

**EVALUASI SISTEM PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DI
KOTA MAKASSAR BERDASARKAN INDIKATOR
KEBERLANJUTAN**

*EVALUATION OF SOLID WASTE MANAGEMENT SYSTEM IN
MAKASSAR CITY BASED ON SUSTAINABILITY INDICATORS*

Disusun dan diajukan oleh:

ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS

P022191023



Dosen Pembimbing :

Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng

Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS

**PROGRAM STUDI
PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN WILAYAH
SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

**EVALUASI SISTEM PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DI
KOTA MAKASSAR BERDASARKAN INDIKATOR
KEBERLANJUTAN**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Mencapai Gelar Magister

Program Studi

**Perencanaan dan Pengembangan Wilayah / Manajemen
Perencanaan**

Disusun dan Diajukan Oleh:

Ariesta Christian Begawan Azis

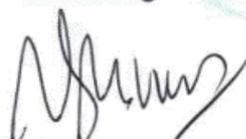
Kepada

**PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS**EVALUASI SISTEM PENGELOLAAN LIMBAH PADAT DI KOTA
MAKASSAR BERDASARKAN INDIKATOR KEBERLANJUTAN****Disusun dan diajukan oleh****ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS****P022191023**

Telah di pertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 4 Agustus 2021
dan dinyatakan telah memenuhi Syarat kelulusan

Menyetujui,**Pembimbing Utama**

Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng
Nip. 196207271989031003

Pembimbing Pendamping

Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS
Nip. 195408281983021001

**Ketua Program Studi.
Perencanaan dan Pengembangan Wilayah**



Prof. Dr. Ir. Ahmad Munir, M.Eng
Nip. 196207271989031003

**Dekan Sekolah Pascasarjana
Universitas Hasanuddin**



Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc
Nip. 196703081990031001

PERNYATAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS
NIM : P022191023
Program Studi : PERENCANAAN DAN PENGEMBANGAN WILAYAH /
MANAJEMEN PERENCANAAN
Jenjang : S2

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain. Tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini adalah hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS

PRAKATA

Alhamdulillah wa syukurillah, penulis mengucapkan syukur dan terima kasih kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat-Nya sehingga tesis ini dapat terselesaikan. Tesis ini adalah salah satu persyaratan akademik dalam menyelesaikan pendidikan S2 Konsentrasi Manajemen Perencanaan, Program Studi Perencanaan dan Pengembangan Wilayah, Universitas Hasanuddin.

Tesis ini dapat selesai dengan bimbingan dan arahan dari komisi pembimbing dan penilai. Pada kesempatan ini, penulis ingin berterima kasih kepada Prof. Dr.Ir. Ahmad Munir, M.Eng. dan Prof. Dr. Ir. Hazairin Zubair, MS yang telah membimbing penulis. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada Prof. Dr. Dadang Ahmad Suriamiharja, M.Eng., Dr. Ir. Mahmud Ahmad, MP, dan Dr. Ir. Mahyuddin, M.Si selaku komisi penilai.

Selanjutnya penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc selaku Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin
2. Pusbindiklatren Bappenas yang telah menyediakan beasiswa untuk membiayai studi penulis
3. Bapak/Ibu dosen yang telah memberikan tambahan ilmu pengetahuan bagi penulis

4. Seluruh pengelola Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin, terkhusus Kak Umy, yang selalu membantu proses administrasi penulis
5. Sahabat-sahabat PPW-Bappenas Angkatan 2019 yang telah bersama-sama melalui studi ini, Ronald, Jalil, Anugrah, Yudha, Arief, Dharma, Rini, Kiko, Rosma, Annur, Rusliah, Dian, Widi, dan Syamsidar.
6. Kepada semua pihak yang tak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini

Tesis ini juga penulis persembahkan untuk kedua orang tua yang telah menjadi penopang sehingga penulis bisa seperti sekarang. Terima kasih tak terhingga untuk Ayahanda Dermawan Azis dan Ibunda Bernidet Angelina. Juga terima kasih sebesar-besarnya untuk Oma Winny Trouerbach, Ayah Zainuddin Sinring, dan Adikku Ainun. Terkhusus untuk belahan jiwaku, Anugrahwati, dan anakku, Ahmad Zayyan, terima kasih telah selalu membantu dan memberikan semangat sehingga penulis dapat menyelesaikan studi dengan baik.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa tesis ini masih memiliki kekurangan dan belum sempurna. Karena itu, dengan penuh kerendahan hati penulis mengharapkan masukan, saran, dan kritik agar tesis dapat disempurnakan. Semoga tulisan ini dapat bermanfaat bagi masyarakat dan pemerintah untuk menentukan solusi dalam permasalahan terkait pengelolaan limbah padat.

Makassar, 9 Agustus 2021

Penulis

ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS

ABSTRAK

ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS. Evaluasi Sistem Pengelolaan Limbah Padat di Kota Makassar Berdasarkan Indikator Keberlanjutan (dibimbing oleh **Ahmad Munir** dan **Hazairin Zubair**)

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi Sistem Pengelolaan Limbah Padat (SPLP) di Kota Makassar dengan menggunakan indikator keberlanjutan serta menentukan prioritas perbaikan SPLP di Kota Makassar berdasarkan kelompok indikator keberlanjutan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Evaluasi SPLP menggunakan 27 indikator yang terbagi dalam enam kelompok, yaitu kelompok umum, kelompok pengumpulan dan pemilahan, kelompok daur ulang, kelompok pengomposan, dan kelompok TPA. Penentuan prioritas perbaikan menggunakan kombinasi metode *fishbone analysis* dan AHP.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa SPLP di Kota Makassar berada pada kriteria Kurang Berkelanjutan, sehingga memerlukan perbaikan-perbaikan. Prioritas perbaikan SPLP di Kota Makassar secara berurutan adalah pada kelompok pengumpulan dan pemilahan, kelompok TPA, kelompok daur ulang, kelompok pengomposan, kelompok pemulihan energi, dan kelompok umum. Perbaikan pada kelompok indikator terpenting dapat memicu perbaikan pada kelompok indikator lainnya.

Kata kunci: sistem pengelolaan limbah padat, manajemen sampah, indikator keberlanjutan, Makassar

ABSTRACT

ARIESTA CHRISTIAN BEGAWAN AZIS. Evaluation of Solid Waste Management System in Makassar City Based on Sustainability Indicators (supervised by **Ahmad Munir** and **Hazairin Zubair**)

This study aims to evaluate Makassar's Solid Waste Management System (SWMS) using sustainability indicators and to determine improvement priorities for Makassar's SWMS based on the group in sustainability indicators.

This study uses a quantitative and qualitative approach. The Evaluation of SWMS uses 27 indicators, divided into six groups, namely the general group, collecting and sorting groups, recycling group, composting group, and landfill group. Determination of improvement priorities using a combination of fishbone analysis and AHP methods.

The results indicate that Makassar's SWMS is in the criteria Less Sustainable, so it requires improvements. The priority of SWMS improvement in Makassar City, respectively, is the collecting and sorting group, landfill group, recycling group, composting group, energy recovery group, and general groups. Improvements in the most important group can trigger improvements in other groups.

Keywords: solid waste management system, waste management, sustainability indicators, Makassar.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian.....	5
D. Manfaat Penelitian.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
A. Sistem Pengelolaan Limbah Padat	7
B. Indikator Keberlanjutan	8
C. Pengumpulan dan Pemilahan	16
D. Daur Ulang	17
E. Pengomposan	19
F. Pemulihan Energi	20
G. Tempat Pemrosesan Akhir.....	22
H. Fishbone Analysis	23
I. Analytic Hierarchy Procces (AHP).....	24
J. Penelitian Terdahulu	29
K. Kerangka Konseptual	37
BAB III METODE PENELITIAN	38
A. Jenis dan Desain Penelitian	38
B. Waktu dan Lokasi Penelitian	38
C. Jenis dan Sumber Data Penelitian	39

1. Data Primer.....	39
2. Data Sekunder.....	40
D. Teknik Analisis Data.....	44
1. Evaluasi Pelaksanaan SPLP di Kota Makassar.....	44
2. Penentuan Prioritas Perbaikan SPLP di Kota Makassar.....	50
3. Kerangka Kerja Penelitian.....	52
E. Matriks Penelitian.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	58
A. Evaluasi SPLP di Kota Makassar.....	58
1. Kelompok Indikator Umum.....	61
2. Kelompok Indikator Pengumpulan dan Pemilahan.....	66
3. Kelompok Indikator Daur Ulang.....	70
4. Kelompok Indikator Pengomposan.....	71
5. Kelompok Indikator Pemulihan Energi.....	73
6. Kelompok Indikator TPA.....	75
7. Kondisi Keberlanjutan SPLP di Kota Makassar.....	80
B. Penentuan Prioritas Perbaikan SPLP di Kota Makassar.....	82
1. Fishbone Analysis.....	82
2. Analytic Hierarchy Procces.....	87
3. Perbaikan SPLP di Kota Makassar.....	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	97
A. Kesimpulan.....	97
B. Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA.....	98
LAMPIRAN.....	104

