

Implementasi Python untuk SPK Optimalisasi Pengelolaan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu Menggunakan FUCOM-CoCoSo

PYTHON IMPLEMENTATION FOR DSS OPTIMIZATION OF INTEGRATED WASTE PROCESSING FACILITIES USING FUCOM-COCOSO

Ida Ayu Utari Dewi ¹, Gede Surya Mahendra ²

¹ Universitas Hindu Indonesia: Jl. Sangalangit, Denpasar 80238, Indonesia

¹ Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi dan Sains, Universitas Hindu Indonesia

² Universitas Pendidikan Ganesha: Jl. Udayana No 11, Singaraja 81116, Indonesia

^{1,2} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Kejuruan, Universitas Pendidikan Ganesha

e-mail: ¹ utaridewi@unhi.ac.id, ² gmahendra@undiksha.ac.id

Abstrak

Pengelolaan sampah merupakan isu lingkungan yang sangat penting di seluruh dunia. Jumlah sampah mencapai 2,01 miliar ton setiap tahunnya dan hanya sekitar 13,5% sampah yang didaur ulang, sekitar 5% diolah dengan teknologi termal, sementara sisanya dibuang ke TPA atau di alam. Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan membangun TPST. Pengelolaan TPST di Bali masih dihadapkan dengan beberapa permasalahan seperti pendanaan yang kurang mencukupi, kesulitan pengumpulan sampah, dan kurangnya pemilahan sampah sebelum dibuang. Sistem Pendukung Keputusan dapat menjadi solusi dalam optimalisasi pengelolaan TPST. Metode FUCOM-CoCoSo menjadi pilihan dalam pemeringkatan berdasarkan 3 narasumber dan 30 lokasi TPST yang dibobotkan berdasarkan 5 kriteria. Implementasi menggunakan Python telah berhasil dilaksanakan dengan baik yang menghasilkan perhitungan bahwa TPST SAMTAKU Jimbaran menjadi pilihan optimalisasi pengelolaan terbaik, kemudian TOSS Center dan TPST Mandala Giri Amertha. Diharapkan optimalisasi pengelolaan TPST ini menjadi solusi dalam pengolahan sampah yang lebih efektif di Bali.

Kata kunci — SPK, TPST, Sampah, FUCOM, CoCoSo

Abstract

Waste management is an extremely important environmental issue worldwide. The amount of waste reaches 2.01 billion tons each year, with only about 13.5% being recycled, approximately 5% processed using thermal technology, while the rest is disposed of in landfills or in nature. One solution that can be implemented is to build Integrated Waste Management Facilities (IWMF). The management of IWMF in Bali still faces several challenges such as insufficient funding, difficulties in waste collection, and a lack of waste sorting before disposal. Decision Support Systems can be a solution for optimizing IWMF management. The FUCOM-CoCoSo method is chosen for ranking based on 3 sources and 30 IWMF locations weighted according to 5 criteria. Implementation using Python has been successfully carried out, resulting in calculations that SAMTAKU Jimbaran IWMF is the best choice for optimization, followed by TOSS Center and Mandala Giri Amertha IWMF. It is hoped that this optimization of IWMF management will be a solution for more effective waste processing in Bali.

Kata kunci — DSS, IWMF, Waste, FUCOM, CoCoSo

1. PENDAHULUAN

Masalah pengelolaan sampah merupakan isu lingkungan yang sangat penting di seluruh dunia [1]. Berdasarkan laporan Bank Dunia tahun 2020, jumlah sampah yang dihasilkan mencapai 2,01 miliar ton setiap tahunnya dan diperkirakan akan meningkat hingga 3,40 miliar ton pada tahun 2050 [2]. Hanya sekitar 13,5% sampah yang didaur ulang dan sekitar 5% diantaranya diolah dengan teknologi termal, sementara sisanya sekitar 80% dibuang ke tempat pembuangan akhir atau di alam. Di Indonesia, masalah pengelolaan sampah juga menjadi isu yang besar. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan mencatat pada tahun 2019, Indonesia menghasilkan sekitar 64 juta ton sampah per tahunnya [3]. Namun, hanya sekitar 5% sampah yang didaur ulang sedangkan sisanya dibuang ke tempat pembuangan akhir, sungai, dan laut. Hal

ini mengakibatkan dampak lingkungan dan kesehatan yang serius. Provinsi Bali yang terkenal sebagai destinasi pariwisata ternyata juga menghadapi masalah serupa dalam pengelolaan sampah. Badan Pusat Statistik Bali mencatat pada tahun 2021, provinsi Bali menghasilkan sekitar 915,5 ribu ton sampah, menjadikan Bali sebagai provinsi penghasil sampah terbesar ke-8 di Indonesia [4]. Namun, hanya sekitar 60% sampah yang terkumpul dan dibuang ke tempat pembuangan akhir, sedangkan sisanya dibuang secara liar di sungai, pantai, dan tanah kosong. Kondisi ini mengakibatkan dampak lingkungan dan kesehatan yang serius bagi penduduk dan pariwisata Bali, sehingga pengelolaan sampah yang lebih baik menjadi isu yang harus ditangani secara serius oleh pemerintah dan masyarakat Bali [5].

Dalam upaya mengatasi permasalahan pengelolaan sampah di Bali, salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah dengan membangun Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST). TPST berfungsi untuk memilah dan memproses sampah dengan menggunakan teknologi yang ramah lingkungan [6]. Dengan penggunaan TPST, volume sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dapat dikurangi, sehingga dapat memperpanjang usia tempat pembuangan akhir dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan [7]. Namun, pengelolaan TPST di Bali masih dihadapkan dengan beberapa permasalahan seperti pendanaan yang kurang mencukupi, kesulitan pengumpulan sampah dari daerah terpencil, dan kurangnya kesadaran masyarakat dalam memilah sampah sebelum dibuang [8].

Berdasarkan data dari Badan Lingkungan Hidup Provinsi Bali, anggaran pengelolaan sampah di Bali masih jauh dari ideal, yaitu hanya sebesar 40% dari kebutuhan yang seharusnya. Selain itu, daerah-daerah terpencil di Bali juga masih sulit dijangkau oleh truk pengangkut sampah, sehingga pengumpulan sampah di daerah tersebut kurang efektif. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan dukungan dan partisipasi aktif dari masyarakat, serta peningkatan pengelolaan dan pendanaan dari pemerintah untuk memperluas jangkauan pengumpulan sampah di seluruh wilayah Bali [9].

