

Implementasi *Method of Successive Interval* untuk Strategi Pengelolaan Sampah yang Berkelanjutan

Implementation of the Successive Interval Method for a Sustainable Waste Management Strategy

Yan Herdianzah^{1*}, Riska Iva Riana², Taufiq Immawan³, A. Dwi Wahyuni P⁴, Asih Ahistasari⁵

^{1*,4} Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Muslim Indonesia
Jl. Urip Sumoharjo, KM 5, 90231

^{2,3} Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang KM 14,5, Yogyakarta, 55584

⁵ Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong
Jln. Pendidikan, Kota Sorong, Papua Barat Daya, 98416

*Koresponding email: yan.herdianzah@umi.ac.id

Diterima 13 November, 2023; Disetujui 09 Desember, 2023; Dipublikasikan 24 Maret, 2024

Abstrak

Seksi persampahan Kecamatan Manggala Kota Makassar saat ini masih menemukan banyak risiko yang umum terjadi pada supply chain pengelolaan sampah dari sumber sampah menuju Tempat Pembuangan Sementara (TPS) selanjutnya ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA). Hal ini menyebabkan semakin meningkatnya volume sampah setiap hari karena kurangnya pemilahan sampah dari sumber sampah sehingga sampah di TPS berserakan akibat bak sampah tidak mampu lagi untuk menampung dan akhirnya TPA mengalami over kapasitas tanpa ada penanganan yang efektif untuk mengurangi volume sampah. Oleh karena itu perlu dilakukan penanganan pada risiko yang terjadi. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan usulan strategi mitigasi yang berkelanjutan untuk mengurangi dampak risiko pada pengelolaan sampah dengan metode Delphi untuk mengidentifikasi potensial risiko. Menggunakan House of Risk (HOR) pada tahapan analisis dan evaluasi risiko untuk menentukan strategi mitigasi dan pengukuran index sustainability menggunakan Method Successive Interval (MSI) untuk dapat mengetahui status keberlanjutan dari strategi mitigasi yang telah diusulkan. Berdasarkan hasil penelitian diketahui bahwa terdapat 18 risk event dan 65 risk agent yang teridentifikasi. Selanjutnya dilakukan strategi mitigasi pada risk agent menggunakan 16 preventive action yang selanjutnya dilakukan pengukuran tingkat keberlanjutan masing-masing strategi, hasil dari pengukuran tersebut ditemukan 3 strategi yang statusnya sangat berkelanjutan, 10 strategi yang statusnya cukup berkelanjutan dan 3 strategi yang statusnya kurang berkelanjutan.

Kata kunci: Delphi, House of Risk (HOR), Index Sustainability, Risiko pengelolaan sampah,.

Abstract

The solid waste section of Manggala District, Makassar City, currently still finds many risks that commonly occur in the waste management supply chain from the waste source to the Temporary Disposal Site (TPS) then to the Final Disposal Site (TPA). This causes the volume of waste to increase every day due to the lack of waste sorting from the waste source so that the waste in the TPS is scattered due to the waste bins no longer being able to accommodate it and ultimately the TPA experiences over capacity without any effective handling to reduce the volume of waste. Therefore, it is necessary to deal with the risks that occur. This research aims to provide suggestions for sustainable mitigation strategies to reduce the impact of risks on waste management using the Delphi method to identify potential risks. Using the House of Risk (HOR) at the risk analysis and evaluation stage to determine mitigation strategies and measuring the sustainability index using the Successive Interval (MSI) Method to determine the sustainability status of the proposed mitigation strategy. Based on the research results, it is known that there are 18 risk events and 65 risk agents identified. Next, a mitigation strategy was carried out on the risk agent using 16 preventive actions, which then measured the level of sustainability of each strategy. The results of these measurements found 3 strategies whose status was very sustainable, 10 strategies whose status was quite sustainable and 3 strategies whose status was less sustainable.

Keywords: Delphi, House of Risk (HOR), Sustainability Index, Waste management risks,.

1. Pendahuluan

Perkembangan ekonomi kota yang bergerak pesat dan pertumbuhan populasi perkotaan membawa berbagai persoalan lingkungan yang mengancam kesehatan akibat timbunan sampah kota (Zhou et al., 2019). Terutama dalam beberapa tahun terakhir telah menyebabkan peningkatan yang signifikan terhadap generasi konsumsi berbagai jenis sampah kota (Tirkolaee et al., 2020). Menjadikan tantangan pengelolaan sampah perkotaan semakin meningkat bagi otoritas kota di negara berkembang (Azevedo et al., 2019; Rebehy et al., 2017). Masalah sampah telah memberikan tekanan yang cukup besar pada sistem manajemen persampahan perkotaan terpusat (Kuznetsova et al., 2019). Dalam menghindari masalah terbatasnya lahan pembuangan limbah sebagai sumber penyakit (Fetanat et al., 2019).

Sistem layanan pengelolaan sampah perkotaan menjadi salah satu layanan terpenting di kota (Phonphoton & Pharino, 2019). Pengelolaan sampah dianggap sebagai masalah rantai pasokan strategis karena melibatkan timbunan, pengumpulan, pemisahan, pengangkutan, pengolahan dan distribusi (Herdianzah et al., 2022; Mohammadi et al., 2019; Siswanto et al., 2022). Tantangan ini telah membebani kemampuan banyak pemerintah daerah akibat limbah kemasan makanan yang menyebabkan masalah lingkungan, ekonomi dan sosial (Bugge et al., 2019). Upaya pemerintah daerah sangat penting dalam menemukan solusi manajemen dan pengelolaan yang terjangkau dengan dampak yang terkecil terhadap lingkungan (Edwards et al., 2018).

