

Simulasi Berbasis Agen pada Perilaku Pembuangan Sampah Rumah Tangga: Tinjauan Pustaka Sistematis

Deta Handy Prasetyo¹, Anna Maria Sri Asih²

^{1,2}Departemen Teknik Mesin dan Industri, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

[1detahandyprasetyo@mail.ugm.ac.id](mailto:detahandyprasetyo@mail.ugm.ac.id), [2amsriasih@ugm.ac.id](mailto:amsriasih@ugm.ac.id)

Abstrak— Produksi sampah yang meningkat secara global telah menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan yang memerlukan perhatian serius dalam pengelolaannya. Pembuatan dan penerapan kebijakan terkait pengelolaan sampah harus dilakukan secara sistematis dan terstruktur untuk menghindari pendekatan trial and error yang tidak efisien dari segi biaya dan waktu. Dalam konteks ini, model simulasi, khususnya *agent-based modelling* (ABM), menjadi alat yang penting dalam membantu pengambilan keputusan terkait kebijakan pengelolaan sampah. ABM memungkinkan pengujian berbagai skenario pada model yang dibangun berdasarkan sistem nyata, yang dapat mereplika interaksi kompleks antara agen-agen yang terlibat seperti penduduk, pemerintah, dan perusahaan pengelola sampah. Dengan mempertimbangkan variabilitas perilaku manusia dan adaptabilitasnya terhadap kebijakan, ABM menawarkan pendekatan yang lebih terukur dan dapat disesuaikan dengan kondisi spesifik di berbagai wilayah. Penelitian ini meninjau 15 artikel terkait simulasi ABM pada perilaku rumah tangga menangani sampah, terdapat berbagai macam agen yang dimodelkan dimana rumah tangga sebagai agen utama dengan agen lain yang terlibat. Teori perilaku juga digunakan sebagai landasan untuk memahami faktor yang dipertimbangkan untuk memutuskan perilaku, selain itu terdapat model konseptual dan skenario yang bervariasi yang dapat dibuat dan dikembangkan sesuai dengan kondisi wilayah yang ingin disimulasikan.

Kata Kunci—*agent based modeling and simulation, household waste, systematic literature review*

I. PENDAHULUAN

Sistem pengelolaan limbah padat perkotaan atau *Municipal Solid Waste Management System* (MSWS) berada di bawah tekanan yang sangat besar dan Departemen Pembangunan Perkotaan Bank Dunia mengeluarkan peringatan bahwa anggaran komunal akan habis secara alamiah untuk digunakan dalam pengelolaan limbah [1]. Tidak hanya perlu bergerak menuju ekonomi sirkular, mengurangi konsumsi sumber daya, dan mengatasi polusi global, tetapi juga penanggulangan dan pengurangan limbah dalam hal apa pun, namun juga harus menerapkan layanan dan kebijakan yang sejalan dengan perubahan budaya dan perilaku dalam mengelola limbah. Perserikatan Bangsa-Bangsa memperkirakan bahwa 68% populasi dunia akan tinggal di kota pada tahun 2050 dan ini akan mengakibatkan pertumbuhan sampah perkotaan yang merupakan masalah global kritis karena menimbulkan ancaman bagi kesehatan manusia dan lingkungan jika tidak ditangani dengan baik dan benar [2]. Hal yang dapat ditimbulkan termasuk emisi yang berasal dari limbah penguraian sampah di TPA dan fakta bahwa TPA sudah penuh [3]. Di seluruh dunia, rumah tangga menghasilkan sampah paling banyak. Oleh karena itu, pembuangan sampah rumah tangga yang tepat sangat penting untuk mencapai lingkungan yang berkualitas baik dan berkelanjutan. Penerapan strategi yang baik dan tepat dalam pengelolaan sampah rumah tangga dapat mengurangi sampah yang menuju TPA dan meningkatkan bahan yang dapat didaur ulang [4]. Menurut [5], di China sampah rumah tangga menyumbang kurang lebih 67% dari total sampah perkotaan yang ada, sedangkan di Indonesia sampah rumah tangga menyumbang sebesar 44,39% dari keseluruhan total sampah nasional [6], hal ini juga menjadikan sampah rumah tangga menjadi kontributor polusi lingkungan terbesar di seluruh negara [7].