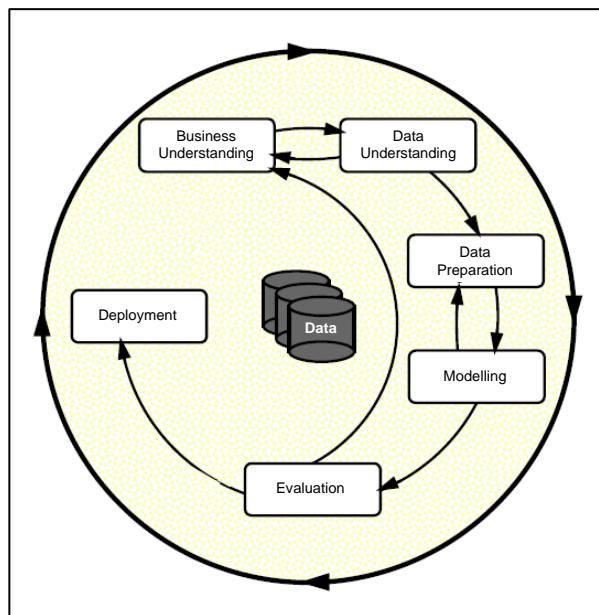
Sistem Pendukung Keputusan (SPK) merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk membantu mengatasi permasalahan dalam pengelolaan TPST di Bali. SPK dapat membantu pemerintah dalam mengambil keputusan yang lebih efektif dan efisien dalam hal pengelolaan sampah, termasuk dalam hal perencanaan, pengumpulan, pengolahan, dan pembuangan sampah [10]–[14]. Dengan menggunakan teknologi dan data yang akurat, SPK dapat memberikan informasi yang lebih tepat dan akurat mengenai kebutuhan pengelolaan sampah di suatu wilayah, serta membantu dalam merancang strategi pengelolaan sampah yang lebih efektif dan efisien [15]–[17]. Dengan demikian, penggunaan SPK diharapkan dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi pengelolaan sampah di Bali, serta membantu dalam mencapai target pengurangan sampah yang dibuang ke tempat pembuangan akhir dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkan.

State of the art mengenai sistem pendukung keputusan (SPK) telah menggunakan metode terbaru pada penggunaan SPK. Penelitian ini akan berfokus pada pemberian rekomendasi kepada pemerintah sebagai pengambil keputusan dalam menggunakan SPK dengan teknik *Multiple Criteria Decision Making* (MCDM) [18]–[22]. MCDM juga memiliki berbagai macam metode untuk membantu memberikan hasil rekomendasi solusinya. Beberapa metode MCDM yang direncanakan untuk dapat diimplementasikan pada penelitian ini adalah *Full Consistency Method* (FUCOM) yang akan digunakan sebagai metode untuk menghasilkan pembobotan kriteria dan metode *Combined Compromise Solution* (CoCoSo) akan digunakan sebagai metode untuk menentukan pemeringkatan alternatif sebagai rekomendasi solusi [23]–[29].

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti tahapan model CRISP-DM [30]. Permasalahan yang berkaitan dengan data seperti **data mining** dan SPK dapat menggunakan metode CRISP-DM [25]. Model penelitian ini diharapkan mampu untuk menganalisis permasalahan bisnis dan kondisi yang sedang terjadi, memberikan transformasi data yang sesuai hingga memberikan model yang dapat menilai efektivitas dan mendokumentasikan

hasil yang didapatkan. CRISP-DM memecahkan permasalahan tersebut dengan mendefinisikan model proses yang berkaitan dengan data mining dan SPK terlepas dari apapun sektor permasalahan ataupun teknologi yang digunakan. Fase model penelitian ini terdiri dari pemahaman bisnis, pemahaman data, persiapan data, pemodelan, evaluasi dan penyebarluasan.



Gambar 1. Fase model proses terkini terkait CRISP-DM

Pemahaman Bisnis (*Business Understanding*)

Pemahaman Bisnis (*Business understanding*) adalah tahap yang digunakan untuk menentukan tujuan bisnis, melakukan analisis situasi bisnis, hingga penentuan tujuan dari SPK. Data yang digunakan dalam penelitian ini akan mengacu data pada internet yang disediakan oleh sumber terpercaya seperti pada bps.go.id atau data manual yang dapat dicari pada Badan Lingkungan Hidup dan Kehutanan. Berdasarkan data tersebut akan ditentukan berbagai kriteria dan alternatif yang sesuai dengan permasalahan di bidang optimalisasi pengelolaan Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST) di Bali untuk dicari solusi. Metode yang digunakan adalah kombinasi antara metode yang memiliki keunggulan dalam penetapan bobot kriteria seperti FUCOM yang akan dikombinasikan dengan metode yang memiliki keunggulan pada pemberikan rekomendasi solusi seperti metode CoCoSo.

Pemahaman Data (*Data Understanding*)

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data, kemudian melakukan analisa data serta melakukan evaluasi kualitas data yang digunakan dalam penelitian. Untuk dapat memberikan rekomendasi pada pengguna SPK, perlu mendapatkan data kriteria dan alternatif yang sesuai. Kriteria dan alternatif yang akan digunakan menyesuaikan dengan permasalahan yang mencakup pemilihan lokasi TPST baru, prioritas penambahan kapasitas target pengelolaan sampah dan sebagainya. Narasumber yang dipilih untuk menentukan pembobotan kriteria akan menyesuaikan dengan jumlah ahli yang dapat memberikan penilaianya.

Persiapan Data (*Data Preparation*)

Dalam tahapan ini meliputi pemilihan data yang akan digunakan dan data yang akan dikeluarkan untuk dimasukkan dalam perhitungan SPK. Dalam tahap ini juga dilakukan data cleaning untuk memperbaiki, menghapus atau mengabaikan noise pada data. Ketiga narasumber akan melakukan pembobotan kriteria menggunakan FUCOM dan PIPRECIA. Data mengenai

TPST sebagai alternatif akan dilakukan penilaian berdasarkan kriteria yang telah ditentukan sebelumnya.

Pemodelan (Modeling)

Pada tahap *business understanding* telah dipilih tools, teknik ataupun metode yang akan digunakan dalam penelitian ini. Metode yang digunakan adalah kombinasi antara metode yang memiliki keunggulan dalam penetapan bobot kriteria seperti FUCOM yang akan dikombinasikan dengan metode yang memiliki keunggulan pada pemberikan rekomendasi solusi seperti metode CoCoSo.

Evaluasi (Evaluation)

Pada tahap ini dilakukan pengujian baik pada hasil rekomendasi dari SPK maupun kinerja dari metode yang dipergunakan. Perlu adanya pengecekan terhadap perhitungan secara manual dan hasil yang didapatkan ketika diimplementasikan pada perangkat lunak yang dihasilkan memiliki nilai yang sama agar terdapat kesesuaian antar keduanya.

Penyebaran (Deployment)

Pada tahap ini dilakukan perencanaan deployment berdasarkan evaluasi yang telah dilakukan sebelumnya. Apabila hasil uji menunjukkan hasil yang baik, maka dapat direncanakan deployment selanjutnya. Selain merencanakan deployment juga dapat direncanakan mengenai rencana monitoring dan maintenance hingga menghasilkan final report terkait hasil penelitian.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan dari tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian ini. Pembahasan pada tahap Pemahaman Bisnis telah dilaksanakan dengan baik pada tahap pendahuluan, sehingga pembahasan yang disampaikan adalah pada tahap Pemahaman Data, Persiapan Data dan Pemodelan.

