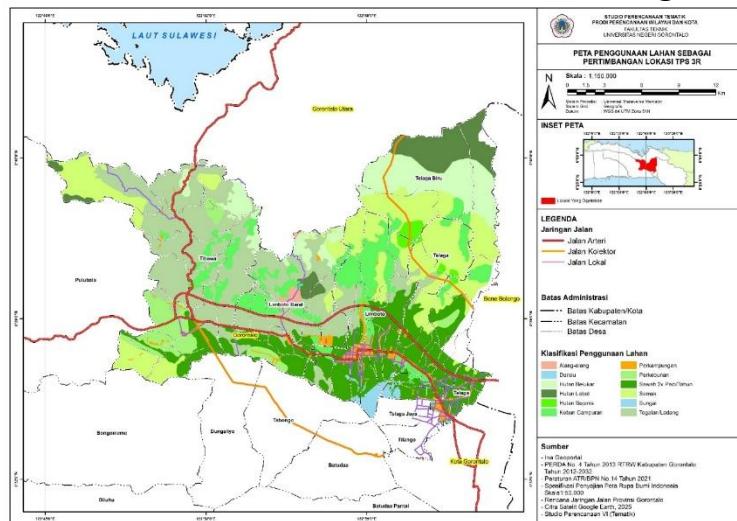
Kecamatan	Volume Sampah (m ³ /hari)	Kapasitas TPS 3R (m ³ /hari)	Jumlah unit TPS 3R yang dibutuhkan
Tibawa	72	6	12
Telaga	38	6	6
Telaga Biru	62	6	10
Limboto	91	6	15
Limboto Barat	41	6	7
Total			51