Individu seringkali lebih-lebihkan niat mereka untuk melakukan pemilahan sampah tetapi gagal dalam melakukan secara nyata praktik pemilahan sampah dengan perilaku mereka [8], kesenjangan ini yaitu antara niat dan perilaku yang dihasilkan disebut *intention-behavior gap* sebuah hal yang menarik dan sering diamati dalam *sustainable goals* [9]. Pemilahan sampah di tingkat rumah tangga dapat mendorong pengelolaan sampah yang berkelanjutan, namun meski pemerintah melakukan upaya seperti penerapan kebijakan untuk mendorong rumah tangga melakukan pemilahan adopsi dan praktik rumah tangga dalam melakukan pemilahan masih pada tahap awal [10]. Hal ini menjadi topik penelitian yang menarik yaitu meneliti faktor-faktor apa saja yang mempengaruhi rumah tangga untuk mau melakukan pemilahan, dimana faktor-faktor yang diteliti muncul baik menggunakan pendekatan teori perilaku seperti *Theory of Planned Behaviour*, *Norm Activation Model* dan teori perilaku yang lain serta faktor yang muncul secara heuristik. Mengetahui faktor-faktor yang dapat mendorong rumah tangga melakukan pemilahan menjadi penting, agar pembuat kebijakan dapat mendesain sebuah aturan yang dapat secara signifikan mendorong rumah tangga melakukan kegiatan pemilahan, karena kenyataannya tidak semua rumah tangga menindaklanjuti pemilahan meskipun memiliki niat baik untuk melakukannya [11].

Pengelolaan sampah rumah tangga telah diteliti secara ekstensif dengan berbasis skenario, dimana skenario yang dibangun tentunya berdasarkan strategi yang akan diterapkan di dunia nyata. Salah satu metode yang banyak telah digunakan untuk mencoba skenario yang memberikan hasil optimal ialah metode simulasi, dimana metode ini memungkinkan untuk melakukan eksperimen berulang kali pada sebuah system sesuai dengan kondisi nyata [12]. Salah satu metode simulasi yang dapat digunakan ialah *Agent Based Modelling*, dimana digunakan oleh [13] untuk digunakan sebagai simulasi dari perilaku manajemen sampah rumah tangga. Menurut [14] ABM merupakan pendekatan yang efektif untuk mensimulasikan perilaku individu yang acak dan sistem yang kompleks, selain itu pendekatan ini juga banyak digunakan karena dapat mengakomodasi perubahan atau adaptasi dari agen lalu memberikan output yang berbeda dari input parameter yang berbeda. Oleh sebab itu, penelitian ini menyajikan tinjauan pustaka dari penelitian-penelitian terdahulu mengenai simulasi menggunakan ABM pada pengelolaan sampah rumah tangga, dengan tujuan

untuk mengumpulkan dan merangkum informasi dari penelitian yang ada sehingga diharapkan dapat membantu penelitian masa depan terkait bagian yang dapat ditingkatkan dari penelitian yang telah dilakukan.

II. METODE YANG DIGUNAKAN

Penelitian ini merupakan tinjauan literatur sistematis (*systematic literature review*) dengan pedoman PRISMA, dimana pedoman ini telah banyak digunakan dan dapat membantu dalam penyusunan tinjauan literatur sistematis dari berbagai jenis penelitian dan dikhususkan yang berfokus pada evaluasi intervensi [15].

A. Strategi Pencarian Jurnal

Literatur yang diteliti berasal dari database *Scopus*, hal ini didasari karena *Scopus* memiliki kualitas jurnal yang baik serta ketersediaan jurnal-jurnal terbaru. Penelitian ini menggunakan *Publish or Perish* sebagai *Search Engine* dan menggunakan keyword “*Agent Based Modelling and Simulation*” dan “*Household Waste*”.