Hasil Pemahaman Data (Data Understanding Result)

Berdasarkan data yang didapatkan dari Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional (SIPSN) dibawah pengelolaan Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, secara nasional terdapat 331 Tempat Pengolahan Sampah Terpadu (TPST). Di Provinsi Bali, terdapat 30 lokasi TPST, dengan sampel tampilan pada SIPSN sebagai berikut.

■	2022	2	Bali	Kab. Badung	TPST SAMTAKU JIMBARAN	TPST (diluar TPA) A	10,628.80	7,267.88
Alamat:	Jl. Goa gong VIII, no.8 Lingkungan Angga Swara							
Pengelola:	LSM							
Sampah terkelola menjadi:								
Bahan baku Pakan Ternak (ton/tahun):	0.00							
Bahan baku Kompos (ton/tahun):	2,920.00							
Bahan baku Daur Ulang (ton/tahun):	4,347.88							
Bahan baku Up-cycle (ton/tahun):	0.00							
Bahan baku Sumber Energi (ton/tahun):	0.00							

Gambar 2. Data TPST SAMTAKU Jimbaran pada SIPSN

Terdapat berbagai data yang didata pada Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan pada Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional, seperti data Nama Fasilitas, data Jenis TPS, data Status TPS, data Sampah Masuk (ton/thn), data Sampah terkelola (ton/thn), data Bahan baku Pakan Ternak, data Bahan baku Kompos, data Bahan baku Daur Ulang, data Bahan baku Up-cycle, data Bahan baku Sumber Energi, data Alamat, data Kelurahan, data Kecamatan hingga data

Pengelola. Berdasarkan data tersebut, yang memungkinkan untuk dilakukan kalkulasi menggunakan SPK adalah data Fasilitas TPST yang memiliki data sampah masuk, data sampah terkelola dan pengelola TPS. Berdasarkan data yang masih cukup terbatas tersebut, data juga akan ditambahkan berdasarkan data BPS mengenai kepadatan penduduk perdaerah di Bali dan Jarak dari pusat kota/kabupaten yang didapatkan dari google maps. Berikut adalah data dari TPST di Provinsi Bali yang ditampilkan pada Tabel 1 dan Data Kriteria TPST yang ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Data TPST di Provinsi Bali

Nama Fasilitas	Sampah Masuk	Sampah Terkelola	Pengelola	Kepadatan Penduduk	Jarak dari Pusat Kecamatan
TPST SAMTAKU Jimbaran	10628,8	7267,88	LSM	1300	4,9
TPST Terminal Mengwitani	2664,5	705,36	Pemda	1623	3,9
TPST Padang Tegal	109,5	45,19	Masyarakat	1697	1,9
TPST YPST Temesi	36,5	25,55	LSM	2063	5,9
TOSS Center	4865,45	3006,76	Pemda	1135	4,4
TPST Petak	260,98	260,98	Pemda	975	2,3
TPST Antiga	16,43	16,43	Masyarakat	783	15,7
TPST Jeruk Manis	10,95	10,95	Masyarakat	1062	3,1
TPST3R Tulamben	419,75	166,08	Masyarakat	339	10,7
TPST3R Sengkidu	3,65	3,65	Masyarakat	783	10,6
TPST Penaban	14,6	14,6	Masyarakat	1062	4,7
TPST Desa Bakti Seraga	1565,85	1565,85	Masyarakat	3279	4,5
TPST Sari Dandaka	182,5	116,8	Masyarakat	540	12,9
TPST Kusuma Asri	182,5	78,84	LSM	916	4,2
TPST Teguh Karya	963,6	923,45	Masyarakat	607	1
TPST Suchita Mandala	963,6	960,06	Masyarakat	607	18,2
Desa Penuktukan	1204,5	602,25	Masyarakat	789	6,9
TPST Busungbiu	4215,75	4215,75	Masyarakat	282	1
TPST Bhuana Lestari	481,8	464,65	LSM	789	4,4
TPST Jagra Buana Asri	182,5	164,25	LSM	880	4,9
TPST Komposting Plant Jagaraga	328,5	237,25	Pemda	916	4,2
TPST Tegal Linggah	1204,5	474,5	LSM	540	8,4
TPST Shanti Asri	722,7	722,7	Masyarakat	284	3,7
TPST Tembok Lestari	722,7	722,7	Masyarakat	789	11,8
TPST Buana Muda	1445,4	1445,4	LSM	789	4,4
Mandiri Sudaji	1095	383,25	LSM	916	10
TPST Desa Bebetin	1204,5	693,5	LSM	916	14,4
TPST Darma Wiguna	963,6	739,49	LSM	519	1
TPST Mandala Giri Amertha	949	704,67	LSM	607	17,1
TPST Sibuh Nirmala	182,5	176,3	Masyarakat	312	6,8

Tabel 2. Data Kriteria

Kode Kriteria	Nama Kriteria	Satuan	Atribut Kriteria
K1	Sampah Masuk	Ton per Tahun	Benefit
K2	Sampah Terkelola	Ton per Tahun	Benefit
K3	Pengelola	Likert	Benefit
K4	Kepadatan Penduduk	Orang per Kilometer Persegi	Cost
K5	Jarak dari Pusat Kecamatan	Kilometer	Benefit

Rasional terbaik dalam sebuah optimalisasi TPST adalah semakin banyak sampah masuk, semakin banyak sampah dapat terkelola, semakin jelas pengelolaan TPST, semakin sedikit penduduk di kecamatan tersebut dan semakin jauh dari pusat kecamatan adalah TPST yang paling potensial untuk diberikan prioritas pengembangan.

Hasil Persiapan Data (*Data Preparation Result*)

Berdasarkan data yang didapatkan sebelumnya, untuk dapat dioleh kedalam SPK menggunakan metode FUCOM dan CoCoSo dibutuhkan data alternatif dan data pembobotan kriteria. Data alternatif adalah data yang didapatkan sebelumnya dari tahap data understanding. Apabila dicermati pada data alternatif sebelumnya, untuk dapat dilakukan perhitungan menggunakan CoCoSo, pada Kriteria Pengelola masih belum dalam kondisi numerik, sehingga harus di transformasikan dengan ketentuan, apabila dikelola oleh Pemda bernilai 3, LSM bernilai 2, dan Masyarkat bernilai 1. Data Alternatif ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Alternatif

ID Alternatif	Nama Fasilitas	K1	K2	K3	K4	K5
		Benefit	Benefit	Benefit	Cost	Benefit
A1	TPST SAMTAKU Jimbaran	10628,8	7267,88	2	1300	4,9
A2	TPST Terminal Mengwitani	2664,5	705,36	3	1623	3,9
A3	TPST Padang Tegal	109,5	45,19	1	1697	1,9
...
A28	TPST Darma Wiguna	963,6	739,49	2	519	1
A29	TPST Mandala Giri Amertha	949	704,67	2	607	17,1
A30	TPST Sibuh Nirmala	182,5	176,3	1	312	6,8

Untuk dapat menggunakan FUCOM dalam penentuan pembobotan kriteria, perlu diberikan data pembobotan kriteria dari narasumber. Berikut merupakan data pembobotan kriteria awal berdasarkan 3 narasumber berbeda yang ditampilkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Data Pembobotan Kriteria Awal

Narasumber	K1	K2	K3	K4	K5
Narasumber 01	1,1	1	1,5	1,2	1,2
Narasumber 02	1,2	1	1,5	1,3	1,3
Narasumber 03	1,2	1,2	1,7	1,5	1

Hasil Pemodelan (*Modeling Result*)

Berdasarkan data yang diberikan sebelumnya yang ditampilkan pada Tabel 5, untuk menghasilkan pembobotan kriteria dengan langkah-langkah yang dimulai dengan pengurutan bobot kriteria awal, perhitungan rasio koefesien bobot, transivitas matematis, pemodelan matematika dan perhitungan menggunakan LINGO. Perhitungan menggunakan Narasumber 1 sebagai sampel data perhitungan.