Risiko dalam beberapa konotasinya digunakan sebagai tolak ukur keberhasilan atau kegagalan dalam pengelolaan sampah (Vallero, 2019). Berbagai risiko yang dihadapi pihak pengelolaan sampah seperti infeksi, risiko cedera, dan kerentanan emosional (Black et al., 2019). Sedangkan bagi warga sekitar mereka terusik dengan emisi tak sedap dari bau yang mengganggu akibat pembuangan sampah (Cheng et al., 2019). Fasilitas pembuangan sampah dan tindakan perlindungan harus diterapkan untuk pekerja dilokasi guna meminimalkan risiko kesehatan (Yao et al., 2019).

Risiko pengelolaan sampah yang terjadi umumnya adalah gangguan pencernaan dan gangguan pernafasan (Rimantho, 2016). Akibat aroma sampah ditempat pembuangan akhir (TPA) Tamangapa (Mehta et al., 2018). Menurut data produksi sampah dan sampah yang tertangani tahun 2020 yang bersumber dari Kecamatan Manggala di Kelurahan Antang produksi sampah perhari sebesar 31M³ yang terlayani 27 M³, Bangkala produksi sampah perhari sebesar 45 M³ yang terlayani 42 M³, Batua sebesar 65,1 M³ yang terlayani 66 M³, Biring Romang 28 M³ yang terlayani 28 M³, Bitowa sebesar 31 M³ yang terlayani 29 M³, Borong sebesar 48 M³ yang terlayani 47 M³, Manggala sebesar 60,1 M³ yang terlayani 60 M³, Tamangapa sebesar 33 M³ yang terlayani 30 M³ sehingga sampah yang terangkut ke TPA Tamangapa perhari rata-rata yaitu 329 M³ atau 96,4% dari produksi sampah 341,2 M³/Hari dengan jumlah penduduk 113.724 Jiwa.

Masalah lainnya yang sering terjadi adalah area penampungan sampah yang semakin berkurang di TPA Tamangapa, sampah plastik yang sulit terurai dan perilaku masyarakat yang sering membuang sampah di sembarang tempat dengan kuantitas sampah organik 58% sedangkan nonorganik 42% yang semakin hari semakin bertambah dan berimplikasi terhadap semakin banyaknya gundukan-gundukan sampah (Margallo et al., 2019). Hingga saat ini Pemerintah Kecamatan Manggala Kota Makassar masih belum mampu mengatasi masalah terkait risiko-risiko yang terjadi pada pengelolaan persampahan yang dianggap sebagai masalah yang tidak pernah tuntas.

Penelitian ini berbeda dengan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan 3 tahapan yaitu, (1) identifikasi risiko, (2) penilaian risiko, (3) mitigasi risiko, sedangkan penelitian ini melakukan penambahan variabel berdasarkan penelitian sebelumnya, adapun tahapan yang dilakukan untuk *Supply Chain Risk Management* (SCRM) yaitu, (1) memahami perilaku risiko dengan melakukan identifikasi risiko untuk mengetahui risk event dan risk agent. (2) analisis risiko, (3) mengevaluasi risiko, (4) mitigasi risiko. Penelitian ini menggunakan metode *Delphi* untuk mengidentifikasi potensial risiko pada aliran rantai pasok dan *House Of Risk* (HOR) untuk menganalisis, mengevaluasi dan mitigasi, (5)

analisis *index sustainability* menggunakan *Method of Successive Interval/MSI* (Herdianzah, 2020; Muthmainnah et al., 2021).

2. Metode Penelitian

2.1. Desain, tempat dan waktu

Desain pada penelitian ini adalah merancang strategi mitigasi untuk pengelolaan sampah. Lokasi penelitian ini di Jl. Bitowa Raya, No.3 Kelurahan Manggala, Kecamatan Manggala, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada tingkat permasalahan paling tinggi yang terjadi pada proses pengelolaan sampah di Kecamatan Manggala Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian ini dilakukan pada bulan Mei sampai dengan Oktober 2021.

2.2. Metode Pengumpulan Data

Berikut pengumpulan data yang diperlukan untuk dapat menunjang penelitian ini:

1. Wawancara

Wawancara dilakukan oleh (1) Kepala Bidang Persampahan DLH Kota Makassar, (2) Kepala Seksi Kebersihan dan Pertamanan Kecamatan Manggala, (3) Kepala UPT TPA Tamangapa, (4) Pengawas TPA Tamangapa, (5) KASUBAG TU TPA Tamangapa untuk mengetahui potensial risiko.

2. Observasi

Observasi dengan cara melakukan peninjauan langsung ke sumber sampah, Tempat Pembuangan Sampah Sementara (TPS) dan Tempat Pembuangan Sampah Akhir (TPA).

3. Kuesioner

Pengumpulan data dengan teknik kuesioner kepada *expert* dengan menggunakan kuesioner delphi putaran I untuk mengidentifikasi potensial risiko, kemudian digunakan kuesioner delphi putaran II untuk penilaian potensi risiko agar dapat mencapai *consensus* dan kuesioner indeks *sustainability* untuk mengetahui status keberlanjutan setiap variabel.

4. *Brainstorming*

Pengumpulan data dengan teknik *brainstorming* dilakukan untuk memvalidasi hasil kuesioner delphi putaran I, dibutuhkan kesepakatan (mufakat) dari *expert* sebelum dilanjutkan pada tahapan penilaian risiko untuk kuesioner *Delphi* putaran II.