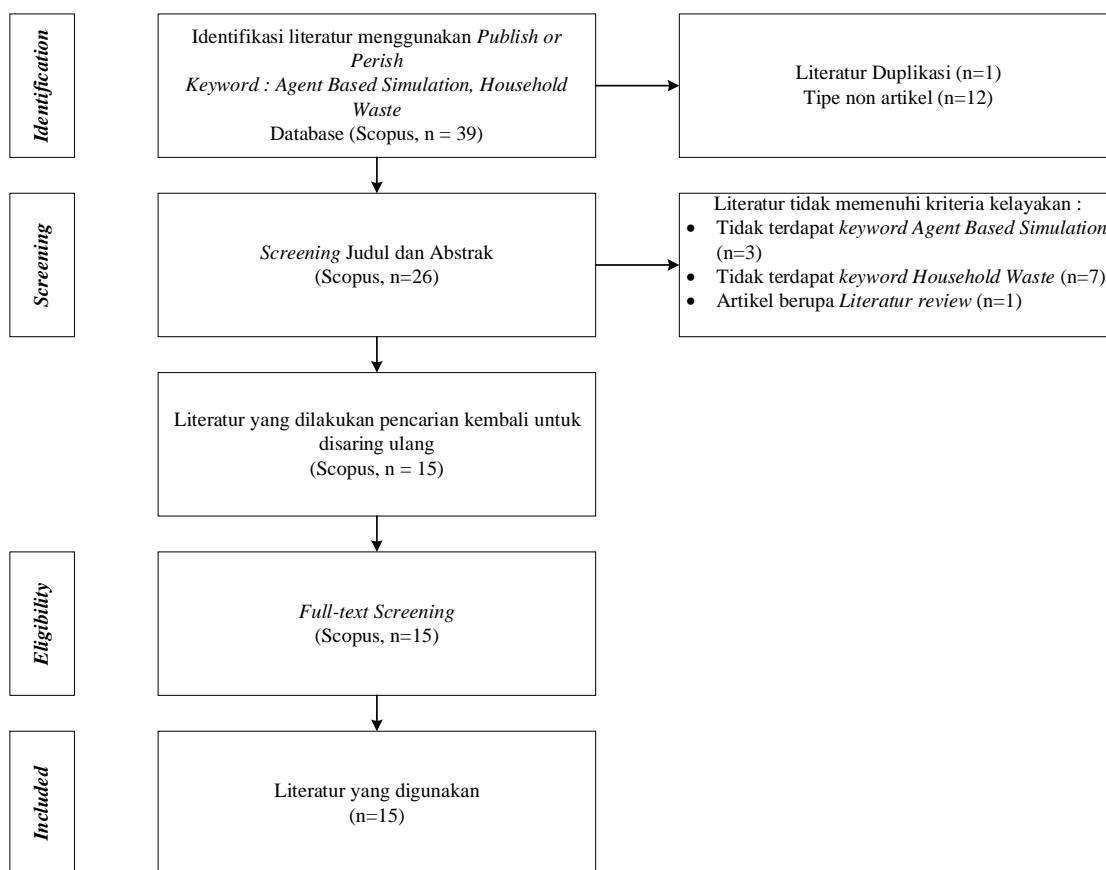
B. Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Kriteria inklusi yang digunakan dalam penelitian tinjauan literatur sistematis ini ialah artikel pada database *Scopus* yang menggunakan metode *Agent Based Modelling and Simulation* dengan objek *Household Waste*, artikel yang digunakan tidak dibatasi oleh tahun publikasi dikarenakan memang masih sedikit penelitian dengan kriteria yang disebutkan. Lalu, kriteria eksklusi yang digunakan adalah artikel yang bersifat laporan, tinjauan literatur dan bertipe non artikel.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Tahap awal yaitu identifikasi yang dilakukan pada database *Scopus* dengan tools *Publish or Perish* menggunakan keyword “*Agent Based Simulation*” dan “*Household Waste*” menghasilkan 39 penelitian, dimana dilakukan penyaringan terhadap artikel duplikasi dan tipe penelitian yang bukan artikel. Selanjutnya, terdapat 26 artikel yang dilakukan proses screening dan dilakukan penyaringan kriteria kelayakan berdasarkan ketersediaan keyword yang sesuai pada abstrak. Pada tahap selanjutnya, terdapat 15 artikel yang layak untuk dilakukan *Full-text Screening* dan 15 artikel [16] – [30] digunakan sebagai tinjauan literatur sistematis.