Tabel 5. Data Pembobotan Kriteria Awal Terurut untuk Narasumber 1

Narasumber	K1	K2	K3	K4	K5
Narasumber 01	1	1,1	1,2	1,2	1,5

Berdasarkan pemeringkatan signifikansi kriteria yang ditampilkan pada Tabel 8, dapat dihitung rasio koefesien bobot dan transivitas matematis, sebagai berikut.

Perhitungan rasio koefesien bobot:

$$\varphi_{K1/K2} = w2/w1 = 1,1/1,0 = 1,1000 \quad ; \varphi_{K4/K1} = w1/w4 = 1,2/1,1 = 1,0909$$

$$\varphi_{K5/K4} = w4/w5 = 1,2/1,2 = 1,0000 \quad ; \varphi_{K3/K5} = w5/w3 = 1,5/1,2 = 1,2500$$

Transivitas matematis:

$$w2/w4 = 1,1000 \times 1,0909 = 1,2000 \quad ; w1/w5 = 1,0909 \times 1,0000 = 1,0909$$

$$w4/w3 = 1,0000 \times 1,2500 = 1,2500$$

Hasil akhir dari pemodelan matematika untuk menentukan bobot kriteria sebagai berikut.

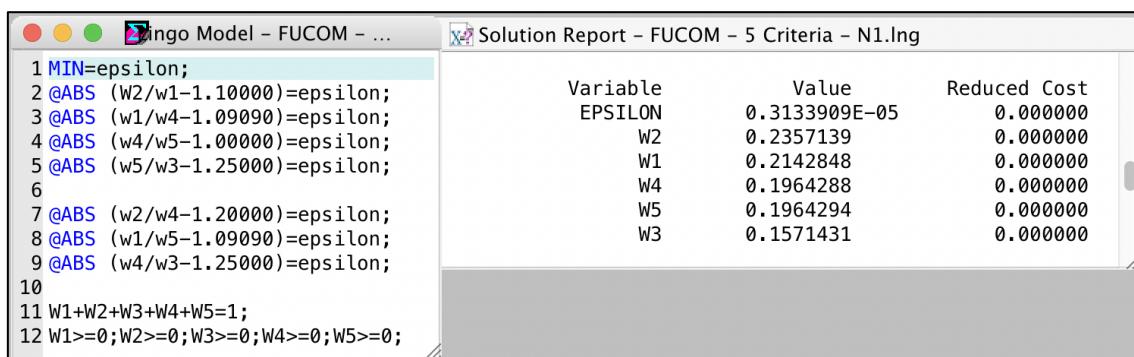
$\min \chi$

s. t.

$$\left| \frac{w_2}{w_1} - 1,1000 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_1}{w_4} - 1,0909 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_5} - 1,000 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_5}{w_3} - 1,2500 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_2}{w_4} - 1,2000 \right| \leq \chi, \\ \left| \frac{w_1}{w_5} - 1,0909 \right| \leq \chi, \left| \frac{w_4}{w_3} - 1,2500 \right| \leq \chi,$$

$$\sum_{j=1}^5 w_j = 1 \\ w_j \geq 0, \forall j$$

Pemodelan diatas dapat diselesaikan dengan menggunakan LINGO, dengan notasi dan hasil sebagai berikut:



```

1 MIN=epsilon;
2 @ABS (W2/w1-1.1000)=epsilon;
3 @ABS (w1/w4-1.0909)=epsilon;
4 @ABS (w4/w5-1.0000)=epsilon;
5 @ABS (w5/w3-1.2500)=epsilon;
6
7 @ABS (w2/w4-1.2000)=epsilon;
8 @ABS (w1/w5-1.0909)=epsilon;
9 @ABS (w4/w3-1.2500)=epsilon;
10
11 W1+W2+W3+W4+W5=1;
12 W1>=0;W2>=0;W3>=0;W4>=0;W5>=0;

```

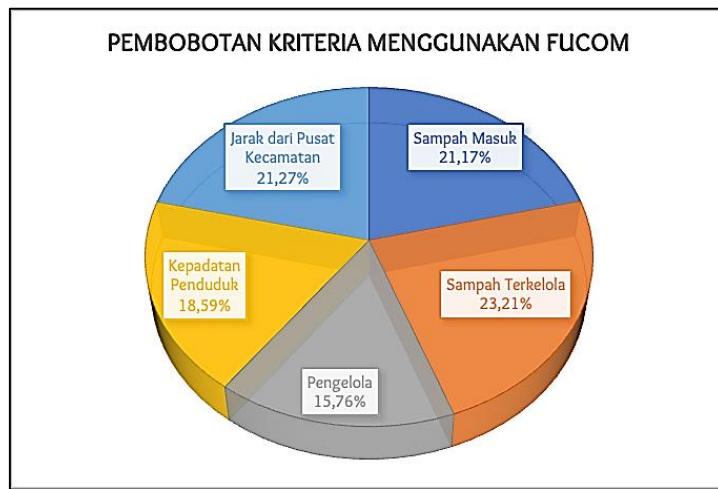
Variable	Value	Reduced Cost
EPSILON	0.3133909E-05	0.000000
W2	0.2357139	0.000000
W1	0.2142848	0.000000
W4	0.1964288	0.000000
W5	0.1964294	0.000000
W3	0.1571431	0.000000

Gambar 3. Hasil Kalkulasi Menggunakan LINGO untuk Pembobotan Kriteria pada Narasumber 01

Seluruh data Narasumber dilakukan proses yang sama, sehingga mendapatkan hasil pembobotan kriteria untuk masing-masing Narasumber. Berdasarkan keseluruhan hasil pembobotan kriteria terhadap seluruh narasumber, dapat dicari rata-rata pembobotan kriteria menggunakan rata-rata geometrik (geometric mean), dan dilakukan normalisasi, agar memenuhi kondisi $\sum w = 1$ sehingga menghasilkan pembobotan kriteria rata-rata ternormalisasi. Hasil dari pembobotan kriteria pada Narasumber 01 (N1), Narasumber 02 (N2), Narasumber 03 (N3), pembobotan kriteria rata-rata geometrik dan pembobotan kriteria rata-rata geometrik ternormalisasi, ditampilkan pada tabel 6 dan Gambar 4 sebagai berikut.