5. *Focus Group Discussion* (FGD)

Pada penelitian ini jumlah peserta FGD sebanyak 5 orang, hal ini berdasarkan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Koentjoro, (2005) yang menyarankan jumlah peserta FGD sebanyak 4-7 orang. FGD digunakan pada HOR fase 1 dan 2 untuk mendapatkan nilai *severity*, *occurrence*, korelasi antara *risk event* dan *risk agent* serta menentukan strategi mitigasi.

2.3. Metode Pengolahan Data

1. Identifikasi potensi risiko

Identifikasi potensial risiko dilakukan dengan menggunakan metode *Delphi*, hal ini dilakukan guna untuk dapat memastikan bahwa semua risiko yang mungkin terjadi berhasil diidentifikasi. Pada penelitian ini kuesioner delphi disebarikan kepada responden dengan 2 putaran, dimana putaran 1 untuk mengetahui sejauh mana pengetahuan responden terhadap potensi risiko, kemudian kuesioner putaran 2 responden memberikan penilaian pada masing-masing potensi risiko hingga mencapai *consensus*.

2. Penilaian risiko

Setelah potensi risiko dan *risk agent* berhasil diidentifikasi, pada tahap ini dilakukan penilaian terhadap risiko dengan menentukan tingkat dampak (*severity*) dan probabilitas kejadian (*occurrence*), tingkat korelasi antara *risk event* dan *risk agent*. Tahapan ini dilakukan dengan pembobotan berdasarkan pendapat expert sesuai dengan metode *House of Risk* fase 1 melalui *Focus Group Discussion* (FGD).

3. Evaluasi risiko

Pada tahapan ini dilakukan pemeringkatan untuk menentukan prioritas *risk agent* sehingga dapat di ketahui *risk agent* yang paling mempengaruhi sistem pengelolaan sampah. Tahapan penilaian risiko dan evaluasi risiko dilakukan dengan metode HOR fase 1. Dalam lanjutan ini dilakukan penentuan prioritas sumber risiko dengan cara mencari korelasi yang tertinggi antara sumber risiko dan kejadian risiko dengan penentuan *Aggregate Risk Potential* (ARP) sehingga hasil prioritas dapat dianalisa pada proses berikutnya yaitu HOR fase 2

4. Mitigasi risiko

Pada tahapan ini dilakukan perancangan strategi mitigasi/penanganan untuk dapat diterapkan pada sistem pengelolaan sampah di Kota Makassar agar dapat mengurangi dampak *risk agent* dalam pengelolaan sampah. Penentuan strategi mitigasi dilakukan melalui *Focus Group Discussion* (FGD). Tahapan ini dilakukan dengan menggunakan metode HOR fase 2. Dalam lanjutan ini beberapa sumber risiko yang telah dipilih dilakukan analisa penentuan prioritas tindakan meminimalkan yang telah diidentifikasi sebelumnya dengan cara mencari korelasi yang tertinggi antara sumber risiko dan tindakan penanganan. Sehingga dihasilkan prioritas pemilihan tindakan untuk mengurangi dampak risiko dan mengetahui strategi mitigasi yang paling efektif

5. Indeks keberlanjutan

pengukuran *sustainability* dengan menggunakan pendekatan analisis *index sustainability* digunakan untuk menganalisis tingkat keberlanjutan menggunakan indeks komposit dari data skala likert persepsi *expert* sebagai responden dengan menggunakan pendekatan *Method of Successive Interval* (MSI) untuk mengukur penerapan strategi berkelanjutan pada suatu proses bisnis atau organisasi, artinya memperlihatkan unsur lingkungan, sosial dan ekonomi dalam setiap pertimbangan yang dilakukan sebagai pengujian kelayakan keberlanjutannya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Risiko

Berdasarkan *consensus Delphi* putaran kedua diperoleh 18 *risk event*. Kemudian identifikasi risiko dilakukan dengan menggunakan pendekatan *Failure Mode and Effect Analysis* (FMEA). Menurut (Christopher & Peck, 2004) bahwa alasan dari penggunaan FMEA merupakan suatu teknik yang dapat digunakan untuk menganalisis penyebab potensial timbulnya suatu gangguan, probabilitas kemunculannya dan bagaimana cara pencegahannya. Konsep FMEA pada penelitian ini menggunakan 2 variabel saja, yaitu probabilitas terjadinya risiko (*occurrence*) dan dampak risiko (*severity*). Pembobotan nilai dari variabel tersebut dilakukan dengan metode *expert judgement*. Tabel 1 berikut merupakan *risk event*:

Tabel 1. Daftar Risk Event

No	Risk Event	Kode	Severity
1	Sampah berserakan dipenampungan sumber sampah	E1	9
2	Terkena benda tajam dari sumber sampah	E2	10
3	Pencemaran udara disekitar TPS	E3	9
4	TPS over kapasitas	E4	8
5	Sampah yang diangkut dari bak TPS ke TPA terjatuh dijalan	E5	8
6	Sampah di bak TPS berserakan karena aktivitas pemulung	E6	8
7	Petugas TPS tergores benda tajam (kaca, paku, tusuk sate)	E7	9
8	Kebakaran ditumpukan sampah	E8	10
9	Perubahan tata guna lahan	E9	8
10	Pencemaran air permukaan	E10	9
11	Volume sampah meningkat secara signifikan	E11	7
12	Terjadi longsoran sampah	E12	10
13	Terjadi over kapasitas pada TPA antang	E13	10
14	Kolam lindi tidak berfungsi/Rusak	E14	9
15	Hewan ternak (sapi) terkena alat berat	E15	10
16	Tanah warga terkena dampak longsoran sampah	E16	10