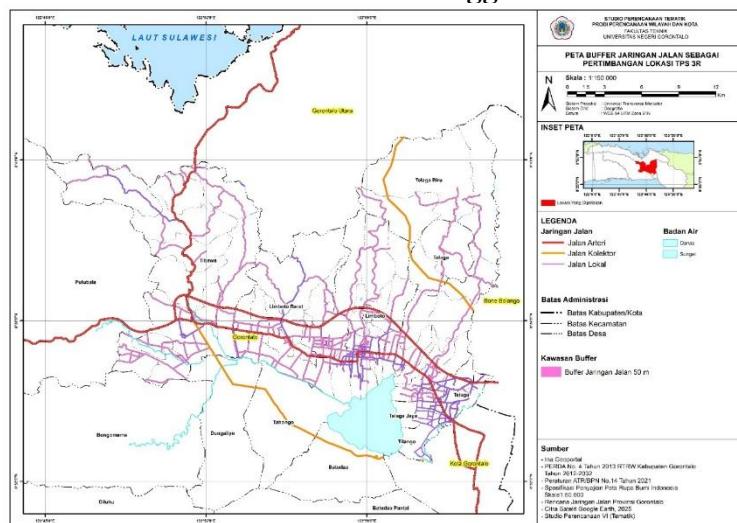
Gambar 2. Peta Buffer Pemukiman 1 km



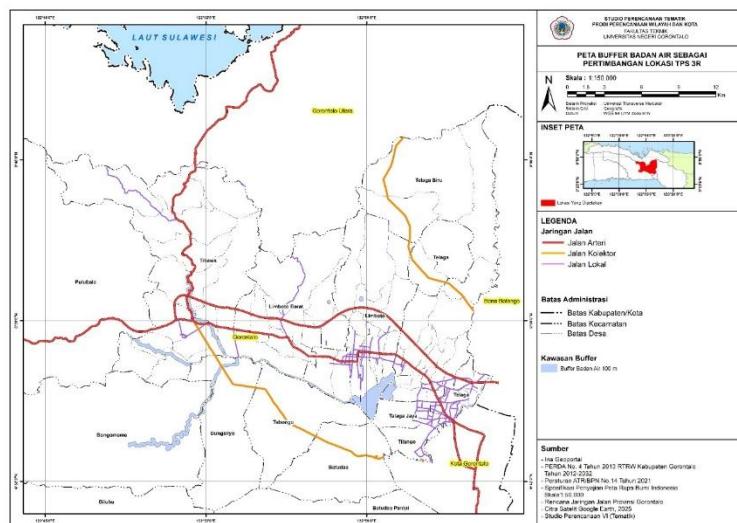
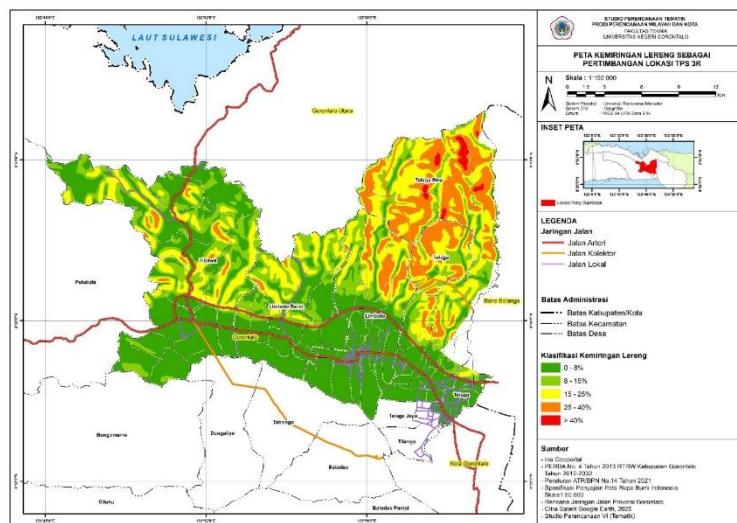
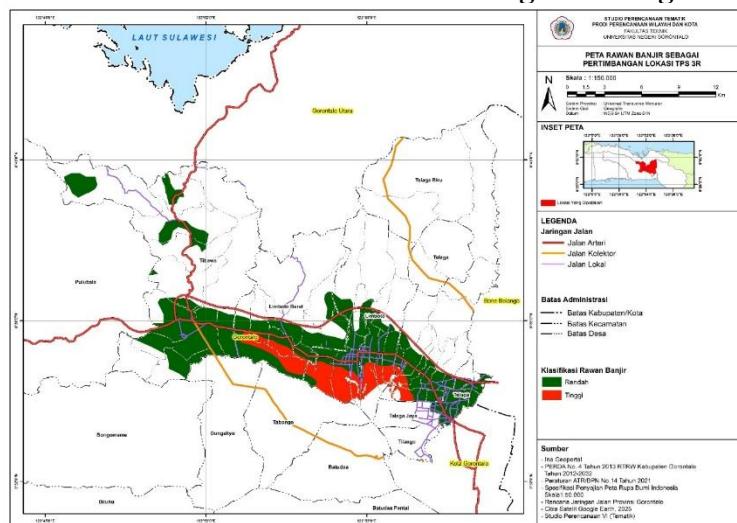
Gambar 3. Peta Buffer Kawasan Lindung



Gambar 4. Peta Buffer Penggunaan Lahan

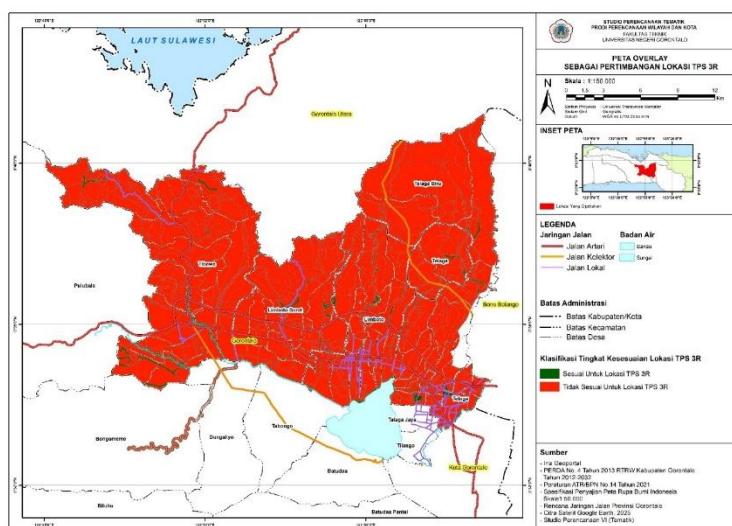


Gambar 5. Peta Buffer Jaringan Jalan

**Gambar 6. Peta Buffer Badan Air****Gambar 7. Peta Buffer Kemiringan Lereng****Gambar 8. Peta Buffer Daerah Rawan Banjir**

Tabel 4. Kesesuaian Lokasi TPS 3R

Skor	Tingkat Kesesuaian
7	Sangat sesuai untuk lokasi TPS 3R
4 – 6	Sesuai untuk lokasi TPS 3R
< 4	Tidak sesuai untuk lokasi TPS 3R

**Gambar 9. Peta Overlay Kelayakan TPS 3R berdasarkan Multi Kriteria**

Tahap Penyisihan

Tahap ini dilakukan generalisasi area dan pengecekan kembali pada kriteria atau parameter penentuan lokasi dan melihat luas lokasi apakah sudah sesuai dengan Permen PU Nomor 03 Tahun 2013 yaitu lebih besar dari 200 m².