Tabel 6. Data Persentase Geometric Mean dari Pembobotan Kriteria Menggunakan FUCOM

Kode Kriteria	Nama Kriteria	N1	N2	N3	Normalisasi Pembobotan Kriteria	% Geometric Mean
C1	Sampah Masuk	0,2143	0,2065	0,2125	0,2111	21,17%
C2	Sampah Terkelola	0,2357	0,2476	0,2125	0,2315	23,21%
C3	Pengelola	0,1571	0,1648	0,1500	0,1572	15,76%
C4	Kepadatan Penduduk	0,1964	0,1907	0,1700	0,1853	18,59%
C5	Jarak dari Pusat Kecamatan	0,1964	0,1904	0,2550	0,2121	21,27%
		SUM		0,9972		



Gambar 4. Pembobotan Kriteria Menggunakan FUCOM

Setelah mendapatkan pembobotan kriteria menggunakan FUCOM, maka perhitungan dilanjutkan dengan pemeringkatan dengan Metode CoCoSo. Setelah mendapatkan data alternatif yang dapat digunakan untuk perhitungan pemeringkatan yang ditampilkan pada Tabel 3, dilanjutkan dengan melakukan normalisasi kriteria menggunakan CoCoSo. Untuk perhitungan pada kriteria yang beratribut benefit, seperti K1, K2, K3, K5, menggunakan formula berikut. Perhitungan diwakilkan menggunakan alternatif 1.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - \min_i x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$$

$$r_{A1,K1} = \frac{10628,8-3,65}{10628,8-3,65} = \frac{10625,15}{10625,15} = 1$$

$$r_{A1,K2} = \frac{7267,88-3,65}{7267,88-3,65} = \frac{7264,23}{7264,23} = 1$$

$$r_{A1,K3} = \frac{2-1}{3-1} = \frac{1}{2} = 0,5$$

$$r_{A1,K5} = \frac{4,9-1}{18,2-1} = \frac{3,9}{17,2} = 0,2267$$

Untuk perhitungan pada kriteria yang beratribut cost, seperti K4, menggunakan formula berikut. Perhitungan diwakilkan menggunakan alternatif 1.

$$r_{ij} = \frac{\max_i x_{ij} - x_{ij}}{\max_i x_{ij} - \min_i x_{ij}}$$

$$r_{A1,K4} = \frac{3279 - 1300}{3279 - 282} = \frac{1979}{2997} = 0,6603$$

Dengan mengimplementasikan seluruh perhitungan pada seluruh alternatif, maka akan didapatkan data normalisasi alternatif menggunakan CoCoSo yang ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Data Normalisasi Alternatif

ID Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5
	Benefit	Benefit	Benefit	Cost	Benefit
A1	1,0000	1,0000	0,5000	0,6603	0,2267
A2	0,2504	0,0966	1,0000	0,5526	0,1686
A3	0,0100	0,0057	0,0000	0,5279	0,0523
...
A28	0,0903	0,1013	0,5000	0,9209	0,0000
A29	0,0890	0,0965	0,5000	0,8916	0,9360
A30	0,0168	0,0238	0,0000	0,9900	0,3372

Langkah selanjutnya setelah mendapatkan data alternatif ternormalisasi, dilanjutkan dengan menghitung Sum of the weighted comparability sequence (Si) dan Power weight of comparability sequences (Pi) dengan menggabungkan data normalisasi alternatif dari CoCoSo dengan pembobotan kriteria dari FUCOM. Perhitungan pada Alternatif 1 untuk mendapatkan nilai Sum of the weighted comparability sequence (Si) menggunakan langkah-langkah berikut.

$$S_i = \sum_{j=1}^n (r_{ij} \times w_j)$$

$$S_{A1} = \sum [(1,0000 \times 21,17\%); (1,0000 \times 23,21\%); (0,5000 \times 15,76\%); (0,6603 \times 18,59\%); (0,2267 \times 21,27\%)] = 0,6936$$

Dengan mengimplementasikan seluruh perhitungan pada seluruh alternatif, maka akan didapatkan data Sum of the weighted comparability sequence (Si) menggunakan FUCOM-CoCoSo sebagai berikut.

Tabel 8. Data Sum of the Weighted Comparability Sequence (Si)

ID Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	Si
	Benefit	Benefit	Benefit	Cost	Benefit	
A1	0,2117	0,2321	0,0788	0,1228	0,0482	0,6936
A2	0,0530	0,0224	0,1576	0,1027	0,0359	0,3716
A3	0,0021	0,0013	0,0000	0,0981	0,0111	0,1127
...
A28	0,0191	0,0235	0,0788	0,1712	0,0000	0,2926
A29	0,0188	0,0224	0,0788	0,1657	0,1991	0,4849
A30	0,0036	0,0055	0,0000	0,1840	0,0717	0,2648

Perhitungan pada Alternatif 1 untuk mendapatkan nilai Power weight of comparability sequences (Pi) menggunakan langkah-langkah berikut.

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

$$P_1 = \sum [(1,0000)^{21,17\%}; (1,0000)^{23,21\%}; (0,5000)^{15,76\%}; (0,6603)^{18,59\%}; (0,2267)^{21,27\%}] = 4,5516$$

Dengan mengimplementasikan seluruh perhitungan pada seluruh alternatif, maka akan didapatkan data Power weight of comparability sequences (Pi) menggunakan FUCOM-CoCoSo sebagai berikut:

Tabel 9. Data Sum of the Power Weight of Comparability Sequence (Pi)

ID Alternatif	K1	K2	K3	K4	K5	Pi
	Benefit	Benefit	Benefit	Cost	Benefit	
A1	1,0000	1,0000	0,8965	0,9257	0,7293	4,5516
A2	0,7459	0,5813	1,0000	0,8956	0,6848	3,9076
A3	0,3769	0,3016	0,0000	0,8880	0,5339	2,1005
...
A28	0,6011	0,5878	0,8965	0,9848	0,0000	3,0702
A29	0,5992	0,5812	0,8965	0,9789	0,9860	4,0418
A30	0,4212	0,4198	0,0000	0,9981	0,7936	2,6327

Setelah mendapatkan nilai Si dan Pi, untuk dilanjutkan dengan menghitung bobot relatif dari setiap alternatif dengan menggunakan formula berikut, dengan menggunakan Alternatif 1 sebagai

sampel. Nilai λ yang digunakan adalah 0,5. Setelah mendapatkan nilai data bobot relatif dari setiap alternatif dilanjutkan untuk menghitung nilai preferensi.