Gambar 1. Diagram Alur PRISMA.

Pengembangan model simulasi menggunakan ABM memerlukan sebuah kerangka model konseptual, dimana ini digunakan sebagai penggambaran replika yang dikembangkan untuk dapat menyerupai sistem nyata, dimana di dalamnya terdapat agen atau individu yang disimulasikan serta atribut yang melekat pada agen tersebut [12]. Selain itu, salah satu tujuan model simulasi dibuat ialah untuk mencoba atau menguji berbagai skenario serta menilainya untuk mengetahui mana yang menghasilkan dampak optimal dan dapat menjadi pertimbangan sebelum sebuah kebijakan diterapkan dalam realita, sehingga berikut merupakan hasil penyaringan dari literatur yang digunakan:

Tabel 1. Literatur hasil Tinjauan Sistematis

No	Artikel	Model Konseptual	Skenario
1	[16]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Agen rumah yang menghasilkan limbah. 2. Agen tempat daur ulang dan pemulung yang mengumpulkan bahan yang dapat didaur ulang. 3. Agen departemen kebersihan yang bertanggung jawab atas pengumpulan dan pembuangan sampah kota. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Bisnis Seperti Biasa (<i>Bussiness As Usual</i>): Biaya tarif tetap standar. 2. Skenario 1: Biaya spesifik untuk semua limbah yang dibuang. 3. Skenario 2: Biaya khusus untuk limbah yang tidak diklasifikasikan
2	[17]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Penghasil Sampah Makanan: Menghasilkan sampah dan memutuskan ke mana akan mengirimnya (komposter, pabrik AD, atau TPA). 2. Pengompos: Fasilitas tempat sampah organik terurai secara aerobik di lingkungan yang terkendali. 3. Instalasi Penguraian Anaerobik (AD): Fasilitas tempat sampah organik terurai secara anaerobik untuk menghasilkan metana, yang dapat digunakan sebagai bahan bakar terbarukan atau untuk menghasilkan listrik. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Penerapan pajak TPA 2. Skenario 2 : ROC (memberikan insentif bagi pendirian pabrik <i>Anaerobic Digestion</i>)
3	[18]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsumen (rumah tangga) mengubah perilaku dalam mendaur ulang. 2. Pemerintah lokal memantau dan menyesuaikan kebijakan berdasarkan perilaku konsumen. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Pemberian insentif bagi rumah tangga yang memilah sampah 2. Skenario 2 : Ketersediaan fasilitas untuk menyerahkan sampah hasil pilahan
4	[19]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga menjadi bagian penting dalam model, dimana terdapat 4 karakteristik atau jenis dari rumah tangga dalam memilih opsi untuk bagaimana mendaur ulang 2. Recycler, agen ini memproyeksikan keadaan pada kondisi nyata, dimana terdapat 4 pihak yang mendaur ulang yaitu kolektor individu, perusahaan pemerintah atau pihak ketiga, perusahaan produsen peralatan dan perusahaan daur ulang online 3. Pemerintah sebagai agen yang merancang sebuah kebijakan 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1: Memperkuat Publisitas dan Pendidikan 2. Skenario 2: Menyempurnakan Hukum dan Peraturan 3. Skenario 3 : Memperkenalkan mekanisme penghargaan dan hukuman untuk memberi insentif pada daur ulang formal dan menghukum pembuangan ilegal. 