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Indikator Sistem Manajemen Limbah Padat Terpadu	10
Tabel 2. Standar Kompos di Beberapa Negara dan Wilayah	20
Tabel 3. Skala Perbandingan Berpasangan pada AHP	27
Tabel 4. Penelitian Terdahulu Terkait Evaluasi SPLP	30
Tabel 5. Jenis dan Sumber Data Penelitian	41
Tabel 6. Indikator yang digunakan untuk mengevaluasi keberlanjutan SPLP Kota Makassar	45
Tabel 7. Matriks Penelitian	53
Tabel 8. Hasil evaluasi SPLP di Kota Makassar berdasarkan indikator keberlanjutan.....	58
Tabel 9. Karakteristik Sumber Sampah di Kota Makassar.....	61
Tabel 10. Hasil Evaluasi SPLP di Kota Makassar Berdasarkan Indikator Keberlanjutan.....	81
Tabel 11. Kebijakan yang disarankan untuk keberlanjutan SPLP Kota Makassar	86
Tabel 12. Kendala dan Solusi perbaikan SPLP di Kota Makassar.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Contoh Bagan Hirarki Pengambilan Keputusan dengan Metode AHP	25
Gambar 2.	Kerangka Konseptual Penelitian.....	37
Gambar 3.	Contoh Grafik Hasil Penilaian SPLP	50
Gambar 4.	Bagan Hirarki Pengambilan Keputusan Perbaikan SPLP di Kota Makassar	52
Gambar 5.	Bagan Alur Penelitian	52
Gambar 6.	Peta Sebaran Pelayanan Kesehatan di Kota Makassar	62
Gambar 7.	Peta Sebaran Permukiman di Kota Makassar	63
Gambar 8.	Pola Pengumpulan sampah rumah tangga di Kota Makassar	67
Gambar 9.	Mesin pencacah kompos di TPS3R Darul Aman (a); Kompos yang sedang dikeringkan di TPS3R Darul Aman (b).....	72
Gambar 10.	Alat Pembakaran <i>Landfill Gas</i> di TPA Tamangapa	74
Gambar 11.	Peta Lokasi TPA Tamangapa Kota Makassar.....	76
Gambar 12.	Kondisi di sekitar zona pembuangan di TPA Tamangapa Kota Makassar	78
Gambar 13.	Peta Sebaran Permukiman di Sekitar TPA Tamangapa.....	79
Gambar 14.	Diagram Tulang Ikan Permasalahan dan Kendala SPLP di Kota Makassar	82
Gambar 15.	Hasil analisis tingkat kepentingan setiap kriteria menggunakan Expert Choice 11.....	88
Gambar 16.	Hasil analisis tingkat kepentingan setiap alternatif terhadap kriteria biaya	89
Gambar 17.	Hasil analisis tingkat kepentingan setiap alternatif terhadap kriteria kompetensi SDM	91
Gambar 18.	Hasil analisis tingkat kepentingan setiap alternatif terhadap kriteria sarana prasarana	92
Gambar 19.	Tingkat kepentingan perbaikan SPLP di Kota Makassar.....	93

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Salah satu Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (Sustainable Development Goals / SDGs) yang ditetapkan oleh Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) adalah untuk memastikan pola konsumsi dan produksi berkelanjutan (United Nations, 2015). Tujuan ini selanjutnya dijelaskan dengan salah satu indikator bahwa pada tahun 2020, dunia internasional telah mencapai pengelolaan semua jenis limbah yang berwawasan lingkungan dan secara signifikan mengurangi pelepasannya ke udara, air, dan tanah untuk meminimalkan dampak buruknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Timbulan sampah merupakan hasil alami dari pertumbuhan penduduk, artinya, dengan terus bertambahnya jumlah penduduk juga akan meningkatkan jumlah timbulan sampah (Ferronato & Torretta, 2019). Timbulan sampah yang ada di seluruh dunia pada tahun 2016 berjumlah lebih dari 2 miliar ton dan diproyeksikan akan meningkat hingga 2,5 miliar ton pada tahun 2030 dan hampir 3,4 miliar ton pada tahun 2050 (Kaza, Yao, Bhada-Tata, & Van Woerden, 2018). Keadaan ini memberikan gambaran bahwa timbulan sampah yang ada harus ditangani dengan baik agar tidak memberikan dampak buruk di masa depan. Telah ditemukan berbagai dampak buruk dari manajemen sampah yang salah dan tidak berkelanjutan, misalnya polusi plastik di lingkungan perairan dan pesisir Indonesia (Lestari

& Trihadiningrum, 2019), emisi gas rumah kaca di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) di Malaysia (Abushammala, Basri, Basri, Kadhum, & El-Shafie, 2012) dan Kamerun (Ngwabie, Wirlen, Yinda, & VanderZaag, 2019), dan pada akhirnya dapat menyebabkan pencemaran logam berat pada tanah (Ali, Pervaiz, Afzal, Hamid, & Yasmin, 2014).

Sistem manajemen pengelolaan sampah adalah tanggung jawab bersama dari semua pihak. Pemangku kepentingan utama di Indonesia, sebagai negara berkembang, adalah pemerintah daerah dan beberapa kementerian dari pemerintah pusat selaku penyusun kebijakan dan penyedia sistem pengelolaan limbah padat (SPLP), serta pihak swasta yang menyediakan layanan persampahan (Guerrero, Maas, & Hogland, 2013).

Pemerintah Republik Indonesia telah memberikan perhatian khusus tentang hal ini dengan mengeluarkan undang-undang dan peraturan yang mengatur tentang sistem manajemen pengelolaan sampah. Pengelolaan sampah di Indonesia seharusnya diselenggarakan berdasarkan asas tanggung jawab, asas berkelanjutan, asas manfaat, asas keadilan, asas kesadaran, asas kebersamaan, asas keselamatan, asas keamanan, dan asas nilai ekonomi sesuai dengan Undang-undang Nomor 18 Tahun 2008 Tentang Pengelolaan Sampah (UU Nomor 18 Tahun 2008). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 81 Tahun 2012 Tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga (PP Nomor 81 Tahun 2012) telah menjelaskan tentang penyelenggaraan pengelolaan sampah meliputi pencegahan,

pengurangan, daur ulang, dan penggunaan kembali yang sejalan dengan SDGs.

Meskipun demikian, masih ada bagian dari peraturan perundang-undangan ini yang tidak dilaksanakan oleh pemerintah lokal. TPA di Kota Makassar misalnya yang hingga saat ini masih menggunakan sistem pembuangan terbuka (Rahim & Zubair, 2014). Padahal berdasarkan UU Nomor 18 Tahun 2008, pemerintah daerah seharusnya telah membuat perencanaan penutupan TPA yang menggunakan sistem pembuangan terbuka pada tahun 2009, dan menutupnya paling lama pada tahun 2013. Sistem pembuangan terbuka dapat menghasilkan emisi setara dengan dua puluh juta metrik ton CO₂ per tahun, dan jika terus dibiarkan sistem ini akan menyumbangkan 10% dari emisi gas rumah kaca secara global pada tahun 2025 (Law & Ross, 2019). Sistem pengelolaan yang tidak tepat ini juga menimbulkan masalah lain seperti polusi bau tidak sedap, ceceran sampah di jalan akibat pengangkutan, masalah air limbah (Nahrudin, 2016).

Selain masih menggunakan sistem pembuangan terbuka, pengelolaan sampah di Kota Makassar masih belum melaksanakan pemilahan sampah dengan baik. Timbulan sampah dari rumah tangga masih tercampur antara sampah yang dapat didaur ulang, seperti plastik dan kertas, dengan sampah jenis lainnya. Masih banyaknya sampah yang berserakan di pinggir jalan juga menjadi tanda masih kurangnya kesadaran masyarakat untuk membuang sampah pada tempatnya dan juga lemahnya pengawasan pihak pemerintah selaku pengelola persampahan di Kota Makassar.

Karena alasan tersebut, sistem manajemen sampah di Kota Makassar perlu dievaluasi. Evaluasi yang dilaksanakan diharapkan dapat memberikan gambaran keberlanjutan seperti target SDGs pada tahun 2020, sehingga diperlukan indikator keberlanjutan yang sesuai untuk menilainya. Penggunaan indikator yang digunakan oleh Ibáñez-Forés et al., (2019) hanya dapat digunakan untuk menilai aspek sosialnya saja. Sedangkan model yang dikembangkan oleh Rigamonti et al., (2016) atau pun Deus et al., (2020) membutuhkan data yang sangat banyak dengan waktu yang lama. Sementara itu, Oduro-Appiah et al., (2017) menjelaskan bahwa kurangnya data menimbulkan kesulitan dalam menilai kinerja SPLP.