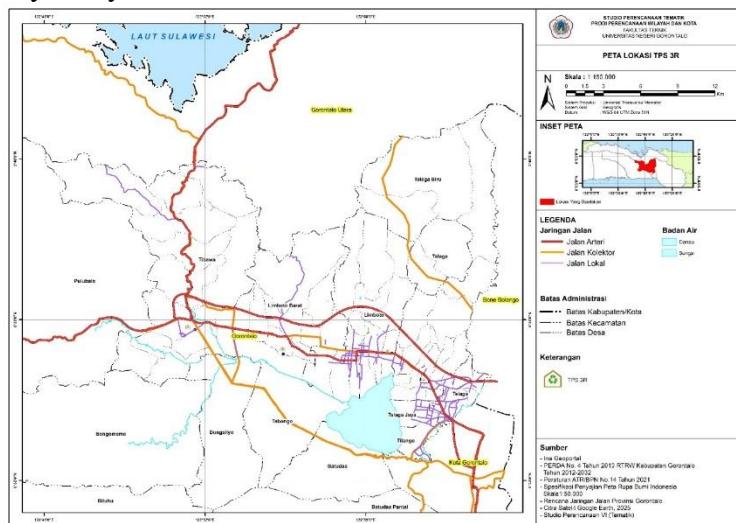
Tabel 5. Luas Lokasi TPS 3R

No	Kecamatan	Kelurahan/Desa	Luas m ²
1	Limboto	Hutuo	321
2	Limboto	Yosonegoro	250
3	Barat	Mongalato	214
4	Telaga	Tinelo	256
5	Telaga Biru	Tolotio	287

Tabel 5 menyajikan data mengenai luas lahan yang dialokasikan untuk Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R di lima lokasi berbeda yang tersebar di beberapa kecamatan. Keberadaan fasilitas ini merupakan cerminan dari upaya penerapan strategi pengelolaan sampah modern yang berfokus pada prinsip Kurangi, Gunakan Kembali, dan Daur Ulang (Reduce, Reuse, Recycle). Fasilitas seperti ini memegang peranan krusial dalam mengurangi volume sampah yang berakhir di Tempat Pembuangan Akhir (TPA), dengan cara mengolah sampah organik menjadi kompos dan memilah sampah anorganik untuk didaur ulang. Data ini memberikan gambaran awal mengenai infrastruktur pengelolaan sampah yang telah tersedia di tingkat kelurahan atau desa, yang menjadi fondasi penting bagi sistem pengelolaan lingkungan yang lebih berkelanjutan dan partisipatif di wilayah tersebut.

Dari rincian data yang ditampilkan, terlihat adanya variasi yang cukup signifikan terkait luas lahan antar lokasi TPS 3R. Lokasi di Kelurahan Hutuo, Kecamatan Limboto, memiliki area terluas yaitu sebesar 321 meter persegi, yang mengindikasikan kapasitas pengolahan yang

kemungkinan lebih besar. Sementara itu, lokasi di Kelurahan Mongalato, Kecamatan Telaga, tercatat memiliki area terkecil yaitu 214 meter persegi. Tiga lokasi lainnya, yaitu di Yosonegoro (250 m²), Tinelo (256 m²), dan Tolotio (287 m²), menunjukkan ukuran yang berada di antara kedua ekstrem tersebut. Perbedaan luas ini bisa jadi dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti ketersediaan lahan, kepadatan penduduk, serta proyeksi volume sampah yang dihasilkan di masing-masing wilayah layanan.



Gambar 10. Peta Lokasi TPS 3R

Tahap Verifikasi

Pada tahap ini dilakukan ground check untuk melihat hasil analisis menggunakan sistem informasi geografis (SIG) apakah sudah sesuai dengan kondisi lapangan atau tidak. Kemudian diketahui bahwa keseluruhan lokasi sudah sesuai dan layak dijadikan lokasi TPS 3R pada lima kecamatan berbeda di Kabupaten Gorontalo.