4. Skenario 4 : Meningkatkan Subsidi untuk Pendaur Ulang Formal 5. Skenario 5 : Mengurangi PPN untuk Pendaur Ulang
5	[20]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah membuat kebijakan terkait daur ulang sampah rumah tangga. 2. Rumah tangga mengikuti atau tidak mengikuti kebijakan tersebut. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Pajak Bayar Sesuai Buang (PAYT) bagi rumah tangga dalam membuang sampah 2. Skenario 2 : Kebijakan Informasi terkait pengelolaan sampah untuk rumah tangga
6	[21]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga dikelompokana menjadi 3 tipe dalam memutuskan perilaku pengelolaan sampah, Rumah tangga konservatif tidak peka terhadap lingkungan sekitar dan cenderung membuat keputusan yang independent. Rumah tangga yang netral memiliki rasionalitas terbatas dan dapat sedikit terpengaruh oleh lingkungan sekitarnya. Rumah tangga adaptif terhadap lingkungan sekitar dan cenderung meniru keputusan individu dengan tingkat utilitas tinggi yang mudah diubah 2. Formal Recycler sebagai agen daur ulang yang dibawai oleh pemerintah sehingga sistem pengelolaannya sesuai SOP 3. Informal Recycler sebagai agen daur ulang yang dikelola oleh perorangan dan tidak selalu memntahui SOP yang diterapkan pemerintah dalam proses pengelolaan sampah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Keuntungan Ekonomi bagi rumah tangga yang mau memilah sampah 2. Skenario 2 : Subsidi Pemerintah yang diberikan kepada rumah tangga agar mau memilah sampahnya 3. Skenario 3 : Biaya Waktu pada mode pengelolaan sampah secara formal atau informal 4. Skenario 4 : Biaya lingkungan pada mode pengelolaan sampah secara formal dan informal 5. Skenario 5 : Pengaruh komunikasi diskusi grup dalam mempengaruhi niat rumah tangga dalam memilah sampah
7	[22]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga adalah agen utama yang membuat keputusan terkait pengelolaan sampah mereka. 2. Pemerintah lokal membuat kebijakan dan regulasi, sementara 3. Pekerja sanitasi bertanggung jawab atas pengumpulan dan pengolahan sampah. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Stagnation (ST) atau kondisi stagnan pada total sampah yang dihasilkan dan sampah yang di daur ulang 2. Skenario 2 : Slow Recovery (SR) atau kondisi pemulihan yang lambat terhadap sampah yang didaur ulang terhadap sampah keseluruhan yang dihasilkan 3. Skenario 3 : Growth Resumption (GR) atau pertumbuhan kembali pada sampah yang didaur ulang terhadap total sampah yang dihasilkan