Pada penelitian yang lainnya, ElSaid & Aghezzaf (2018) telah menyusun 27 indikator terpenting yang berhubungan dengan pengelolaan limbah berkelanjutan. Indikator-indikator tersebut terbagi dalam enam kelompok, yaitu pengelolaan limbah secara umum; pengumpulan dan pemilahan; daur ulang; pengomposan; pemulihan energi; dan pengelolaan TPA. Indikator-indikator ini dapat digunakan untuk menilai kinerja SPLP dengan data yang terbatas dan waktu yang singkat. Hasil evaluasi dengan indikator-indikator tersebut akan memperlihatkan potensi perbaikan yang dapat dicapai melalui peningkatan kinerja dengan memanfaatkan indikator keberlanjutan.

Perbaikan yang akan dilakukan juga harus memperhatikan tingkat kepentingan, peluang, dan masalah yang mungkin ada dalam setiap tindakan yang dilakukan. Karena itu perlu dilakukan analisis sebelum memutuskan langkah apa yang terbaik untuk dilaksanakan. Model

pengambilan keputusan berkelanjutan dalam penilaian sistem manajemen sampah telah banyak digunakan, misalnya Life-Cycle Assessment (LCA), cost-benefit analysis, dan multicriteria analysis. Salah satu metode analisis multikriteria yang dapat digunakan adalah *Analytic Hierarchy Process* (AHP). AHP telah terbukti dapat membantu dalam penentuan keputusan berdasarkan prioritas di berbagai bidang (Saaty, 2008), sehingga akan memberikan solusi dengan terbaik.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka kita dapat mengetahui bahwa masih banyak bagian dari SPLP yang ada di Kota Makassar tidak sesuai dengan peraturan perundang-undangan dan juga SDGs. Maka dari itu, dapat dirumuskan masalah penelitian ini dengan pertanyaan sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi sistem pengelolaan limbah padat di Kota Makassar saat ini berdasarkan indikator keberlanjutan?
2. Apa yang sebaiknya segera diperbaiki pada SPLP di Kota Makassar?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan pertanyaan penelitian diatas, maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengevaluasi sistem pengelolaan limbah padat di Kota Makassar berdasarkan indikator keberlanjutan.
2. Menentukan prioritas perbaikan SPLP di Kota Makassar.

D. Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan memberikan informasi kondisi terkini sistem pengelolaan limbah padat di Kota Makassar dilihat dari proses keberlanjutannya. Selain itu, hasil ini diharapkan dapat memberikan masukan sebagai pertimbangan dalam perumusan strategi untuk perbaikan sistem pengelolaan limbah padat di Kota Makassar.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Pengelolaan Limbah Padat

Peningkatan pesat dalam populasi, pertumbuhan ekonomi, urbanisasi dan industrialisasi meningkatkan timbulan limbah padat di tingkat global. Sementara itu, SPLP yang tidak berkelanjutan di negara berkembang akan semakin memperburuk masalah lingkungan yang timbul (Ferronato & Torretta, 2019). Infrastruktur untuk pengumpulan yang kurang memadai, transportasi, perawatan dan pembuangan akhir, perencanaan manajemen, sumber daya keuangan, keterampilan dan sikap publik juga menjadi kendala dalam SPLP di negara berkembang.

UU nomor 18 Tahun 2008 dan PP Nomor 81 Tahun 2012 telah menjelaskan bahwa pengelolaan sampah adalah kegiatan sistematis, menyeluruh, dan berkesinambungan yang meliputi pengurangan dan penanganan sampah. Pengelolaan limbah yang tidak tepat akan memperburuk pencemaran lingkungan, sehingga berpotensi menimbulkan risiko kesehatan masyarakat (Wang, Awasthi, Zhang, & Wong, 2019).

Periathamby (2011) menyatakan bahwa SPLP merupakan salah satu dari tiga sumber utama degradasi lingkungan di negara-negara Asia. Penyebabnya adalah lindi dan emisi gas di Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) yang tidak ditangani dengan baik. Padahal hal ini mudah untuk ditangani jika dilaksanakan di TPA saniter yang mengakomodasi perlakuan emisi menggunakan teknologi yang tepat.

Selain dengan pemanfaatan teknologi, pengelolaan sampah di Indonesia juga dapat dilaksanakan berbasis partisipasi komunitas (Mahyudin, 2017). Partisipasi seluruh komponen masyarakat secara langsung atau pun tidak langsung dapat mendukung penanganan dan pengelolaan sampah. Pemerintah dan masyarakat perlu bersinergi untuk meningkatkan peran serta masyarakat dalam pengelolaan sampah (Dermawan, Lahming, & Mandra, 2018).

Menurut Kahfi (2017), permasalahan sampah di Kota Makassar juga masih disebabkan oleh perilaku masyarakat dan lemahnya penegakan peraturan terkait persampahan. Selain membuang sampah secara sembarangan, masih banyak masyarakat yang belum melakukan pengelolaan sampah di tingkat rumah tangga dengan baik.

Ini sesuai dengan hasil dari Guerrero et al. (2013) yang menyatakan bahwa SPLP yang efektif tidak hanya memanfaatkan teknologi, tetapi juga memperhatikan lingkungan, budaya sosial, hukum, kelembagaan, dan hubungan ekonomi. Ini akan membuat seluruh sistem dapat berjalan dengan baik.

B. Indikator Keberlanjutan

Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDGs) memiliki pilar, yaitu sosial, ekonomi, lingkungan, dan instansi / kelembagaan (Hák, Moldan, & Dahl, 2007) yang harus menjadi patokan dalam mengembangkan indikator keberlanjutan. Pertemuan pada tahun 2015 yang diadakan oleh *Deutsche Forschungsgemeinschaft* (DFG / Yayasan Penelitian Jerman) dan *United Nations University* (UNU) menghasilkan keputusan bahwa kemajuan

implementasi SDGs harus didukung oleh sebuah kerangka kerja indikator yang bermakna (Schmalzbauer & Visbeck, 2016).

Indikator keberlanjutan bertujuan untuk menyediakan informasi komprehensif terukur tentang membaik atau memburuknya suatu sistem, sehingga kita dapat memutuskan apa yang harus dilakukan untuk meningkatkan fungsi sistem tersebut (ElSaid & Aghezzaf, 2018; Hák et al., 2007). Agar suatu indikator keberlanjutan dapat efektif, maka ini harus valid secara ilmiah, sah di mata pengguna dan pemangku kepentingan, dan menonjol atau relevan bagi pembuat keputusan (Hák et al., 2007).

Hingga saat ini, berbagai organisasi regional dan internasional telah mengembangkan kumpulan indikator keberlanjutan, seperti yang terdapat pada daftar komprehensif yang dibuat oleh Shen et. al., (2011). Daftar ini memuat kumpulan indikator keberlanjutan yang dibuat oleh United Nations, UN Habitat, World Bank, European Foundation, European Commission on Science, Research and Development, dan European Commission on Energy Environment and Sustainable Development. Daftar ini selanjutnya diberi nama *International Urban Sustainability Indicators List* (IUSIL) yang terdiri 115 indikator dalam 34 kategori.

Contoh lainnya adalah Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB) yang pada tahun 2016 mengadopsi 230 indikator. Namun, karena kurangnya data yang ada, hanya sekitar sepertiga indikator yang cocok digunakan untuk membantu dalam penerapan SDGs yang baru (Schmalzbauer & Visbeck, 2016).

Tabel 1. Indikator Sistem Manajemen Limbah Padat Terpadu

No.	Indikator	Penjelasan	5	4	3	2	1
	Umum						
1	Laju pertumbuhan penduduk kota per tahun	Rata-rata perubahan persentase penduduk tahunan (meningkat atau menurun)	$\leq -0,45\%$	$-0,451 - 0,69\%$	$0,691 - 1,63\%$	$1,631 - 2,53\%$	$> 2,53\%$
2	PDB per kapita (\$)	GDP per kapita (nilai nominal)	> 32.000	$> 8.000 - \leq 32.000$	$> 4.000 - \leq 8.000$	$> 1.000 - \leq 4.000$	≤ 1.000
3	Proporsi penduduk dengan pendapatan di bawah \$1.25 per hari	Persentase penduduk di bawah garis kemiskinan internasional	$\leq 10\%$	$10,1 - 20\%$	$20,1 - 30\%$	$30,1 - 40\%$	$> 40\%$
4.	Jumlah kepadatan penduduk		< 1000	$> 1000 - \leq 5000$	$> 5.000 - \leq 10.000$	$> 10.000 - \leq 20.000$	> 20.000
5	Jumlah timbulan sampah per kapita per hari (kg)	Timbulan sampah dari rumah tangga dan area umum, kecuali bahan berbahaya dari rumah sakit, limbah pertanian, dan sisa pembongkaran	$\leq 0,6$	$0,61 - 0,79$	$0,791 - 1,2$	$1,21 - 2,1$	$> 2,1$
6	Emisi gas rumah kaca per kapita	Emisi setara ton CO ² per kapita yang diperoleh hanya dari sampah padat perkotaan	$\leq 0,029$	$0,03 - 0,12$	$0,13 - 0,28$	$0,29 - 0,8$	$> 0,8$
7	Tingkat kesadaran	Kesadaran terkait masalah pengelolaan limbah dan hierarki yang mengarah pada perubahan perilaku warga. Istilah "public"	Aksi publik Tindakan yang diambil oleh individu dalam hal perilaku mereka, pilihan	Tindakan publik Tindakan yang diambil oleh individu sehubungan dengan perilaku	Pengetahuan publik Pengalaman yang diperoleh publik dan pemahaman	Kesadaran publik Pengetahuan yang diperoleh publik dan keprihatinan	Masyarakat tidak menyadari pentingnya pengelolaan limbah dan tetap