No	Risk Event	Kode	Severity
17	Pencemaran udara dipemukiman warga	E17	10
18	Petugas tenggelam ditumpukkan sampah	E18	10

Tabel diatas memaparkan hasil pembobotan nilai *severity* dari setiap kejadian risiko. Pembobotan diatas didapat dari pendapat *expert* dengan 1 kriteria yang ada didalam metode *Failure Mode and Effect Analysis*, yaitu *severity* yang menyatakan tingkat keparahan apabila suatu *failure mode* terjadi. Dan *potential impact* merupakan dampak yang ditimbulkan jika risiko tersebut terjadi. Setelah mengetahui kategori dari setiap risiko maka langkah selanjutnya mencari *risk agent*. Tabel 2 dibawah ini menunjukkan hasil identifikasi *risk agent* dari setiap *risk event*:

Tabel 2. Daftar Risk Agent

No	Risk Agent	Kode	Occurrence
1	Sampah hanya dibungkus dengan kantong plastik	A1	8
2	Hewan liar (kucing & anjing) membongkar sampah plastik	A2	10
3	Petugas tidak menggunakan sarung tangan saat bekerja	A3	10
4	Belum memiliki standar operasional kerja (SOP)	A4	8
5	Bak TPS tidak memiliki penutup	A5	7
6	Sampah menumpuk selama sehari-hari	A6	7
7	Pemilahan dari sumber sampah masih minim	A7	9
8	Petugas tidak menutup bak sampah dengan terpal atau jaring	A8	8
9	Pihak pengelola tidak mengatur regulasi larangan pemulung di area TPS	A9	10
10	Belum diterapkan standar kesehatan keselamatan kerja (K3)	A10	8
11	Sampah jenis korek gas meledak saat musim kemarau	A11	10
12	Pekerja TPA atau pemulung membuang puntung rokok di tumpukan	A12	7
13	Lahan TPA yang sudah terbatas dan tidak memungkinkan penimbunan	A13	10
14	Air pada kolam lindi meluap saat musim hujan	A14	8
15	Belum ada pengolahan sampah di TPA	A15	9
16	Keterlambatan petugas TPA meratakan tumpukan sampah	A16	6
17	Struktur kepadatan tumpukan sampah menjadi lemah saat musim hujan	A17	10
18	Pengolahan sampah hanya ditumpuk (<i>overdumping</i>)	A18	10
19	pembakaran/incinerator tidak diterapkan di TPA Tamangapa	A19	10
20	Saluran kolam lindi tersumbat sampah	A20	10
21	Terjadi rembesan pada kolam lindi	A21	10
22	Ternak warga (sapi) bebas mesuki kawasan TPA	A22	10

3.2 Analisis Risiko

Identifikasi dan penilaian *risk event* maupun *risk agent* dilakukan dengan cara *Focus Group Discussion* (FGD) kepada pihak perusahaan dengan membentuk tim dan data kuesioner untuk penilian *severity* dari *risk event* dan penilaian *occurrence* dari *risk agent* serta *correlation* dari keduanya. Dari hasil identifikasi terdapat 18 *risk event* dan 22 *risk agent*.

Berdasarkan nilai ARP yang telah didapat dari perhitungan, maka selanjutnya menentukan *risk agent* dominan dengan pendekatan Pareto. Penggunaan diagram Pareto untuk menentukan sumber risiko dominan. Menurut (Lin et al., 2018) diagram Pareto dibuat dengan menggunakan persentase kumulatif dari setiap ARP dari *risk agent*. Tabel 3 dibawah ini menunjukkan hasil diagram Pareto *risk agent*:

Tabel 3. Hasil Diagram Pareto

ARP	Rank	Agent Risk	Persentase	Kumulatif %
4890	1	A18	11,09%	11,09%
3630	2	A19	8,23%	19,32%
3520	3	A24	7,98%	27,30%
3078	4	A17	6,98%	34,28%

ARP	Rank	Agent Risk	Persentase	Kumulatif %
2820	5	A23	6,40%	40,68%
2790	6	A7	6,33%	47,01%
2727	7	A15	6,18%	53,19%
2268	8	A20	5,14%	58,33%
2190	9	A13	4,97%	63,30%
1710	10	A3	3,88%	67,18%
1304	11	A14	2,96%	70,14%
1296	12	A21	2,94%	73,07%
936	13	A4	2,12%	75,20%
900	14	A11	2,04%	77,24%
810	15	A22	1,84%	79,08%

Berdasarkan prinsip diagram pareto 80/20, diambil sebanyak 79,08% *risk agent* untuk dilakukan perancangan strategi penanganann yang diharapkan dapat mempengaruhi perbaikan 20,92% *risk agent* lainnya. Ada 15 *risk agent* dominan dari total 22 *risk agent* dalam *supply chain* pengelolaan sampah di Kecamatan Manggala. Berikut tabel 4 merupakan daftar *risk agent* dominan beserta nilai *severity* serta *occurence* yang digunakan untuk melakukan pemetaan risiko:

Tabel 4. Risk Agent Dominan Sebelum Penanganan Risiko

No	Code	Risk Agent	Severity	Occurrence
1	A18	Pengolahan sampah hanya ditumpuk (overdumping)	10	9
2	A19	pembakaran/incinerator tidak diterapkan di TPA Tamangapa	7	7
3	A24	Belum dilakukan perluasan wilayah TPA (pembebasan lahan)	7	4
4	A17	Struktur kepadatan tumpukan sampah menjadi lemah saat musim hujan	8	7
5	A23	Tidak ada pembatas antara wilayah TPA dan lahan warga	6	5
6	A7	Pemilahan dari sumber sampah masih minim	7	10
7	A15	Belum ada pengolahan sampah di TPA	10	9
8	A20	Saluran kolam lindi tersumbat sampah	8	6
9	A13	Lahan TPA yang sudah terbatas dan tidak memungkinkan penimbunan	9	8
10	A3	Petugas tidak menggunakan sarung tangan saat bekerja	6	5
11	A14	Air pada kolam lindi meluap saat musim hujan	6	6
12	A21	Terjadi rembesan pada kolam lindi	6	5
13	A4	Belum memiliki standar operasional kerja	7	4
14	A11	Sampah jenis korek gas meledak saat musim kemarau	6	6
15	A22	Ternak warga (sapi) bebas mesuki kawasan TPA	6	6

Nilai risiko dari *risk agent* A18 sebesar 90, *risk agent* A19 sebesar 49, *risk agent* A24 sebesar 28, *risk agent* A17 sebesar 56, *risk agent* A23 sebesar 30, *risk agent* A7 sebesar 70, *risk agent* A15 sebesar 90, *risk agent* A20 sebesar 48, *risk agent* A13 sebesar 72, *risk agent* A3 sebesar 30, *risk agent* A14 sebesar 36, *risk agent* A21 sebesar 30 dan *risk agent* A4 28, *risk agent* A11 sebesar 36, *risk agent* A22 sebesar 36. Setelah mengetahui daftar sumber risiko yang dominan maka selanjutnya membuat peta risiko. Peta risiko berguna untuk melihat kondisi risiko sebelum diberikannya penanganan. Gambar 1 menunjukkan posisi *risk agent* dominan sebelum dilakukan penanganan:

Probabilitas	Sangat Tinggi				A7	A18
	Tinggi				A19, A17	A15, A13
	Sedang			A14, A11, A22	A20	
	Rendah			A23, A3, A21		
	Sangat Rendah				A24, A4	
		Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi
		Dampak				

Gambar 1. Risk Map Sebelum Mitigasi

Risk agent A18 memiliki probabilitas sangat tinggi dan dampak yang sangat tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A7 memiliki probabilitas sangat tinggi dan dampak yang tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A19 dan A17 memiliki probabilitas tinggi dengan dampak tinggi sehingga risk agent ini terletak pada merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A15 memiliki probabilitas sangat tinggi dan dampak sangat tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A13 memiliki probabilitas tinggi dan dampak sangat tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A20 memiliki probabilitas sedang dan dampak tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area merah yang berarti risiko kritis. Risk agent A14, A11 dan A22 memiliki probabilitas sedang dan dampak sedang sehingga risk agent ini terletak pada area kuning yang berarti risiko sedang. Risk agent A23, A3, A21, memiliki probabilitas rendah dan dampak sedang sehingga risk agent ini terletak pada area kuning yang berarti risiko sedang. Risk agent A24 dan A4 memiliki probabilitas sangat rendah dan dampak tinggi sehingga risk agent ini terletak pada area kuning yang berarti risiko kritis.

Dari pemetaan sumber risiko ke dalam risk map, dapat diketahui bahwa terdapat 7 risk agent berada pada area merah yang berarti menunjukkan risiko pada posisi tinggi atau kritis sehingga risiko ini wajib dimitigasi secepatnya. Dan 6 risk agent yang berada pada area kuning yang berarti risiko pada posisi sedang sehingga perlu dikelola secara rutin dan pengendalian yang efektif serta strategi harus dilaksanakan. Dilihat dari kondisi risiko-risiko yang ada, maka perlu dirancang strategi penanganannya agar tidak terjadi gangguan pada supply chain pengelolaan sampah di Kecamatan Manggala.

3.3 Desain Strategi Mitigasi

Berdasarkan perhitungan HOR fase 2 didapat urutan prioritas penanganan yang ditunjukkan pada tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Urutan Prioritas Penanganan

No	Preventive action	Code
1	Bekerjasama dengan pihak ketiga untuk melakukan komposting dan pengolahan sampah organik	PA11
2	Merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTS) di TPA Tamangapa	PA1
3	Melakukan sistem pembakaran/incinerator setelah pembebasan lahan	PA2
4	Melakukan sosialisasi dan koordinasi dengan warga pemilik lahan disekitar TPA untuk pembebasan lahan	PA3
5	Meratakan tumpukan sampah yang ketinggiannya sudah lebih dari 20 meter	PA4
6	Gerakan sedekah sampah disetiap Masjid bekerjasama dengan bank sampah Kecamatan Manggala	PA7
7	Melakukan perbaikan saluran lindi yang tersumbat	PA5
8	Membangun pagar pembatas (pagar beton) antara TPA dan lahan warga	PA6
9	Melakukan sosialisasi kepada warga untuk membuang sampah menabung emas	PA10
10	Pengadaan tempat sampah 3 warna disetiap rumah warga yang difasilitasi oleh Kecamatan	PA9
11	Membuat penjadwalan untuk monitoring dan controlling kolam lindi setiap hari	PA12