No	Kecamatan	Kelurahan/Desa	Titik Koordinat Google Maps
1	Limboto	Hutuo	0°37'33.3"N 122°59'55.8"E
2	Limboto Barat	Yosonegoro	0°37'30.4"N 122°55'24.6"E
3	Telaga	Mongalato	0°35'17.2"N 123°01'56.8"E
4	Telaga Biru	Tinelo	0°36'24.0"N 123°01'25.0"E
5	Tibawa	Tolotio	0°38'33.9"N 122°51'34.0"E

Pada tahap verifikasi, dilakukan pengecekan lapangan secara langsung, atau *ground check*, untuk memastikan bahwa hasil analisis menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG) telah sesuai dengan kondisi sebenarnya di lapangan. Proses ini krusial untuk memvalidasi akurasi data spasial yang telah dikumpulkan dan diolah, serta untuk menghindari potensi kesalahan yang mungkin timbul dari analisis berbasis peta semata. Setelah melalui proses verifikasi yang cermat, seluruh lokasi yang telah diidentifikasi sebelumnya terbukti memenuhi kriteria dan sangat layak untuk dijadikan sebagai tempat penampungan sampah terpadu (TPS 3R). Lokasi-lokasi strategis ini tersebar di lima kecamatan berbeda di Kabupaten Gorontalo, meliputi Desa Hutuo di Kecamatan Limboto, Desa Yosonegoro di Kecamatan Limboto Barat, Desa Mongalato di Kecamatan Telaga, Desa Tinelo di Kecamatan Telaga Biru, dan Desa Tolotio di Kecamatan Tibawa, dengan koordinat geografis yang spesifik, menunjukkan kesiapan infrastruktur pengelolaan limbah di wilayah tersebut.

Pembahasan

1. Analisis Timbulan Sampah

Proyeksi timbulan sampah merupakan fondasi utama dalam perencanaan infrastruktur pengelolaan limbah jangka panjang. Salah satu faktor kunci dan paling berpengaruh yang menentukan besarnya volume sampah adalah dinamika kependudukan. Secara inheren, terdapat hubungan linear yang kuat antara peningkatan jumlah penduduk dengan kuantitas sampah yang dihasilkan oleh suatu wilayah. Pertumbuhan populasi tidak hanya berarti peningkatan konsumsi, tetapi juga perubahan gaya hidup yang sering kali mengarah pada produksi limbah yang lebih besar per kapita. Oleh karena itu, data proyeksi timbulan sampah menjadi instrumen vital bagi pemerintah daerah untuk mengantisipasi tekanan yang akan datang terhadap sistem pengelolaan sampah. Berdasarkan analisis, total timbulan sampah di wilayah studi diperkirakan akan meningkat dari 29.459 ton per tahun pada 2029 menjadi 37.573 ton per tahun pada 2044, sebuah lonjakan signifikan yang menuntut adanya perencanaan strategis dan proaktif.

Korelasi antara pertumbuhan populasi dan timbulan sampah ini bukan sekadar asumsi, melainkan telah divalidasi melalui berbagai penelitian ilmiah. Studi yang dilakukan oleh Utami et al. (2024), misalnya, menunjukkan adanya korelasi positif yang sangat kuat, mencapai 96,9%, antara pertambahan jumlah penduduk dengan laju timbulan sampah. Angka ini mengindikasikan bahwa hampir semua variasi dalam peningkatan volume sampah dapat dijelaskan oleh pertumbuhan populasi. Implikasi dari temuan ini sangat jelas: setiap kebijakan yang mendorong pertumbuhan populasi atau urbanisasi harus diimbangi dengan peningkatan kapasitas pengelolaan sampah yang sepadan. Tanpa adanya intervensi yang terencana, peningkatan timbulan sampah yang tak terhindarkan ini akan menyebabkan berbagai masalah serius, mulai dari penumpukan sampah di lingkungan, pencemaran, hingga risiko kesehatan masyarakat yang semakin meningkat di masa depan.