		mencakup semua individu dalam masyarakat : warga negara biasa, pejabat pemerintah, politisi, staf LSM, eksekutif bisnis dan karyawan, termasuk pemilik usaha kecil dan menengah	konsumsi, dan praktik gaya hidup yang mendukung manajemen limbah berkelanjutan	mereka, pilihan konsumsi, dan praktik gaya hidup untuk mengakomodasi atau mendukung pengelolaan limbah berkelanjutan	dasar tentang aspek-aspek mengenai pengelolaan dan keberlanjutan limbah (secara luas mendefinisikan kesadaran)	tentang pengelolaan limbah dan keberlanjutan (kesadaran yang didefinisikan secara sempit)	mengadopsi konsep “tidak di halamanku”
8	Eksistensi dan implementasi rencana dan peraturan manajemen limbah lokal		Impelementasi rencana dan peraturan secara ketat	Impelementasi rencana dan peraturan secara sedang	Tidak ada peraturan. Rencanakan di tempat	Tidak ada paraturan dan perencanaan	Tidak ada
9	Transparansi dan akuntabilitas	Berdasarkan indeks transparansi dari World Bank (Indeks Persepsi Korupsi)	> 80	60,1 – 80	40,1 – 60	20,1 – 40	≤ 20
	Pengumpulan dan pemilahan						
10	Persentase sampah yang dikumpulkan dibandingkan jumlah total timbulan sampah		> 80%	60,1 – 80	40,1 – 60%	20,1 – 40%	≤ 20%
11	Persentase rumah tangga yang termasuk dalam sistem manajemen sampah	Cakupan pengumpulan berbeda dengan persentase limbah yang dikumpulkan, karena cakupannya bisa 40%, namun limbah yang dikumpulkan hanya 20%	> 80%	60,1 – 80	40,1 – 60%	20,1 – 40%	≤ 20%

12	Terjangkaunya biaya pembuangan dan pengumpulan sampah		Terjangkau		Medium		Tidak terjangkau
13	Persentase biaya yang dapat dipulihkan setelah memilah limbah (karena menjual barang daur ulang)	(Penghasilan dari menjual yang didaur ulang per ton / biaya pengumpulan dan pembuangan per ton) x 100	>80%	60,1 – 80%	40,1 – 60%	20,1 – 40%	< 20%
	Daur ulang						
14	Persentase limbah yang dipisahkan pada sumbernya		>80%	60,1 – 80%	40,1 – 60%	20,1 – 40%	< 20%
15	Persentase sampah perkotaan yang didaur ulang, tidak termasuk kompos		> 40%	30,1 – 40%	20,1 – 30%	10,1 – 20%	≤ 10%
16	Pemasangan titik daur ulang di kota dengan lebih dari 5.000 penduduk		Ya		Beberapa		Tidak
	Pengomposan						
17	Persentase limbah yang dijadikan kompos		> 25%	15,1 – 25%	10,1 – 15%	5,1 – 10%	≤ 5%
18	Permintaan vs ketersediaan kompos (tingkat penjualan kompos)	Menilai apakah ada kebutuhan kompos di pasar (kota pertanian, berkebun di rumah)	Tinggi		Sedang		Rendah
19	Kualitas kompos	Kualitas dalam hal kadar logam berat yang	Tinggi		Sedang		Rendah

		diijinkan, komposisi fisik dan kontaminasi, patogenik bakteri, kematangan, dan kinerja pertumbuhan tanaman					
	Pemulihan energi						
20	Persentase pemanfaatan limbah dalam pemulihan energi (pembakaran, pencernaan anaerob, gasifikasi, dsb)		> 60%	40,1 – 60%	20,1 – 40%	10,1 – 20%	≤ 10%
21	Rata-rata nilai kalori dari limbah yang masuk dalam waste-to-energy (MJ/kg)		> 25	16,1 – 25	11,1 – 16	7 – 11	< 7
22	Persentase energy yang dihasilkan dari limbah perkotaan	(jumlah energi yang dihasilkan dari limbah / jumlah energi yang digunakan dalam kota) x 100	> 10%	5,1 – 10%	1,1 – 5%	0,51 – 1%	≤ 0,5%
	TPA						
23	Persentase limbah yang dibuang di tempat pembuangan terbuka atau pembakaran terbuka		≤ 20%	20,1 – 40%	40,1 – 60%	60,1 – 80%	> 80%
24	Persentase limbah yang dibuang di <i>sanitary landfill</i>		≤ 20%	20,1 – 40%	40,1 – 60%	60,1 – 80%	> 80%

25	Limbah lain yang dibuang di tempat pembuangan campuran (misalnya dar industri, rumah sakit, konstruksi, dll)		Tidak				Ya
26	Biogas yang dikumpulkan dari tempat pembuangan		Ya				Tidak
27	Pengelolaan tempat pembuangan sampah (jauh dari massa air permukaan, jauh dari pusat populasi, tutupan harian, pengelolaan air lindi)		4 faktor	3 faktor	2 faktor	1 faktor	Tidak ada

Sumber : EISaid dan Aghezzaf (2018)

Keterangan :

1 = Sangat Buruk

2 = Buruk

3 = Sedang

4 = Baik

5 = Sangat Baik

Meskipun kumpulan indikator keberlanjutan yang ada saat ini sangat banyak, tetapi tidak semuanya secara spesifik dapat digunakan untuk menilai sistem manajemen limbah. Maka dari itu, ElSaid dan Aghezzaf (2018) mengembangkan sekumpulan indikator keberlanjutan spesifik terhadap sistem manajemen limbah yang kemudian dinamakan *Integrated Solid-Waste Management System* (ISWMS / Indikator Sistem Manajemen Limbah Padat Terpadu). ISWMS terdiri dari 27 indikator yang dapat diklasifikasikan dalam enam kelompok, yaitu umum; pengumpulan dan pemilahan; daur ulang; pengomposan; pemulihan energi; dan TPA. Penjelasan lebih rinci tentang indikator-indikator tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Selain indikatornya, ElSaid dan Aghezzaf (2018) juga telah memberikan kriteria dalam pemberian nilai untuk setiap indikator yang ada. Setiap indikator yang ada dapat diberikan nilai 1 – 5, sehingga nilai maksimal yang dapat diperoleh adalah 135. Dicontohkan dalam artikel tersebut bahwa nilai terendah adalah skenario terburuk dari suatu sistem manajemen limbah, sedangkan nilai tertinggi adalah skenario terbaik.

Pemberian poin pada setiap indikator ini bukanlah sebuah pembobotan, karena setiap indikator yang ada dianggap sama pentingnya. Indikator-indikator yang ada dapat dengan mudah disesuaikan dengan tujuan atau pun wilayah penelitiannya, Langkah pertama untuk mendapatkan SPLP terpadu yang berkelanjutan adalah mengevaluasi kekosongan pada sistem. Pemantauan sistem secara konsisten akan

memfasilitasi identifikasi peluang dan perubahan kebijakan yang diperlukan untuk perencanaan perbaikan sistem itu sendiri (EISaid & Aghezzaf, 2018).

C. Pengumpulan dan Pemilahan

Menurut Guerrero et al., (2013), ada tiga komponen terpenting yang berhubungan dengan pemilahan sampah, yaitu kesadaran, pengetahuan, dan peralatan. Kesadaran masyarakat dan pemimpin daerah akan manfaat pemisahan sampah akan meningkatkan efisiensi. Pemerintah harus memiliki pengetahuan tentang teknologi terbaru dan sesuai untuk program pemilahan sampah di tempatnya, agar dapat mempraktikkan pengelolaan sampah yang baik. Sedangkan ketersediaan peralatan dan mesin untuk mengatur dan mendaur ulang sampah akan menjadi faktor penentu dalam mempromosikan kegiatan pemilahan sampah di tingkat rumah tangga. Jika semua terlaksana, maka rumah tangga akan dapat memisahkan sampah mereka menjadi plastik, kertas, kaca, makanan, logam, baterai, dan barang elektronik bekas.