$$k_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^m (S_i + P_i)} = \frac{0,6936 + 4,5516}{(9,6633 + 93,5787)} = \frac{5,2452}{103,2419} = 0,0508$$

$$k_{ib} = \frac{S_i}{\min_{i} S_i} + \frac{P_i}{\min_{i} P_i} = \frac{0,6936}{0,1127} + \frac{4,5516}{1,8499} = 6,15450 + 2,46043 = 8,6149$$

$$k_{ic} = \frac{(\lambda)(S_i) + (1 - \lambda)(P_i)}{(\lambda)^{\max_i} S_i + (1 - \lambda)^{\max_i} P_i}; 0 \leq \lambda \leq 1$$

$$k_{A1,c} = \frac{(0,5)(0,6936) + (1 - 0,5)(4,5516)}{((0,5)0,6936 + (1 - 0,5)4,5516)} = \frac{0,34679 + 2,27580}{0,34679 + 2,27580} = \frac{2,62259}{2,62259} = 1$$

$$k_i = (k_{ia} \times k_{ib} \times k_{ic})^{1/3} + \frac{1}{3}(k_{ia} + k_{ib} + k_{ic})$$

$$k_{A1} = (0,0508 \times 8,6149 \times 1,0000)^{1/3} + \frac{1}{3}(0,0508 + 8,6149 + 1,0000) =$$

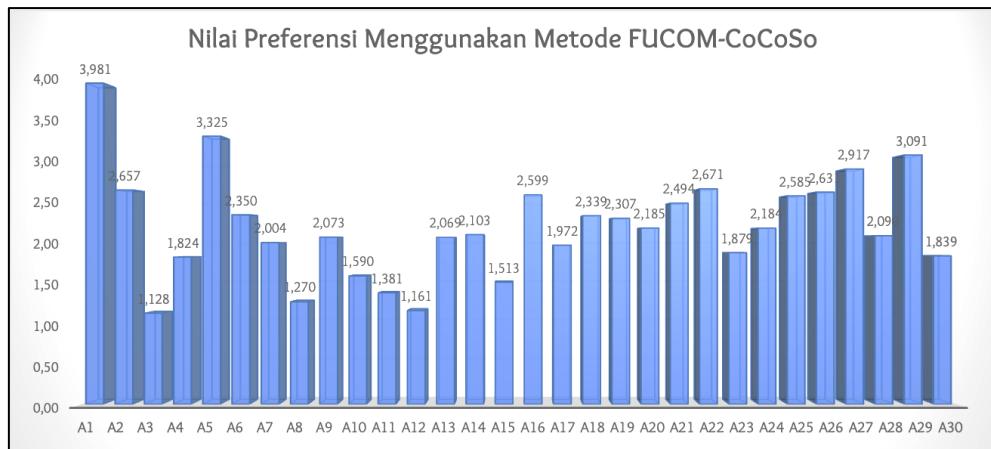
$$k_{A1} = (0,43768)^{1/3} + \frac{1}{3}(9,66574) = 3,9812$$

Dengan mengimplementasikan seluruh perhitungan pada seluruh alternatif, maka akan didapatkan hasil nilai preferensi menggunakan FUCOM-CoCoSo yang ditampilkan pada Tabel 9. Grafik nilai preferensi ditampilkan pada gambar 5.

Tabel 9. Data Ka, Kb, Kc, Nilai Preferensi dan Peringkat TPST Menggunakan FUCOM-CoCoSo

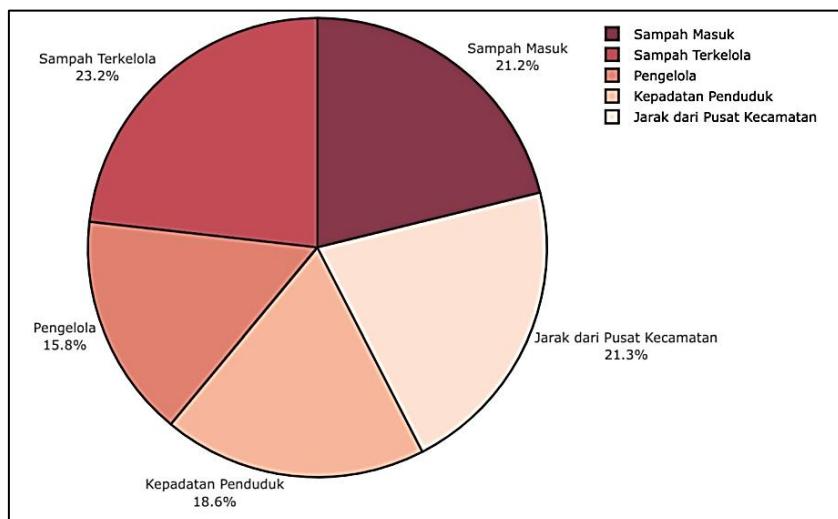
ID Alternatif	Nama Alternatif	Ka	Kb	Kc	Nilai Preferensi	Peringkat
A1	TPST SAMTAKU Jimbaran	0,0508	8,6149	1,0000	3,9812	1 / 30
A2	TPST Terminal Mengwitani	0,0414	5,4099	0,8158	2,6567	6 / 30
A3	TPST Padang Tegal	0,0214	2,1354	0,4219	1,1279	30 / 30
A4	TPST YPST Temesi	0,0318	3,5734	0,6250	1,8240	24 / 30
A5	TOSS Center	0,0468	6,9925	0,9219	3,3246	2 / 30
A6	TPST Petak	0,0366	4,7900	0,7197	2,3502	11 / 30
A7	TPST Antiga	0,0266	4,2923	0,5226	2,0044	20 / 30
A8	TPST Jeruk Manis	0,0210	2,5354	0,4126	1,2695	28 / 30
A9	TPST3R Tulamben	0,0302	4,3154	0,5939	2,0725	18 / 30
A10	TPST3R Sengkidu	0,0206	3,4273	0,4048	1,5898	25 / 30
A11	TPST Penaban	0,0223	2,7780	0,4395	1,3809	27 / 30
A12	TPST Desa Bakti Seraga	0,0213	2,2271	0,4201	1,1608	29 / 30
A13	TPST Sari Dandaka	0,0294	4,3419	0,5784	2,0694	19 / 30
A14	TPST Kusuma Asri	0,0348	4,1986	0,6846	2,1034	16 / 30
A15	TPST Teguh Karya	0,0234	3,0899	0,4601	1,5126	26 / 30
A16	TPST Suchita Mandala	0,0352	5,5313	0,6926	2,5991	8 / 30
A17	Desa Penuktukan	0,0312	3,9963	0,6146	1,9722	21 / 30
A18	TPST Busungbiu	0,0301	5,0498	0,5925	2,3390	12 / 30
A19	TPST Bhuana Lestari	0,0379	4,6133	0,7467	2,3068	13 / 30
A20	TPST Jagra Buana Asri	0,0359	4,3731	0,7061	2,1853	14 / 30
A21	TPST Komposting Plant Jagaraga	0,0382	5,1114	0,7515	2,4944	10 / 30
A22	TPST Tegal Linggah	0,0412	5,4598	0,8112	2,6714	5 / 30
A23	TPST Shanti Asri	0,0298	3,8025	0,5874	1,8787	22 / 30
A24	TPST Tembok Lestari	0,0324	4,5202	0,6382	2,1842	15 / 30
A25	TPST Buana Muda	0,0413	5,2219	0,8128	2,5850	9 / 30
A26	Mandiri Sudaji	0,0408	5,3672	0,8040	2,6313	7 / 30
A27	TPST Desa Bebetin	0,0431	6,0463	0,8480	2,9170	4 / 30

ID Alternatif	Nama Alternatif	Ka	Kb	Kc	Nilai Preferensi	Peringkat
A28	TPST Darma Wiguna	0,0326	4,2564	0,6411	2,0896	17 / 30
A29	TPST Mandala Giri Amertha	0,0438	6,4874	0,8630	3,0909	3 / 30
A30	TPST Sibuh Nirmala	0,0281	3,7732	0,5524	1,8394	23 / 30



Gambar 5. Nilai Preferensi Menggunakan FU COM-CoCoSo untuk optimalisasi TPST

Perhitungan tersebut juga dapat diimplementasikan menggunakan Python dengan tampilan-tampilan hasil sebagai berikut, dan telah dipastikan sama hasilnya dengan perhitungan manual yang dilakukan sebelumnya.