Untuk menerjemahkan data timbulan sampah dari satuan massa (ton) ke dalam kebutuhan ruang fisik yang lebih konkret, analisis densitas sampah menjadi langkah yang krusial. Densitas sampah, yang mengukur massa per unit volume, sangat bervariasi tergantung pada komposisi sampah dan kondisi iklim. Menurut penelitian oleh Abilmagzhanov et al. (2022), densitas sampah untuk negara berkembang seperti Indonesia umumnya berada pada rentang 175 hingga 339 kg/m³. Dengan menggunakan nilai densitas maksimum sebesar 339 kg/m³, volume sampah yang diproyeksikan pada tahun 2044 dapat dihitung untuk setiap kecamatan. Hasilnya adalah 72 m³ untuk Kecamatan Tibawa, 38 m³ untuk Kecamatan Telaga, 62 m³ untuk Kecamatan Telaga Biru, 91 m³ untuk Kecamatan Limboto, dan 41 m³ untuk Kecamatan Limboto Barat. Perhitungan ini sangat penting untuk perencanaan teknis, seperti menentukan ukuran lahan TPS 3R, kapasitas bak penampungan, dan frekuensi pengangkutan sampah.

Data volume sampah yang telah dihitung memiliki implikasi langsung terhadap perencanaan infrastruktur di tingkat kecamatan. Volume sebesar 91 m³ di Kecamatan Limboto, sebagai contoh, menuntut penyediaan fasilitas pengolahan dengan kapasitas terbesar dibandingkan kecamatan lainnya. Informasi ini menjadi dasar dalam merancang desain teknis dan alokasi anggaran untuk pembangunan TPS 3R di masa depan. Mengabaikan proyeksi volume ini dapat mengakibatkan pembangunan fasilitas yang *under-capacity*, yang akan cepat mencapai batas kemampuannya dan menjadi tidak efektif dalam beberapa tahun saja. Oleh karena itu, integrasi data timbulan sampah, proyeksi populasi, dan analisis volume menjadi satu kesatuan yang tidak terpisahkan dalam merumuskan strategi pengelolaan sampah yang berkelanjutan, responsif, dan mampu menjawab tantangan lingkungan hingga dua dekade mendatang.

2. Analisis Spasial Multi Kriteria untuk Penentuan Lokasi TPS 3R

Penentuan lokasi Tempat Pengolahan Sampah (TPS) 3R merupakan sebuah keputusan strategis yang memerlukan pendekatan ilmiah dan sistematis untuk meminimalkan dampak negatif serta memaksimalkan efektivitas operasional. Mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum (Permen PU) Nomor 3 Tahun 2013, proses seleksi lokasi ini harus melalui analisis spasial multi kriteria yang komprehensif. Metodologi ini dibagi menjadi tiga tahapan utama yang berurutan, yaitu tahap analisis zona kelayakan, tahap penyisihan, dan tahap verifikasi akhir. Setiap tahapan memiliki tujuan spesifik untuk menyaring alternatif lokasi secara progresif, dari area yang luas menjadi beberapa titik kandidat yang paling ideal. Tahap pertama, yaitu analisis zona kelayakan, menjadi fondasi dari keseluruhan proses, di mana berbagai kriteria lingkungan, sosial, dan teknis dievaluasi secara simultan menggunakan teknologi Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk memetakan area yang layak secara teoretis.

Pada tahap analisis kelayakan, dilakukan proses evaluasi spasial dengan teknik *buffering* dan *scoring* terhadap tujuh kriteria utama. Kriteria tersebut meliputi jarak dari pemukiman, jarak dari kawasan lindung, jenis penggunaan lahan, aksesibilitas jaringan jalan, jarak dari badan air, kemiringan lereng, dan potensi kerawanan terhadap bencana banjir. Setiap kriteria diberi bobot sesuai dengan tingkat kepentingannya dalam menentukan kelayakan sebuah lokasi. Sebagai contoh, jarak dari pemukiman menjadi salah satu pertimbangan paling krusial. Menurut Harpi (2022), penentuan jarak aman sangat penting untuk mencegah dampak negatif seperti polusi udara (bau), gangguan hama, dan penurunan nilai estetika lingkungan yang dapat memicu konflik sosial dengan masyarakat sekitar. Melalui proses *buffering* pada SIG, zona eksklusi dibuat di sekitar area permukiman, secara otomatis mengeliminasi wilayah tersebut dari daftar calon lokasi potensial.