Pemilahan secara langsung yang dilakukan bersamaan saat proses pengumpulan dari pintu ke pintu sebenarnya juga dapat meningkatkan keberlanjutan dari suatu SPLP (Deus et al., 2020). Walaupun hal ini masih harus diikuti dengan ketersediaan tempat yang berfungsi untuk menyimpan dan memilah limbah yang telah dikumpulkan. Pengembangan proses pengumpulan dan pemilahan yang disertai dengan pemberian pelatihan kepada tenaga pemilah sampah akan meningkatkan kinerja SPLP. Kegiatan bank sampah di Kota Makassar yang memisahkan sampah

rumah tangga menjadi 4 kategori, yaitu plastik, logam, kertas, dan kaca (Haerul, Akib, & Hamdan, 2016), juga sejalan dengan Peraturan Walikota Makassar Nomor 36 Tahun 2018 Tentang Kebijakan dan Strategi dalam Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga (Perwali Makassar Nomor 36 Tahun 2018) yang mengatur kebijakan penanganan sampah berupa pemilahan, pengumpulan, pengangkutan, dan pemrosesan akhir. Pemisahan bahan daur ulang pada sumbernya yang digabungkan dengan penggunaan metode pembuangan saniter dapat memulihkan biaya hingga 155% (Ikhlayel, Higano, Yabar, & Mizunoya, 2016).

D. Daur Ulang

Aspek-aspek terkait pengelolaan limbah yang tepat dan berkelanjutan dalam Agenda 2030 (United Nations, 2015) secara substansial adalah mengurangi timbulan limbah melalui pencegahan, pengurangan, daur ulang, dan penggunaan kembali (Hotta, Visvanathan, Kojima, & Pariatamby, 2016). Hal ini lebih kita kenal dengan istilah 3R (Reduce, Reuse, Recycle).

Menurut Peraturan Menteri Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia Nomor 13 Tahun 2012 Tentang Pedoman Pelaksanaan Reduce, Reuse, dan Recycle Melalui Bank Sampah (Permen LHK Nomor 13 Tahun 2012), kegiatan 3R dapat diartikan sebagai segala aktivitas yang mampu mengurangi segala sesuatu yang dapat menimbulkan sampah, kegiatan penggunaan kembali sampah yang layak pakai untuk fungsi yang sama

atau fungsi yang lain, dan kegiatan mengolah sampah untuk dijadikan produk baru.

Adanya hubungan antara strategi nasional, prioritas kebijakan, dan juga upaya pemerintah dalam promosi 3R akan memberikan kemudahan dalam pengumpulan informasi terkait 3R. Kemudahan ini lebih lanjut akan membuat analisis kinerja 3R menjadi lebih efektif dan dapat dijadikan referensi dalam pengaturan kelembagaan, infrastruktur, teknologi, pelayanan 3R, bahkan penciptaan pasar hasil daur ulang (Hotta et al., 2016).

Permen LHK Nomor 13 Tahun 2012 juga menjelaskan upaya Pemerintah Republik Indonesia dalam pelaksanaan 3R. Pembentukan Bank Sampah memberikan kesempatan bagi pemerintah dan masyarakat untuk berpartisipasi dalam pelaksanaan 3R. Masyarakat berperan dalam hal memilah dan mengumpulkan sampah kepada Bank Sampah, sementara pemerintah kabupaten/kota harus memberikan pendampingan, bantuan teknis, pelatihan, monitoring dan evaluasi, hingga membantu memasarkan hasil kegiatan 3R di Bank Sampah.

Selain itu, sesuai dengan Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 97 Tahun 2017 Tentang Kebijakan dan Strategi Nasional Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Rumah Tangga (Perpres Nomor 97 Tahun 2017), walikota juga harus menyusun Kebijakan dan Strategi Daerah (Jakstrada) terkait pengelolaan sampah rumah tangga dan sejenis sampah rumah tangga. Walikota wajib memantau dan melaporkan pelaksanaan Jakstrada ini dengan indikator penurunan jumlah

timbulan sampah, besaran peningkatan sampah yang terdaur ulang di sumber sampah, dan juga besaran peningkatan jumlah sampah yang termanfaatkan kembali di sumber sampah.

E. Pengomposan

Menurut PP Nomor 81 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Sampah Rumah Tangga dan Sampah Sejenis Sampah Rumah Tangga, bentuk pengolahan sampah meliputi kegiatan pemadatan, pengomposan, daur ulang materi, dan daur ulang energi. Saat ini, teknologi pengomposan dianggap menjadi pilihan yang lebih disukai di banyak negara berkembang dengan alasan biaya investasi dan operasi, persyaratan keahlian ilmiah, dan kompleksitas teknis yang lebih rendah (Wang et al., 2019). Rana et. al., (2019) juga menyimpulkan bahwa skenario SPLP yang melibatkan aktivitas pengomposan akan memberikan efek yang lebih ramah lingkungan.

Pengendalian kondisi untuk pengomposan seperti suhu, kadar air, pasokan oksigen, perbandingan karbon dan nitrogen, pH, dan keterlibatan mikroorganisme secara efektif akan menghasilkan kompos berkualitas tinggi dan menghindari pencemaran lingkungan (Wang et al., 2019). Setiap negara dan wilayah memiliki parameter standar kompos yang berbeda. Hal ini terjadi karena adanya persyaratan dan kendala lokal di masing-masing wilayah, seperti properti tanah, praktik petani, dan ketersediaan input pertanian. Beberapa standar kompos di beberapa negara dapat dilihat pada **Tabel 2** di bawah ini.

Komposisi sampah yang ada TPA Tamangapa periode tahun 2017 – 2018 yang didominasi oleh sampah sisa makanan sebanyak 38,82% (Kementerian LHK Republik Indonesia, 2018a) adalah peluang untuk dapat dimanfaatkan menjadi kompos.

Tabel 2. Standar Kompos di Beberapa Negara dan Wilayah

Parameter	Cina	Eropa	Jepang (kompos hewan)	Hong Kong (penggunaan umum)
pH	5,5 – 8,5	-	7 – 8,5	5,5 – 8,5
Kadar air (%)	≤ 30	< 45	≤ 70	25 – 35
Bahan organik	≥ 45	> 15	≥ 60	> 20
Nutrisi total (N+P+K) (%)	≥ 5,0	-	≥ 3	≥ 4
Cu (mg/kg)	-	≤ 100	-	≤ 700
Zn (mg/kg)	-	≤ 300	-	≤ 1300
As (mg/kg)	≤ 15	≤ 10	≤ 50	≤ 13
Hg (mg/kg)	≤ 2	≤ 1	≤ 2	≤ 1
Pb (mg/kg)	≤ 50	≤ 100	≤ 100	≤ 150
Cd (mg/kg)	≤ 3	≤ 1	≤ 5	≤ 3
Cr (mg/kg)	≤ 150	≤ 100	≤ 500	≤ 210

Sumber :Wang et. al., (2019)

F. Pemulihan Energi

Kemampuan pemulihan energi (*waste to energy*, WTE) telah menjadi indikator yang dapat digunakan untuk menilai suatu SPLP (Cifrian, Andres, & Viguri, 2015; ElSaid & Aghezzaf, 2018). WTE dapat mengurangi jumlah limbah yang ada di TPA dan merubahnya menjadi energi, dan pada saat yang bersamaan hal ini dapat meningkatkan kinerja lingkungan (Cifrian et al., 2015; Dayton & Foust, 2020).

Sejak Juni 2014, Indonesia telah memiliki total unit WTE terpasang dengan volume 93,5 MW dan ditambah dengan 373 MW kapasitas tambahan pada berbagai fase penelitian (Awasthi et al., 2019). Jika

teknologi dan fasilitas ini digunakan, seharusnya kita dapat memanfaatkan $0,5 \times 10^6$ ton/tahun emisi gas metana di TPA Tamangapa (Lando, Nakayama, & Shimaoka, 2017) dan merubahnya menjadi energi terbarukan.

WTE dapat dilakukan dengan berbagai cara. Konsep paling umum adalah menggunakan insenerator yang mengubah limbah menjadi uap. Uap ini kemudian akan menggerakkan turbin yang dapat menghasilkan energi listrik (Rao, Sultana, & Kota, 2017). Sebagai salah satu TPA di Indonesia yang ditunjuk untuk dapat mengolah sampah menjadi listrik melalui PLTSa (Pembangkit Listrik Tenaga Sampah) (Kementerian LHK Republik Indonesia, 2018d), TPA Tamangapa perlu mempertimbangkan untuk melaksanakan hal ini.