No	Preventive action	Code
12	Menerapkan standar Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) kepada semua karyawan	PA13
13	Menyediakan kolam darurat untuk mengalihkan air lindi ketika akan terjadi over kapasitas	PA14
14	Melakukan penambalan beton pada bagian kolam yang merembes akibat retakan	PA15
15	Merancang dan menerapkan Standar Operasional Kerja (SOP) pada <i>supply chain</i> pengelolaan sampah	PA16
16	Menyediakan mesin kompos di setiap RW	PA8

Setelah adanya strategi penanganan *risk agent* yang berada pada area merah turun ke area kuning yang berarti risiko sedang dan yang berada di area kuning turun ke area hijau berarti risiko ringan. Hal yang menunjukkan bahwa terjadi perubahan kearah yang lebih positif untuk setiap *risk agent* setelah ada strategi mitigasi. Berikut gambar 2 peta risiko setelah dilakukan strategi penanganan.

Probabilitas	Sangat Tinggi		A18, A7			
	Tinggi		A18, A7			
	Sedang			A19		
	Rendah		A23, A14, A11, A22	A17, A15		
	Sangat Rendah		A3, A21	A24, A4	A20, 13	
	Sangat Rendah	Rendah	Sedang	Tinggi	Sangat Tinggi	
Dampak						

Gambar 2. Risk Map Setelah Mitigasi

Dari hasil pemetaan *risk agent* diatas, dapat diketahui bahwa terdapat 8 *risk agent* berada pada area hijau yang berarti menunjukkan risiko pada posisi ringan sehingga hanya perlu pemantauan singkat dengan pengendalian normal sudah mencukupi. Dan terdapat 7 *risk agent* berada pada area kuning yang berarti menunjukkan risiko pada posisi sedang sehingga masih perlu dikelola secara rutin dengan pengendalian yang efektif serta strategi harus dilaksanakan.

3.4 Method of Successive Interval (MSI)

Indeks keberlanjutan diukur dengan cara membuat indeks komposit berdasarkan skala *likert* pada tabel 2.3 sebelumnya. Skala *likert* merupakan skala ordinal sehingga perlu dilakukan transformasi ke skala interval menggunakan pendekatan *Method of Successive Interval/MSI* (Waryanto & Milawati, 2006). Transformasi dilakukan untuk dapat menghitung nilai rata-ran (X_j), nilai *Min Xj* dan nilai *Max Xj* serta nilai standar deviasi. Tabel 1 berikut merupakan status index keberlanjutan dari setiap strategi:

Tabel 6. Status Index Keberlanjutan

Indikator Aspek	No	Variabel	Indeks	Status
Lingkungan	1	Bekerjasama dengan pihak ketiga untuk melakukan komposting dan pengolahan sampah organik	0,76	Sangat Berkelanjutan
	2	Melakukan sistem pembakaran setelah pembebasan lahan	0,62	Sangat Berkelanjutan

Indikator Aspek	No	Variabel	Indeks	Status	
Ekonomi	3	Meratakan tumpukan sampah yang ketinggiannya sudah lebih dari 20 meter	0,62	Cukup Berkelanjutan	
	4	Melakukan perbaikan saluran lindi yang tersumbat	0,54	Cukup Berkelanjutan	
	5	Membuat penjadwalan untuk <i>monitoring</i> dan <i>controlling</i> kolam lindi setiap hari	0,59	Cukup Berkelanjutan	
	6	Menerapkan standar Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) kepada semua karyawan	0,63	Cukup Berkelanjutan	
	7	Menyediakan kolam darurat untuk mengalihkan air lindi ketika akan terjadi over kapasitas	0,27	Kurang Berkelanjutan	
	8	Melakukan penambalan beton pada bagian kolam yang merembes akibat retakan	0,62	Cukup Berkelanjutan	
	9	Merancang dan menerapkan Standar Operasional Kerja (SOP) pada <i>supply chain</i> pengelolaan sampah	0,57	Cukup Berkelanjutan	
	10	Merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTS) di TPA Tamangapa	0,63	Cukup Berkelanjutan	
	11	Melakukan sosialisasi kepada warga untuk membuang sampah menabung emas	0,76	Sangat Berkelanjutan	
	12	Gerakan sedekah sampah disetiap Masjid bekerjasama dengan bank sampah Kecamatan Manggala	0,76	Sangat Berkelanjutan	
	Sosial	13	Pengadaan tempat sampah 3 warna disetiap rumah warga yang difasilitasi oleh Kecamatan	0,34	Kurang Berkelanjutan
		14	Melakukan sosialisasi dan koordinasi dengan warga pemilik lahan disekitar TPA untuk pembebasan lahan	0,54	Cukup Berkelanjutan
		15	Membangun pagar pembatas (pagar beton) antara TPA dan lahan warga	0,63	Cukup Berkelanjutan
		16	Menyediakan mesin kompos di setiap RW	0,29	Kurang Berkelanjutan