Kriteria penggunaan lahan dan aksesibilitas jaringan jalan memegang peranan penting dari sisi teknis dan sosial. Pemilihan lokasi TPS 3R idealnya diarahkan pada lahan yang tidak produktif atau lahan tidur untuk menghindari konversi lahan pertanian subur atau area pengembangan lainnya. Seperti yang ditekankan oleh Mondir et al. (2024), menghindari area permukiman padat dan pusat kegiatan komersial adalah kunci untuk menjaga ketertiban dan kenyamanan publik. Di sisi lain, ketersediaan akses jalan yang memadai merupakan syarat mutlak untuk kelancaran operasional. Menurut Billa & Pradhan (2013), aksesibilitas yang baik tidak hanya memudahkan proses pengangkutan sampah dari sumber ke lokasi pengolahan, tetapi juga memastikan bahwa kendaraan operasional dapat beroperasi secara efisien tanpa mengganggu lalu lintas umum, sehingga menekan biaya logistik dan waktu operasional.

Aspek hidrologi dan topografi, yang diwakili oleh kriteria jarak dari badan air, kemiringan lereng, dan zona rawan banjir, menjadi faktor penentu dalam mitigasi risiko lingkungan. Menjaga jarak aman dari sungai, danau, atau sumber air lainnya adalah langkah preventif untuk melindungi kualitas air dari potensi pencemaran akibat rembesan air lindi (*leachate*) (Abante & Abante, 2018; Irfan et al., 2021; Siswanto & Puspaningtyas, 2023). Sementara itu, kondisi topografi lahan sangat memengaruhi biaya dan kemudahan konstruksi. Lokasi dengan kemiringan lereng yang rendah lebih disukai karena mempermudah pembangunan infrastruktur, sistem drainase, dan manuver kendaraan berat. Selain itu, menghindari kawasan rawan banjir adalah sebuah keharusan untuk menjamin keberlangsungan operasional TPS 3R dan mencegah penyebaran sampah serta kontaminan ke lingkungan yang lebih luas saat terjadi bencana banjir, yang dapat menyebabkan krisis ekologis sekunder (Budiharjo et al., 2022; Djoharam et al., 2022; Nugroho et al., 2019).

Setelah semua kriteria dianalisis melalui proses *buffering* dan *scoring* dalam platform SIG, hasilnya digabungkan menjadi sebuah peta kelayakan komposit. Seperti yang divisualisasikan pada Gambar 9, hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah

Kabupaten Gorontalo masuk ke dalam kategori tidak sesuai, yang ditandai dengan warna merah. Zona-zona ini secara otomatis tereliminasi karena tidak memenuhi satu atau lebih kriteria wajib. Sebaliknya, area yang teridentifikasi sebagai zona sesuai, yang ditandai dengan warna hijau, hanya muncul sebagai titik-titik kecil yang tersebar di beberapa lokasi. Area hijau inilah yang menjadi fokus utama untuk tahap analisis selanjutnya, yaitu tahap penyisihan. Peta ini memberikan gambaran spasial yang jelas mengenai distribusi lokasi potensial dan secara signifikan mempersempit area pencarian, membuat proses seleksi menjadi lebih efisien dan objektif(Herdini et al., 2022; Nael & Papilaya, 2019).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini didapatkan bahwa kebutuhan TPS 3R dalam masa 20 tahun mendatang adalah 51 unit yang tersebar pada lima kecamatan berbeda di Kabupaten Gorontalo. Berdasarkan analisis spasial menggunakan multi-kriteria yakni yaitu jarak dari pemukiman, kawasan lindung, penggunaan lahan, jaringan jalan, badan air, kemiringan lereng dan kawasan rawan banjir, maka dapat direkomendasikan lima lokasi TPS 3R yang berada di Kelurahan Hutuo Kecamatan Limboto titik koordinat $0^{\circ}37'33.3"N$ $122^{\circ}59'55.8"E$, Kelurahan Yosonegoro Kecamatan Limboto Barat dengan titik koordinat $0^{\circ}37'30.4"N$ $122^{\circ}55'24.6"E$, Kelurahan Mongalato Kecamatan Telaga dengan titik koordinat $0^{\circ}35'17.2"N$ $123^{\circ}01'56.8"E$, Kelurahan Tinelo Kecamatan Telaga Biru dengan titik koordinat $0^{\circ}36'24.0"N$ $123^{\circ}01'25.0"E$ dan Kelurahan Tolotio Kecamatan Tibawa dengan titik koordinat $0^{\circ}38'33.9"N$ $122^{\circ}51'34.0"E$.