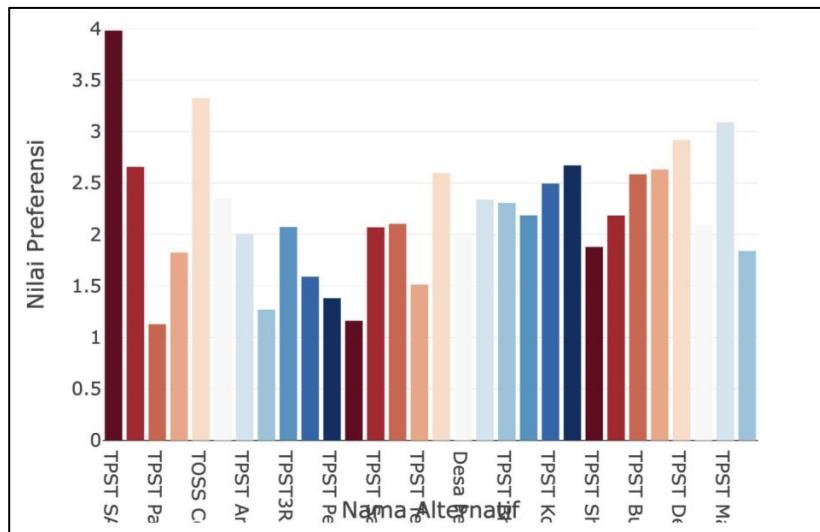


Gambar 6. Tampilan Pie Chart Pembobotan Kriteria Ternormalisasi

Tabel 10. Tabel Nilai Preferensi		
	Nama_Alternatif	Nilai_Preferensi
0	TPST SAMTAKU Jimbaran	3.98152
1	TPST Terminal Mengwitani	2.65700
2	TPST Padang Tegal	1.12792
3	TPST YPST Temesi	1.82407
4	TOSS Center	3.32495
...
25	Mandiri Sudaji	2.63144
26	TPST Desa Bebetin	2.91708
27	TPST Darma Wiguna	2.08975
28	TPST Mandala Giri Amertha	3.09099
29	TPST Sibuh Nirmala	1.83943

30 rows x 2 columns

Gambar 7. Tampilan Data Nilai Preferensi



Gambar 8. Tampilan Bar Chart Pemeringkatan Menggunakan FUCOM-CoCoSo

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil menerapkan metode FUCOM-CoCoSo dengan baik dan sesuai harapan. Tahapan penelitian ini mengandung banyak paparan data, tabel, grafik dan gambar yang tidak bisa dijelaskan lebih detail pada artikel jurnal. FUCOM-CoCoSo berhasil memberikan hasil rekomendasi untuk pemilihan prioritas optimalisasi TPST di Provinsi Bali. Alternatif TPST SAMTAKU Jimbaran menjadi prioritas karena memiliki jumlah sampah masuk dan sampah terkelola yang paling banyak, pengelolaan yang cukup baik, jarak dari pusat kecamatan yang cukup jauh namun kepadatan penduduk yang tinggi. Alternatif yang menjadi prioritas selanjutnya adalah TOSS Center, TPST Mandala Giri Amertha, TPST Desa Bebetin dan TPST Tegal Linggah. Implementasi menggunakan Python juga telah berjalan dengan baik, dimana memberikan hasil yang sama persis dengan perhitungan manual dengan proses yang jauh lebih cepat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi, yang telah mendanai penelitian ini melalui skema Hibah Penelitian Dosen Pemula tahun 2023, dengan Nomor Kontrak Induk: 184/E5/PG.02.00.PL/2023 tanggal 19 Juni 2022, dengan Nomor Kontrak Turunan: 3538/LL8/AL.04/2023 dan 125.D-PDP/KPEN-LPPM/UNHI/VII/2023 tanggal 13 dan 14 Juli 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. A. Rahmi, H. Ismanto, and M. Z. Fathoni, “Inovatif Saat Pandemi Covid Melalui Pelatihan Kewirausahaan Khas Perempuan Berbahan Sampah ‘Kolaborasi BUMDes dan Warga,’” *dinamisia*, vol. 4, no. 3, pp. 418–425, Sep. 2020.
- [2] Y. Pusparisa, “Bank Dunia Memproyeksi Limbah Global Mencapai 2,59 Miliar Ton Pada 2030,” *KataData*, 29-Sep-2020. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2020/09/29/bank-dunia-memproyeksi-limbah-global-mencapai-259-miliar-ton-pada-2030>. [Accessed: 04-Apr-2023].
- [3] H. Widowati, “Komposisi Sampah di Indonesia Didominasi Sampah Organik,” *KataData*, 01-Nov-2019. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2019/11/01/komposisi-sampah-di-indonesia-didominasi-sampah-organik>. [Accessed: 04-Apr-2022].
- [4] V. A. Dihni, “Ini Wilayah Penghasil Sampah Terbanyak di Bali,” *KataData*, 22-Jun-2022. [Online]. Available: <https://databoks.katadata.co.id/datapublish/2022/06/22/ini-wilayah-penghasil-sampah-terbanyak-di-bali>. [Accessed: 04-Apr-2023].
- [5] I. M. O. D. Putra, I. N. G. Sugiarktha, and L. P. Suryani, “Pengelolaan Sampah Plastik Rumah Tangga dalam Rangka Pencegahan Pencemaran Lingkungan (Study di Lingkungan Kelurahan Pedungan Kecamatan Denpasar Selatan Kota Denpasar),” *JKH*, vol. 2, no. 1, pp. 86–91, Mar. 2021.
- [6] I. S. Ratri, C. Meidiana, and K. E. Sari, “Peran TPST dan TPS 3R dalam Mereduksi Sampah di Kota Batu,” *Planning for Urban Region and Environtment Journal*, vol. 11, no. 1, pp. 121–132, 2022.
- [7] A. A. Mahesa, S. F. Utami, and I. Adiasa, “Analisis Perancangan Sistem Kerja Menggunakan Metode 5S pada Ruang Proses Produksi Pupuk Organik Dinas Lingkungan Hidup Kota Tegal,” *Hxg*, vol. 2, no. 2, pp. 59–65, Jul. 2021.
- [8] S. S. K. Kinashih and Y. Aries, “Perencanaan Infrastruktur Persampahanan Terkait Masifikasi Industri Kreatif dan Industri Daur Ulang Skala Kota di Kecamatan Seberang Ulu 2, Palembang,” *J. Manusia & Lingkungan*, vol. 27, no. 2, p. 60, May 2020.
- [9] I. W. Maesarini, D. R. Setiawan, and M. P. Dewi, “Strategi Gerebek Sampah Pemerintah Kota Depok Menuju Kota Bebas Sampah Tahun 2020,” *reformasi*, vol. 7, no. 2, pp. 107–112, Sep. 2020.
- [10] G. S. Mahendra, “Decision Support System Using FUCOM-MARCOS for Airline Selection In Indonesia,” *JITK*, vol. 8, no. 1, pp. 1–9, Aug. 2022.
- [11] G. S. Mahendra, R. Wardoyo, Y. P. Pasrun, I. G. I. Sudipa, Khairunnisa, I. N. T. A. Putra, I. K. A. G. Wiguna, I. G. A. A. M. Aristamy, L. P. I. Kharisma, Muh. N. Sutoyo, I. B. G. Sarasvananda, A. T. Sumpala, R. Rasyid, and F. Wahyudi, *Implementasi Sistem Pendukung Keputusan: Teori & Studi Kasus*. Bali: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [12] G. S. Mahendra, L. P. D. Tampubolon, Herlinah, S. Arni, L. P. I. Kharisma, M. G. Resmi, I. G. I. Sudipa, Khairunnisa, A. A. G. B. Ariana, S. Syam, and Edi, *Sistem Pendukung Keputusan: Teori dan Penerapannya dalam Berbagai Metode*. Jambi: PT. Sonpedia Publishing Indonesia, 2023.
- [13] R. N. Halim, A. H. Mirza, and F. Ahmad, “Penerapan Metode SAW Pada Sistem Informasi Penerimaan Guru SMP Quraniah Palembang:,” *Teknomatika*, vol. 11, no. 02, pp. 153–162, Nov. 2021.
- [14] A. D. Septiadi and S. Sarmini, “Implementasi Metode Analytical Hierarch Process Sebagai Pendukung Keputusan Kelayakan Pemberian Kredit,” *Teknomatika*, vol. 8, no. 1, Jul. 2018.
- [15] G. S. Mahendra, “SPK Penerima Bantuan Sosial Menggunakan Metode BWM-SAW dengan Metodologi Team Data Science Process (TDSP),” *SINTECH*, vol. 5, no. 2, pp. 181–190, Oct. 2022.