4. Simpulan

Berdasarkan hasil HOR fase 2 didapatkan 16 strategi mitigasi yaitu (1) Bekerjasama dengan pihak ketiga untuk melakukan komposting dan pengolahan sampah organik, (2) Merealisasikan Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTS) di TPA Tamangapa, (3) Melakukan sistem pembakaran/incinerator setelah pembebasan lahan, (4) Melakukan sosialisasi dan koordinasi dengan warga pemilik lahan disekitar TPA untuk pembebasan lahan, (5) Meratakan tumpukan sampah yang ketinggiannya sudah lebih dari 20 meter, (6) Gerakan sedekah sampah disetiap Masjid bekerjasama dengan bank sampah Kecamatan Tamangapa, (7) Melakukan perbaikan saluran lindi yang tersumbat, (8) Membangun pagar pembatas (pagar beton) antara TPA dan lahan warga, (9) Melakukan sosialisasi kepada warga untuk membuang sampah menabung emas, (10) Pengadaan tempat sampah 3 warna disetiap rumah warga yang difasilitasi oleh Kecamatan, (11) Membuat penjadwalan untuk *monitoring* dan *controlling* kolam lindi setiap hari, (12) Menerapkan standar Keselamatan Kesehatan Kerja (K3) kepada semua karyawan, (13) Menyediakan kolam darurat untuk mengalihkan air lindi ketika akan terjadi over kapasitas, (14) Melakukan penambalan beton pada bagian kolam yang merembes akibat retakan, (15) Merancang dan

menerapkan Standar Operasional Kerja (SOP) pada *supply chain* pengelolaan sampah, (16) Menyediakan mesin kompos di setiap RW. *Risk agent* A7, A18, A19, A17, A15, A13, dan A20 sebelum dilakukan penanganan *risk agent* ini berada pada area merah yang berarti risiko kritis dan setelah penanganan *risk agent* ini turun di area kuning yang berarti risiko sedang. Selanjutnya *risk agent* A14, A23, A3, A21, A24, A14, A11 dan A22.

Indeks keberlanjutan setiap mitigasi untuk strategi pengelolaan sampah yang berkelanjutan di Kecamatan Manggala Kota Makassar berdasarkan status *index sustainability* dengan menggunakan *Method Successive Interval* (MSI). Adapun penanganan pengelolaan sampah sebelum dan sesudah penanganan pada aspek lingkungan sebagai berikut; Timbulan sampah di sumber sampah sebanyak 329 (M³)/hari dan sampah yang dapat diolah sebesar 18 (M³)/hari sehingga setelah penanganan sampah berkurang menjadi 297,7 (M³)/hari. Sampah ke TPS sebelum penanganan sebesar 311 dan setelah penanganan hanya sebesar 234,7 sehingga presentase pengurangan sampah ke TPS sebelum penanganan 5% dan setelah penanganan 21%. Sampah ke TPA sebelum penanganan sebesar 311 dan setelah penanganan 234,7, tidak ada pengolahan sampah sebelum penanganan sehingga tidak ada jumlah penurunan volume sampah sedangkan sampah yang terolah di TPA setelah penanganan sebesar 67 (M³)/Hari atau persentase pengurangan sampah ke TPA sebesar 29%.

Untuk penanganan pengelolaan sampah sebelum dan sesudah penanganan pada aspek ekonomi sebagai berikut; waktu pengangkutan dari sumber sampah ke TPS sebelum dilakukan penanganan 5 jam/kelurahan dan setelah dilakukan penanganan hanya 3 jam/kelurahan. Biaya transportasi pengangkutan sampah dari sumber ke TPS (88 Unit motor viar gerobak) Rp. 2.072.400/hari dan setelah dilakukan penanganan hanya Rp. 1.884.000/hari. Biaya transportasi pengangkutan sampah TPS ke TPA (16 Unit Mobil) Rp. 1.256.000 dan setelah dilakukan penanganan hanya Rp. 1.099.000/hari. Biaya iuran sampah/rumah dikenakan biaya Rp. 48.000/bulan jika volume sampah/rumah >5 kg/hari dan setiap rumah akan mendapatkan subsidi hanya membayar Rp. 25.000/bulan jika volume sampahnya >5kg/hari.

Untuk penanganan pengelolaan sampah sebelum dan sesudah penanganan pada aspek sosial sebagai berikut; Frekuensi pembakaran sampah oleh warga sebanyak 64 rt/hari dan setelah dilakukan penanganan hanya < 19 rt/hari. Partisipasi warga dalam pemilahan sampah 17% dan setelah dilakukan penanganan hanya 46%. Sampah yang dibuang dilahan kosong 5 m³/hari dan setelah dilakukan penanganan hanya 1,8 m³/hari. Sampah yang dibuang ke selokan air/sungai 7,2 m³/hari dan setelah dilakukan penanganan hanya 4 m³/hari. Jumlah sedekah sampah 70 Kg/hari. Waktu pengoperasian pasar tamangapa dimulai pukul 05.00-10.00 dan setelah dilakukan penanganan dimulai pukul 05.00-20.00. Radius pencemaran udara (bau) dari TPS 100 m dan setelah dilakukan penanganan hanya < 30 m.

Referensi

- Azevedo, B. D., Scavarda, L. F., & Caiado, R. G. G. (2019). Urban solid waste management in developing countries from the sustainable supply chain management perspective: A case study of Brazil's largest slum. *Journal of Cleaner Production*, 233, 1377–1386. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.162>
- Black, M., Karki, J., Lee, A. C. K., Makai, P., Baral, Y. R., Kritsotakis, E. I., Bernier, A., & Fossier Heckmann, A. (2019). The health risks of informal waste workers in the Kathmandu Valley: a cross-sectional survey. *Public Health*, 166, 10–18. <https://doi.org/10.1016/j.puhe.2018.09.026>
- Bugge, M. M., Fevolden, A. M., & Klitkou, A. (2019). Governance for system optimization and system change: The case of urban waste. *Research Policy*, 48(4), 1076–1090. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2018.10.013>
- Cheng, Z., Sun, Z., Zhu, S., Lou, Z., Zhu, N., & Feng, L. (2019). The identification and health risk assessment of odor emissions from waste landfilling and composting. *Science of The Total Environment*, 649, 1038–1044. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.08.230>
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the Resilient Supply Chain. *The International Journal of Logistics Management*, 15(2), 1–14. <https://doi.org/10.1108/09574090410700275>
- Edwards, J., Burn, S., Crossin, E., & Othman, M. (2018). Life cycle costing of municipal food waste management systems: The effect of environmental externalities and transfer costs using local