WTE adalah alternatif paling ekonomis yang dapat memberikan keuntungan sekaligus melindungi lingkungan dengan mengurangi emisi gas rumah kaca. Pemulihan energi ini dapat dilakukan dengan berbagai macam cara, misalnya pembakaran (insenerasi), pirolisis, konversi biologis (anaerob digestion), atau pun gasifikasi (Awasthi et al., 2019; Dayton & Foust, 2020). Sementara itu, Rao et. al., (2017) menambahkan bahwa pirolisis merupakan salah satu metode paling umum untuk menghasilkan minyak dari limbah organik walaupun memiliki kelemahan karena membutuhkan reaktor tekanan.

Meskipun begitu, keputusan untuk mendirikan pabrik WTE tidaklah mudah. Selain harus ada kepastian bahan baku yang selalu tersedia, pengambil kebijakan juga harus memperhatikan teknologi yang sesuai

dengan komposisi bahan baku yang ada. Jika tidak, biaya pengelolaan bisa meningkat dan merugikan (Hettiarachchi & Kshourad, 2019). Misalnya jika kita melihat dari jumlah kalor yang dihasilkan, pabrik harus dapat menghasilkan 6 – 9 MJ/kg limbah agar dapat menutupi biaya perawatan pabriknya (The World Bank, 1999).

G. Tempat Pemrosesan Akhir

Berdasarkan PP Nomor 81 Tahun 2012, TPA adalah tempat untuk memroses dan mengembalikan sampah ke media lingkungan. Metode pemrosesan sampah yang diperbolehkan adalah metode lahan urug terkendali, metode lahan urug saniter, dan teknologi ramah lingkungan. Lokasi yang dijadikan TPA juga harus memenuhi aspek geologi, hidrogeologi, kemiringan zona, jarak dari lapangan terbang, jarak dari pemukiman, tidak berada di kawasan cagar alam, dan juga bukan merupakan daerah banjir dalam periode ulang 25 tahun.

Secara umum, jenis limbah yang dapat dibuang di TPA perkotaan adalah limbah rumah tangga, limbah komersial, dan limbah tidak berbahaya. Limbah yang akan masuk ke TPA harus diperiksa di pintu masuk, karena jenis limbah yang berbeda akan memerlukan penanganan khusus yang berbeda juga (Berge et al., 2018). Jenis limbah perkotaan bisa berupa limbah rumah tangga, perkantoran dan sekolah, limbah konstruksi, kesehatan, pertanian, industri, dan juga pertokoan (Guerrero et al., 2013).

Berdasarkan data dari Kementerian LHK Republik Indonesia (2018b), TPA Tamangapa telah beroperasi dari tahun 1994 dengan luas 16,86 Ha yang mengelola 1.000 ton sampah per hari. TPA tersebut berjarak

1 km dari perumahan dan 2 km dari badan air. Bau tidak sedap dan masalah air limbah di TPA Tamangapa (Nahrudin, 2016) bisa jadi menjadi akibat dari buruknya pengelolaan limbah yang ada di sana. Seperti yang diungkapkan Berge et al. (2018) bahwa tingginya kadar air dan pengelolaan limbah yang buruk dapat meningkatkan produksi lindi. Produksi lindi memiliki potensi untuk menyebabkan bau tidak sedap, hingga berkurangnya stabilitas fisik TPA dan peningkatan kontaminasi air tanah.

TPA di Kota Makassar sebetulnya dirancang untuk menjadi TPA saniter, tetapi TPA ini masih beroperasi dengan metode pembuangan terbuka (*open dumping*). Pengelolaan sampah di TPA Tamangapa belum dilaksanakan dengan baik, hal ini dapat terlihat dari tidak berfungsinya fasilitas pengolahan lindi dan tidak adanya sistem pengumpulan gas emisi dari sampah di sana (Rahim & Zubair, 2014). Padahal, biogas dari TPA memiliki potensi yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik karena nilai kalornya yang tinggi (Rao et al., 2017).

H. Fishbone Analysis

Diagram tulang ikan memiliki berbagai nama lain, misalnya *Herringbone Diagrams*, *Ishikawa Diagrams*, atau pun diagram sebab akibat. Diagram ini digunakan untuk mengidentifikasi akar penyebab yang paling mungkin menyebabkan masalah. Kemungkinan-kemungkinan yang menjadi kontributor penyebab masalah pada suatu sistem pada diagram ini dicantumkan dalam beberapa kategori atau sub kategori (Nolan, 2015).

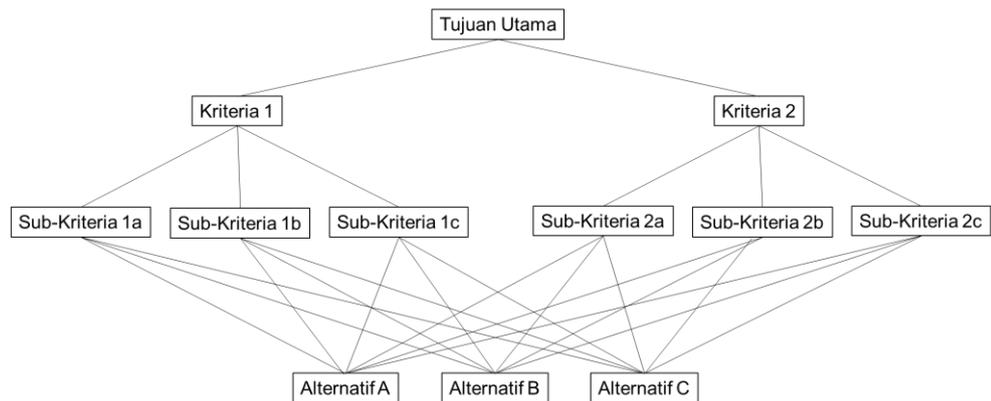
Diagram tulang ikan dapat digunakan sebagai alat untuk menyelesaikan permasalahan pada sistem yang berdampak pada berbagai

aspek. Mwanza dan Mbohwa (2017) menggunakan diagram tulang ikan untuk mengidentifikasi permasalahan utama dalam keberlanjutan pengelolaan sampah plastik di Kitwe, Zambia. Hasil analisis dengan alat ini dapat dilanjutkan hingga memberikan rekomendasi kebijakan untuk mengatasi permasalahan yang berdampak pada aspek ekonomi, lingkungan, dan sosial.

I. Analytic Hierarchy Procces (AHP)

Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh Saaty pada tahun 1972 pada saat mereka harus memberikan penilaian tentang kepentingan relatif dari setiap kriteria dan kemudian menentukan preferensi pada setiap kriteria untuk setiap alternatif keputusan. Menurut Labib (2014), AHP adalah metode pengambilan keputusan multikriteria yang membantu pembuat keputusan menghadapi masalah yang kompleks dengan beragam kriteria yang saling bertentangan dan subjektif. AHP dapat mengakomodasi pandangan sejumlah pembuat keputusan (aktor) dan pertukaran tujuan mereka.

Saaty dan Vargas (2012) menjelaskan bahwa AHP menyediakan matematika secara objektif untuk memproses preferensi subjektif dan personal yang tak terhindarkan dari individu atau pun kelompok untuk membuat keputusan. Seseorang dapat membuat hirarki atau jaringan umpan balik, kemudian membuat penilaian atau melakukan pengukuran pada pasangan elemen sehubungan dengan elemen pengontrol untuk mendapatkan skala rasio yang kemudian disintesis pada seluruh struktur untuk memilih alternatif terbaik.



Gambar 1. Contoh Bagan Hirarki Pengambilan Keputusan dengan Metode AHP
Sumber : Labib (2014)

Saaty (2008) memberikan langkah-langkah untuk membuat keputusan secara terorganisir dengan menggunakan metode AHP, yaitu:

- a. Definisikan masalah dan tentukan jenis solusi yang diinginkan;
- b. Membuat struktur hierarki yang diawali dengan tujuan utama dengan cara membuat tujuan utama sebagai level teratas, kemudian disusun hierarki dibawahnya yaitu kriteria-kriteria yang cocok untuk mempertimbangkan atau menilai alternatif yang kita berikan dan menentukan alternatif tersebut;
- c. Membuat matrik perbandingan berpasangan yang menggambarkan kontribusi relatif atau pengaruh setiap elemen terhadap tujuan atau kriteria yang setingkat di atasnya;
- d. Gunakan prioritas yang diperoleh dari perbandingan untuk menimbang prioritas pada tingkat yang langsung di bawahnya. Lakukan ini untuk setiap elemen. Kemudian untuk

setiap elemen di level di bawah ini, tambahkan nilai-nilai tertimbangannya dan dapatkan prioritas keseluruhan atau globalnya. Lanjutkan proses penimbangan dan penambahan ini sampai prioritas akhir dari alternatif di tingkat terbawah diperoleh.