- [16] G. S. Mahendra and K. Y. E. Aryanto, "SPK Penentuan Lokasi ATM Menggunakan Metode AHP dan SAW," *TEKNOSI*, vol. 5, no. 1, pp. 49–56, Apr. 2019.
- [17] K. O. Sanjaya and G. S. Mahendra, "Determination of Favorite E-Commerce in Indonesia in a Decision Support System Using the SWARA-ARAS Method," in *7th ICIIS Virtual International Conference of Interreligious and Intercultural Studies Living the New Normal: Achieving Resilience & Ensuring Sustainable Future*, Denpasar, 2021, vol. 7, pp. 69–79.
- [18] B. Matić, S. Jovanović, D. K. Das, E. K. Zavadskas, Ž. Stević, S. Sremac, and M. Marinković, "A New Hybrid MCDM Model: Sustainable Supplier Selection in a Construction Company," *Symmetry*, vol. 11, no. March, pp. 1–24, 2019.
- [19] G. S. Mahendra and I. P. Y. Indrawan, "Metode AHP-TOPSIS Pada Sistem Pendukung Keputusan Penentuan Penempatan Automated Teller Machine," *JST*, vol. 9, no. 2, pp. 130–142, Oct. 2020.
- [20] G. S. Mahendra and P. G. S. C. Nugraha, "Komparasi Metode AHP-SAW dan AHP-WP pada SPK Penentuan E-Commerce Terbaik di Indonesia," *JUSTIN*, vol. 8, no. 4, pp. 346–356, Oct. 2020.
- [21] G. S. Mahendra and N. K. A. P. Sari, "Perancangan Sistem Pendukung Keputusan dengan Metode AHP-VIKOR dalam Penentuan Pengembangan Ekowisata Pedesaan," in *Prosiding Seminar Nasional FTIS, UNHI 2019. Agro-Ekosistem: Manajemen Pemanfaatan Sumber Daya Alam Secara Bijaksana*, 2019, vol. 1, pp. 15–34.
- [22] I. G. Hendrayana and G. S. Mahendra, "Perancangan Metode AHP-MOORA Pada Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Paket Wisata," in *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Teknik Informatika (SENAPATI) Ke-10*, Singaraja, 2019, vol. 10, pp. 143–149.
- [23] D. Pamučar, Ž. Stević, and S. Sremac, "A New Model for Determining Weight Coefficients of Criteria in MCDM Models: Full Consistency Method (FUCOM)," *Symmetry*, vol. 10, no. 9, pp. 1–22, 2018.
- [24] M. Yazdani, P. Zarate, E. K. Zavadskas, and Z. Turskis, "A combined compromise solution (CoCoSo) method for multi-criteria decision-making problems," *MD*, vol. 57, no. 9, pp. 2501–2519, Oct. 2019.
- [25] G. S. Mahendra, "Implementation of the FUCOM-SAW Method on E-Commerce Selection DSS in Indonesia," *TECH-E*, vol. 5, no. 1, pp. 75–85, Sep. 2021.
- [26] G. S. Mahendra, A. Lee, and G. D. S. Muni, "Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan Metode FUCOM-MOORA untuk Penentuan Maskapai Favorit," *SISTEMASI*, vol. 10, no. 3, pp. 562–574, Oct. 2021.
- [27] G. S. Mahendra, P. G. S. C. Nugraha, I. P. Y. Indrawan, and I. M. S. Ramayu, "Implementasi Pemilihan Maskapai Penerbangan Menggunakan FUCOM-MABAC pada Sistem Pendukung Keputusan," *SMARTAI*, vol. 1, no. 1, pp. 11–22, Jan. 2022.
- [28] G. S. Mahendra, P. G. S. C. Nugraha, N. W. Wardani, and N. M. M. R. Desmayani, "Pemilihan Penerima Pinjaman Koperasi pada Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan FUCOM-COPRAS," *JMTI*, vol. 12, no. 1, pp. 15–20, May 2022.
- [29] G. S. Mahendra and I. N. I. Wiradika, "Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Daya Tarik Wisata Favorit Menggunakan PIPRECIA-CoCoSo dengan Implementasi Python," *TEKNOMATIKA*, vol. 14, no. 01, pp. 1–12, Mar. 2024.
- [30] R. Wirth and J. Hipp, "CRISP-DM : Towards a Standard Process Model for Data Mining," *Semantic Scholar*, vol. 1, no. 24959, pp. 1–11, 2000.