- government case studies. *Resources, Conservation and Recycling*, 138, 118–129. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2018.06.018>
- Fetanat, A., Mofid, H., Mehrannia, M., & Shafipour, G. (2019). Informing energy justice based decision-making framework for waste-to-energy technologies selection in sustainable waste management: A case of Iran. *Journal of Cleaner Production*, 228, 1377–1390. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.215>
- Herdianzah, Y. (2020). Kri Design And Mitigation Strategy On Water Distribution Of Perumda Air Minum Makassar Regional IV: A Case Study. *Journal of Industrial Engineering Management*, 5(2), 70–79. <https://doi.org/10.33536/jiem.v5i2.672>
- Herdianzah, Y., Arfandi Ahmad, Anis Saleh, Anugerah Syukur, Rahmaniah, & A Dwi Wahyuni P. (2022). Pengaruh Penerapan Warehouse Management System Terhadap Kinerja Gudang Pada PTP Nusantara XIV Persero. *Metode: Jurnal Teknik Industri*, 8(2), 91–101. <https://doi.org/10.33506/mt.v8i2.1950>
- Kuznetsova, E., Cardin, M.-A., Diao, M., & Zhang, S. (2019). Integrated decision-support methodology for combined centralized-decentralized waste-to-energy management systems design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 103, 477–500. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.12.020>
- Lin, Z., Chen, Z., Wu, Q., Yang, S., & Meng, H. (2018). Coordinated pitch & torque control of large-scale wind turbine based on Pareto efficiency analysis. *Energy*, 147, 812–825. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.01.055>
- Margallo, M., Ziegler-Rodriguez, K., Vázquez-Rowe, I., Aldaco, R., Irabien, Á., & Kahhat, R. (2019). Enhancing waste management strategies in Latin America under a holistic environmental assessment perspective: A review for policy support. *Science of The Total Environment*, 689, 1255–1275. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.06.393>
- Mehta, N., Dino, G. A., Ajmone-Marsan, F., Lasagna, M., Romè, C., & De Luca, D. A. (2018). Extractive waste management: A risk analysis approach. *Science of The Total Environment*, 622–623, 900–912. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.260>
- Mohammadi, M., Jämsä-Jounela, S.-L., & Harjunkoski, I. (2019). Optimal planning of municipal solid waste management systems in an integrated supply chain network. *Computers & Chemical Engineering*, 123, 155–169. <https://doi.org/10.1016/j.compchemeng.2018.12.022>
- Muthmainnah, S., Immawan, T., & Herdianzah, Y. (2021). Implementation Of The House Of Risk In The Supply Chain Of Manufacturing SMEs. *Journal of Industrial Engineering Management*, 6(2), 40–50. <https://doi.org/10.33536/jiem.v6i2.904>
- Phonphoton, N., & Pharino, C. (2019). A system dynamics modeling to evaluate flooding impacts on municipal solid waste management services. *Waste Management*, 87, 525–536. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.02.036>
- Rebehy, P. C. P. W., Costa, A. L., Campello, C. A. G. B., de Freitas Espinoza, D., & Neto, M. J. (2017). Innovative social business of selective waste collection in Brazil: Cleaner production and poverty reduction. *Journal of Cleaner Production*, 154, 462–473. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.173>
- Rimantho, D. (2016). Identifikasi Risiko Kesehatan dan Keselamatan Kerja pada Pekerja Pengumpul Sampah Manual di Jakarta Selatan. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 14(1), 1. <https://doi.org/10.25077/josi.v14.n1.p1-15.2015>
- Siswanto, Herdianzah, Y., Rauf, N., & Suja'setyahadi, A. (2022). Analysis Of Quality Improvement Of Two Wheel Motor Vehicle Services Using Quality Function Deployment Method At Rezky Jaya Motor Workshop Makassar. *Journal of Industrial System Engineering and Management*, 1(2), 55–62. <https://doi.org/10.56882/jisem.v1i2.9>
- Tirkolae, E. B., Mahdavi, I., Esfahani, M. M. S., & Weber, G.-W. (2020). A robust green location-allocation-inventory problem to design an urban waste management system under uncertainty. *Waste Management*, 102, 340–350. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.038>
- Vallero, D. A. (2019). Waste Management Accountability: Risk, Reliability, and Resilience. In *Waste* (pp. 693–740). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815060-3.00035-9>
- Yao, X.-Z., Ma, R.-C., Li, H.-J., Wang, C., Zhang, C., Yin, S.-S., Wu, D., He, X.-Y., Wang, J., Zhan, L.-T., & He, R. (2019). Assessment of the major odor contributors and health risks of volatile

compounds in three disposal technologies for municipal solid waste. *Waste Management*, 91, 128–138. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.05.009>

Zhou, Z., Chi, Y., Dong, J., Tang, Y., & Ni, M. (2019). Model development of sustainability assessment from a life cycle perspective: A case study on waste management systems in China. *Journal of Cleaner Production*, 210, 1005–1014. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.11.074>