Sementara Labib (2014) merincikan langkah-langkah metode AHP sebagai berikut:

- a. Menetapkan konteks keputusan
 - i. Menetapkan tujuan *Multi-Criteria Decision Making* (MCDM)
 - ii. Mengidentifikasi pemangku kepentingan utama (pengambil keputusan)
- b. Mengidentifikasi tujuan dan kriteria
 - i. Mengidentifikasi kriteria untuk menilai konsekuensi dari setiap pilihan
 - ii. Atur kinerja dengan clustering, di bawah tujuan tingkat tinggi dan tingkat rendah, dalam hirarki
- c. Mengidentifikasi pilihan yang akan dinilai (alternatif)
- d. *Scoring*, menilai kinerja yang diharapkan dari setiap pilihan terhadap kriteria
 - i. Berikan skor pada pilihan terhadap kriteria
 - ii. Periksa konsistensi skor pada setiap kriteria
- e. Pembobotan, menetapkan bobot untuk masing-masing kriteria untuk mencerminkan kepentingan relatif mereka terhadap keputusan
- f. Gabungkan bobot dan skor setiap pilihan untuk mendapatkan nilai keseluruhan

- i. Hitung skor tertimbang keseluruhan di setiap level dalam hirarki
 - ii. Hitung skor tertimbang keseluruhan
- g. Memeriksa hasilnya
- h. Melakukan analisis sensitivitas
 - i. Lakukan analisis sensitivitas. Apakah preferensi atau bobot lain mempengaruhi pilihan secara keseluruhan?
 - ii. Lihatlah kelebihan dan kekurangan pilihan yang dipilih dan bandingkan dengan pasangan pilihannya
 - iii. Ulangi langkah-langkah di atas hingga model “syarat” terpenuhi

Untuk dapat membandingkan komponen dalam metode AHP, maka diperlukan skala angka yang dapat menunjukkan tingkat kepentingan atau dominan satu elemen dibandingkan elemen lainnya sehubungan dengan kriteria yang digunakan sebagai perbandingan. Saaty (2008) menetapkan skala ini berupa angka 1 – 9 dengan penjelasan sebagai berikut:

Tabel 3. Skala Perbandingan Berpasangan pada AHP

Tingkat Kepentingan	Definisi	Penjelasan
1	Kedua elemen sama pentingnya	Kedua elemen mempunyai pengaruh yang sama terhadap tujuan
3	Elemen yang satu, sedikit lebih penting dari elemen lainnya	Pengalaman dan penilaian sedikit lebih mendukung satu elemen dibandingkan elemen lainnya
5	Elemen yang satu lebih penting daripada yang lainnya	Penilaian dan pengalaman sangat kuat mendukung satu elemen dibandingkan elemen lainnya
7	Elemen yang satu jelas lebih penting daripada elemen yang lainnya	Salah satu elemen sangat didukung dan terlihat dominan dalam praktek

9	Elemen yang satu mutlak lebih penting daripada elemen yang lainnya	Bukti yang mendukung elemen yang satu terhadap elemen lainnya memiliki tingkat penegasan tertinggi
2,4,6,8	Nilai-nilai di antara dua nilai pertimbangan kriteria yang berdekatan	Nilai ini diberikan jika ada kompromi di antara dua pilihan
Kebalikan dari atas	Jika elemen i memiliki salah satu dari nilai-nilai di atas jika dibandingkan dengan elemen j , maka j memiliki nilai timbal balik jika dibandingkan dengan elemen i	

Sumber : Saaty (2008)

Labib (2014) menjelaskan bahwa setelah setiap alternatif dibandingkan satu sama lain, dalam kaitannya dengan kriteria yang ada, maka diperoleh vektor prioritas yang menjadi kolom dari matriks keputusan. Bobot tingkat kepentingan kriteria juga ditentukan menggunakan perbandingan berpasangan. Maka terdapat satu tujuan, sejumlah m kriteria dan n alternatif, pengambil keputusan akan membuat satu matriks ($m \times m$) untuk kriteria dan sejumlah m matriks ($n \times n$). Matriks ($n \times n$) terdiri dari $n(n-1)/2$ perbandingan berpasangan antara setiap alternatif. Pada akhirnya, akan diperoleh matriks keputusan, suatu prioritas akhir dari alternatif yang dinilai berdasarkan semua kriteria, dilambangkan dengan A_{AHP}^i , ditentukan dengan rumus:

$$A_{AHP}^i = \sum_{j=1}^n a_{ij}w_j \text{ di mana } i = 1, 2, 3, \dots, m$$

Masalah yang biasanya muncul dalam penggunaan metode AHP adalah kemungkinan terjadinya perbandingan berpasangan yang tidak konsisten, terutama dengan jumlah pengambil keputusan yang banyak. Tetapi, perbandingan berpasangan dalam matriks penilaian dianggap

memadai jika menghasilkan *consistency ratio* (CR) yang kurang dari 10% (Labib, 2014).

J. Penelitian Terdahulu

Berdasarkan kajian dari penelitian terdahulu, diperoleh informasi bahwa pengelolaan sampah yang terintegrasi akan mendukung sistem pengelolaan sampah menjadi berkelanjutan (Puspa, 2017). Pemilahan sampah yang dilaksanakan langsung pada sumbernya dapat meningkatkan peningkatan jumlah sampah yang didaur ulang hingga 33,5% (Ikhlayel et al., 2016). Skenario *WtE* menjadi prioritas perubahan sistem pengelolaan limbah padat (Tsydenova, Vázquez Morillas, & Cruz Salas, 2018). Hal ini karena penggunaan TPA saniter dengan teknologi untuk mengubah sampah menjadi energi dapat mengurangi emisi gas rumah kaca hingga sebesar 80% (Ikhlayel et al., 2016). Indikator lainnya dapat digunakan untuk menilai kinerja SPLP, seperti yang dikembangkan oleh Ibáñez-Forés et. al., (2019), tetapi ini hanya menilai aspek sosialnya saja. Selain itu, kesulitan yang timbul dalam menilai kinerja sistem pengelolaan di kota dengan penghasilan menengah ke bawah adalah kurangnya data yang tersedia (Oduro-Appiah et al., 2017).

Beberapa penelitian sebelumnya terkait evaluasi SPLP dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Penelitian Terdahulu Terkait Evaluasi SPLP

No	Nama Peneliti (Tahun publikasi)	Judul	Tujuan	Metode Analisis	Hasil
1	(Puspa, 2017)	Kajian Konsep Pengelolaan Sampah yang Terintegrasi Untuk Mendukung Pengelolaan Sampah yang Berkelanjutan di Kota Pekanbaru	memberikan dukungan pembangunan berkelanjutan melalui pengelolaan sampah yang berkelanjutan dengan merumuskan sistem pengelolaan sampah yang terintegrasi di Kota Pekanbaru	<ul style="list-style-type: none"> - Identifikasi pengetahuan dan peran serta masyarakat dalam mendukung pengelolaan sampah di Pekanbaru dengan metode <i>Waste Hierarchy Principles</i> berdasarkan pilar pembangunan berkelanjutan - Identifikasi pengelolaan sampah yang terintegrasi di Pekanbaru dengan metode <i>Life Cycle Inventory</i> 	<ul style="list-style-type: none"> - Pengetahuan masyarakat tinggi namun tingkat partisipasi dalam hal pengelolaan sampah sangat rendah - Pengelolaan sampah yang terintegrasi akan mendukung pengelolaan sampah yang berkelanjutan
2	(Ibáñez-Forés et al., 2019)	Assessing the social performance of municipal solid waste management systems in	Menganalisis kinerja sosial dari sistem manajemen limbah padat perkotaan di negara-negara berkembang, sebagai contoh studi	Menggunakan 22 indikator sosial yang terbagi dalam 12 kategori dampak sosial yang telah dikembangkan	<ul style="list-style-type: none"> - Metodologi yang diusulkan dapat digunakan untuk menilai kinerja sosial sistem manajemen limbah padat perkotaan di negara-negara berkembang.

developing
countries:
Proposal of
indicators and a
case study

kasus di Kota João
Pessoa, Brasil

- Kinerja sosial dari sistem manajemen limbah padat di Kota João Pessoa dianalisis. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem manajemen limbah padat perkotaan di sana masih memiliki ruang untuk perbaikan dari sudut pandang sosial.
- Indikator sosial yang berkinerja lebih baik adalah "Jam kerja " dan "Kondisi hidup yang aman dan sehat", diikuti oleh "Kepuasan warga negara". Indikator sosial yang berkinerja terburuk adalah "Peraturan Perburuhan" dan "Gaji yang adil", diikuti oleh "Karakteristik sosial populasi" dan "Pekerjaan legal dengan tunjangan / keamanan sosial".
- Penerapan metodologi yang diusulkan pada studi kasus menyoroti perlunya pekerja limbah yang menerima pelatihan sebelumnya dalam aspek-aspek seperti penyakit akibat kerja, keselamatan kerja, tindakan kesehatan, dan lain-lain.