DAFTAR PUSTAKA

- Abante, A. M. R., & Abante, C. G. R. (2018). Sensitive land use planning, Malinao, Albay, Philippines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 123, 12001. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/123/1/012001>
- Abilmagzhanov, A. Z., et al. (2022). Assessment of the energetical and biological characteristics of municipal solid waste from one of the largest landfills in Kazakhstan. *Recycling*, 7(5), 80. <https://doi.org/10.3390/recycling7050080>
- Billa, L., & Pradhan, B. (2013). GIS modeling for selection of a transfer station site for residential solid waste separation and recycling. *Pertanika Journal of Science and Technology*, 21(2), 487–498.
- Budiharjo, A., et al. (2022). Operational data analytics of over dimensional and overloaded truck in Indonesia. *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, 2(2), 88. <https://doi.org/10.31098/cset.v2i2.562>
- Damiti, R. A., et al. (2024). Peranan pemerintah daerah dalam keberlanjutan TPS3R di Provinsi Gorontalo. *Jambura Science and Technology Journal*, 6(2), 2020–2024.
- Djoharam, V., et al. (2022). Model pengelolaan banjir: Systematic review dan arahan untuk masa depan. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 20(3), 524. <https://doi.org/10.14710/jil.20.3.524-545>
- Harpi, H. (2022). Evaluasi program TPS 3R (Reduce, Reuse dan Recycle) di Kelurahan Pasar Baru Baserah Kabupaten Kuantan Singingi. *Jurnal Perencanaan, Sains, Teknologi, dan Komputer*, 5(1), 67–72.
- Herdini, H. R., et al. (2022). Analysis of sustainable urban landscape in Karawang HSR station area. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1082(1), 12003. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1082/1/012003>
- Irfan, M., et al. (2021). Analysis of flood vulnerability in the lawo watershed Soppeng Regency. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 886(1), 12091. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/886/1/012091>

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Buku petunjuk teknis TPS 3R*. Direktorat Jenderal Cipta Karya.
- Lingga, L. J., et al. (2024). Sampah di Indonesia: Tantangan dan solusi menuju perubahan positif. *Innovative: Journal of Social Science Research*, 4, 12235–12247.
- Misrawati, K., & Zaim, Z. (2024). Semi-aerobic landfill system as alternative solution for Indonesian landfill. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 22(6), 1400–1411. <https://doi.org/10.14710/jil.22.6.1400-1411>
- Mondir, A., et al. (2024). *Evaluasi kinerja TPS 3R dalam mereduksi sampah di Kecamatan Bangkalan* [Skripsi, Universitas Brawijaya]. <http://repository.ub.ac.id/id/eprint/218808/>
- Muarif, S. A. P. H., et al. (2022). Potensi emisi gas rumah kaca di sektor pengelolaan sampah dari TPA Talumelito Provinsi Gorontalo. *Public Health and Surveillance Review*, 1(1), 40–51. <https://doi.org/10.56796/phsr.v1i1.21161>
- Nael, N., & Papilaya, F. S. (2019). Spatial analysis of the land suitability for cocoa plantations in East Dusun District. *Journal of Applied Geospatial Information*, 3(2), 228. <https://doi.org/10.30871/jagi.v3i2.1345>
- Nahlisa, A., et al. (2024). Penentuan lokasi TPS 3R menggunakan sistem informasi geografis (SIG) di Kecamatan Tidore, Kota Tidore Kepulauan. *Jurnal Enviro Prodi Teknik Lingkungan - ITN Malang*, 3(2).
- Nugroho, A., et al. (2019). Scenario based logistic capacity assessment for disaster preparedness. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 273(1), 12057. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012057>
- Siswanto, R. D., & Puspaningtyas, A. (2023). Implementasi kebijakan penanggulangan bencana dan mitigasi banjir di Kabupaten Gresik. *Policy and Maritime Review*, 2(1), 21-30. <https://doi.org/10.30649/pmr.v2i1.42>
- Utami, I. W., et al. (2024). Statistical analysis for waste generation prediction based on the population growth in Tangerang: An environmental perspective. *Sainsmat: Jurnal Ilmiah Ilmu Pengetahuan Alam*, 13(1), 19. <https://doi.org/10.35580/sainsmat131596652024>
- Wibisono, H., et al. (2020). Municipal solid waste management in small and metropolitan cities in Indonesia: A review of Surabaya and Mojokerto. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 447(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/447/1/012050>