3	(Rigamonti et al., 2016)	Integrated municipal waste management systems: An indicator to assess their environmental and economic sustainability	Menetapkan indikator yang jelas dan komprehensif untuk mengevaluasi kelestarian lingkungan dan ekonomi dari sistem manajemen limbah padat perkotaan terintegrasi yang sudah diterapkan	<ul style="list-style-type: none"> - Membuat paduan indikator yang terdiri dari tiga indikator individu, yaitu indikator pemulihan energi (ERI), indikator pemulihan material (MRI), dan indikator biaya (CI). - Menguji indikator yang telah dikembangkan di empat provinsi di Italia, yaitu Milano, Bergamo, Pavia, dan Mantova 	<ul style="list-style-type: none"> - ERI dan MRI dapat digunakan untuk menilai kinerja lingkungan, sedangkan CI untuk kinerja ekonomi. - Paduan indikator yang dibuat dapat digunakan untuk membandingkan sistem manajemen limbah padat perkotaan yang berbeda dan memonitor kinerja sistem tersebut dari waktu ke waktu
4	(Oduro-Appiah et al., 2017)	Assessment of the municipal solid waste management system in Accra, Ghana: A 'Wasteaware' benchmark indicator approach	Menilai kinerja kota Accra, Ghana, dalam pengelolaan limbah padat kota sebagaimana didefinisikan oleh kerangka kerja pengelolaan limbah berkelanjutan yang terintegrasi	<ul style="list-style-type: none"> - Metode partisipatori berdasarkan konsep pengelolaan limbah padat terintegrasi (ISWM) untuk meningkatkan kinerja limbah padat perkotaan di Accra - Perencanaan partisipatori melibatkan 37 perwakilan dari 24 pemangku kepentingan terkait 	Kinerja Accra lebih buruk daripada Maputo yang berpenghasilan rendah, dan Lahore yang berpenghasilan menengah ke bawah, di semua set indikator dengan pengecualian untuk kontrol lingkungan, kualitas 3R dan kecukupan kerangka kerja pengelolaan limbah padat nasional, tetapi bahkan skor ini pun rendah mengingat Kekuatan ekonomi Ghana.

				yang dibagi, untuk keperluan penilaian, menjadi tiga kelompok kerja: pengumpulan dan keberlanjutan keuangan; pembuangan, perawatan dan daur ulang; dan kebijakan dan institusi.	
				- Menggunakan indikator “wasteaware” (sadar limbah) yang terdiri dari 12 indikator untuk membandingkan kinerja Kota Accra dengan kota-kota berprestasi menengah ke bawah lainnya	
5	(Deus et al., 2020)	A municipal solid waste indicator for environmental impact: Assessment and identification of best management practices	Mengembangkan indikator agregat untuk menilai dampak lingkungan dari pengelolaan limbah padat kota di kota-kota kecil di negara bagian Sao	Terdiri dari 5 tahapan, yaitu:	<ul style="list-style-type: none"> - Kombinasi indikator yang digunakan sebelumnya menghasilkan indikator agregat untuk penilaian lingkungan - Ditemukan 20 kota-kota terbaik berdasarkan indikator laju
				- Memilih 150 kota di negara bagian Sao Paulo	
				- Pengumpulan data, meliputi : (i) Komposisi umum gravimetri dari	

Paulo, Brasil. Selain itu, juga untuk menciptakan klasifikasi kota-kota yang dipertimbangkan untuk mengidentifikasi praktik manajemen terbaik

limbah padat perkotaan; (ii) Jumlah total setiap jenis limbah yang ditujukan untuk daur ulang, pengomposan, dan pembakaran; dan (III) Total jarak yang ditempuh limbah ke tempat pembuangan sampah, pengomposan, dan daur ulang

- Menghitung emisi gas CO₂ dan konsumsi energi dengan metode Waste Reduction Model (WARM)
- Analisis hasil metode WARM
- Mengembangkan indikator agregat dan membandingkan kota-kota untuk menganalisa praktik pengelolaan limbah

timbulah sampah, emisi CO₂, dan konsumsi energi.

6	(Ikhlal et al., 2016)	Introducing an Integrated Municipal Solid Waste Management System: Assessment in Jordan	Mengidentifikasi alternatif paling ramah lingkungan dan ekonomis untuk SPLP di Yordania	<ul style="list-style-type: none"> - Merancang model skenario SPLP perkotaan, meningkatkan kondisi saat ini secara bertahap dengan pemanfaatan teknologi canggih - Menggunakan metode <i>Life Cycle Assessment</i> (LCA) untuk memperkirakan dampak lingkungan dari setiap skenario limbah padat perkotaan yang diusulkan. - Membandingkan kinerja ekonomi masing-masing skenario dengan menghitung biaya pemulihan dan biaya total 	Studi ini menunjukkan bahwa skenario tersebut mencakup 28% bahan kering yang dapat didaur ulang melalui fasilitas daur ulang dan tempat pembuangan akhir saniter dengan pemulihan energi, sisanya mengurangi emisi gas rumah kaca sebesar 80%. Ini memulihkan 155% dari biaya, sementara pemulihan biaya saat ini adalah 55,6%. Studi ini mengungkapkan bahwa jumlah bahan daur ulang dapat ditingkatkan sebesar 33,5% jika pemisahan limbah dilakukan di sumbernya.
7	(Tsydenova et al., 2018)	Sustainability Assessment of Waste Management	Membandingkan sistem yang diusulkan dengan tiga alternatif:	<ul style="list-style-type: none"> - Menggunakan metode <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP) untuk memilih skenario 	<ul style="list-style-type: none"> - Skenario yang berhubungan dengan <i>waste to energy</i> adalah prioritas pertama dengan persentase 30,78%.

System for Mexico City (Mexico)—
Based on Analytic Hierarchy Process

skenario dasar dengan pengomposan organik; skenario yang melibatkan pencernaan anaerobik organik; dan skenario perawatan mekanis-biologis tanpa pemisahan sumber.

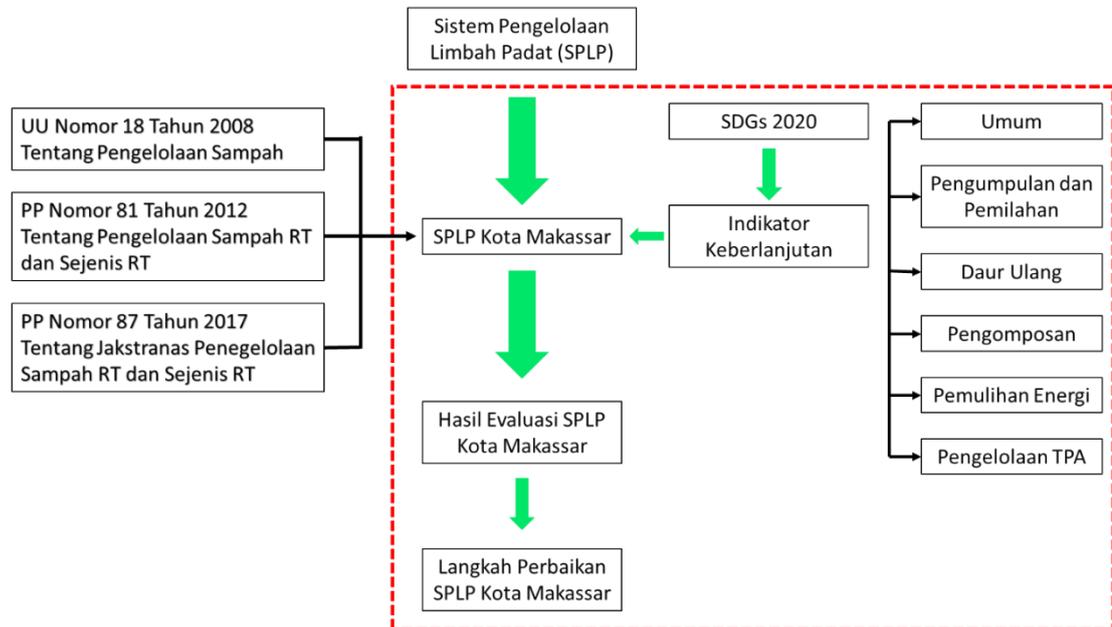
terbaik berdasarkan indikator lingkungan, sosial, dan ekonomi

- Skenario teknis yang digunakan adalah (1) penimbunan dan pengomposan, (2) pencernaan anaerob, (3) perlakuan mekanis-biologis dengan pengomposan sebagai tahap biologis, dan (4) pembakaran.

- Hasil ini mengkonfirmasi bahwa keputusan yang diambil oleh pemerintah Mexico City untuk memperkenalkan pembakaran limbah dinilai berkelanjutan dari aspek lingkungan, ekonomi, dan sosial.
-

K. Kerangka Konseptual

Kerangka konseptual penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 2** berikut ini.



Keterangan: ruang lingkup penelitian

Gambar 2. Kerangka Konseptual Penelitian