			4. Skenario 4 : Acceleration (AC) atau kondisi percepatan pada sampah yang didaur ulang pada total sampah yang dihasilkan
8	[23]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga menjadi agen yang dibedakan menjadi 3 kategori berdasarkan perilaku dalam memilih cara memilah sampah yaitu, tidak memilah, memilah lalu menjual ke formal recycler dan memilah lalu menjual ke informal recycler atau pengepul 2. Formal Recycler sebagai agen daur ulang yang dibawai oleh pemerintah sehingga sistem pengelolaannya sesuai SOP 3. Informal Recycler sebagai agen daur ulang yang dikelola oleh perorangan dan tidak selalu mematuhi SOP yang diterapkan pemerintah dalam proses pengelolaan sampah 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Kebijakan Tunggal - Subsidi Pemerintah untuk rumah tangga yang mau memilah sampah 2. Skenario 2 : Kebijakan Tunggal - Peraturan Pemerintah dengan kebijakan terkait pengelolaan sampah yang mengikat 3. Skenario 3 : Kebijakan Gabungan (Subsidi dan Regulasi)
9	[24]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga menjadi agen utama dalam berperilaku mengelola sampah, dimana perilaku pembuangan dipengaruhi oleh faktor-faktor dengan menggunakan pendekatan <i>Theory of Planned Behaviour</i> (TPB) dan <i>Theory of Reasoned Action</i> (TRA). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Meningkatkan pemahaman interaksi dan informasi 2. Skenario 2 : Pengaruh Insentif Ekonomi 3. Skenario 3 : Kepuasan Spiritual (pengakuan publik atau insentif moral) 4. Skenario 4 : Pengaruh opini tokoh masyarakat dan media
10	[25]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga memutuskan perilaku untuk mendaur ulang berdasarkan variable pada teori perilaku <i>Theory of Planned Behaviour</i> (TPB). 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Kebijakan berdasarkan norma sosial dan pengaruh tetangga sekitar pada kondisi sampah yang normal 2. Skenario 2 : Kebijakan berdasarkan norma sosial dan pengaruh tetangga sekitar pada kondisi sampah yang kritis atau ekstrim
11	[26]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Pemerintah lokal mengatur dan memberikan insentif untuk daur ulang sampah. 2. Perusahaan memutuskan antara pembuangan sampah secara legal atau ilegal. 3. Rumah tangga memutuskan apakah akan ikut serta dalam pemilahan sampah yang benar 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Pendapatan keuntungan yang lebih besar dari biaya yang dikeluarkan oleh rumah tangga dan pemerintah 2. Skenario 2 : Biaya yang dikeluarkan lebih besar dari keuntungan yang didapatkan oleh rumah tangga namun masih menguntungkan untuk pemerintah 3. Skenario 3 : Pendapatan rumah tangga dan pemerintah lebih kecil dari biaya yang dikeluarkan
12	[27]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga sebagai agen yang dikelompokkan berdasarkan usia, antar muda dan tua dalam menghasilkan dan mendaur ulang sampah yang dihasilkan dimana terdapat pengaruh jaringan sosial dalam memutuskan perilaku yang timbul. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1: Orang Dewasa vs Konsumen Muda. Skenario ini meneliti interaksi antara dua kelompok sosio-demografis dengan perilaku dan pendapat tentang sampah makanan yang berbeda: 2. Skenario 2: Konsumen yang Berkomitmen vs Konsumen Biasa
13	[28]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Konsumen (rumah tangga) bertanggung jawab atas pemilahan sampah. 2. Perusahaan daur ulang memproses sampah yang telah dipilah. 3. Pemerintah menetapkan regulasi dan insentif untuk mendukung proses daur ulang 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : (BAU) kondisi seperti realita dengan tidak ada kebijakan baru 2. Skenario 2 : Peningkatan Fasilitas Cerdas untuk meningkatkan kemauan rumah tangga dalam memilah 3. Skenario 3 : Berorientasi pada layanan yang ditingkatkan berdasarkan system informal dengan adanya insentif 4. Skenario 4 : Berbasis Norma atau sistem sosial yang diharapkan
14	[29]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga sebagai agen yang digolongkan menjadi 3 kategori berdasarkan lokasi geografisnya, dimana terdapat 2 sistem pengelolaan sampah dan agen rumah tangga dapat memilih dari opsi pengelolaan sampah yang ada. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Pengangkutan sampah dari rumah ke rumah 2. Skenario 2 : Fasilitas pemilahan sampah tetap 3. Skenario 3 : Kebijakan komunitas yang terintegrasi
15	[30]	<ol style="list-style-type: none"> 1. Rumah tangga: Setiap rumah tangga dimodelkan sebagai agen individu 2. Truk dan Rute Pengumpulan: Meskipun bukan agen tradisional, truk dan rute dimodelkan untuk mensimulasikan proses pengumpulan dan menghubungkannya dengan data rumah tangga 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Skenario 1 : Insentif Ekonomi. 2. Skenario 2 : Meningkatkan pengetahuan masyarakat tentang pentingnya pengurangan dan daur ulang sampah melalui program pendidikan dan kampanye. 3. Skenario 3 : Menerapkan peraturan dan kebijakan yang lebih ketat untuk mendorong pengurangan sampah dan pembuangan yang tepat. 4. Skenario 4 : Memanfaatkan teknologi canggih seperti tempat sampah pintar yang dilengkapi dengan sensor untuk memantau tingkat sampah secara real-time.

B. Pembahasan

Simulasi berbasis agen (ABM) menjadi salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengetahui output sebuah sistem yang dipengaruhi oleh input dari struktur sistem realita yang mengakomodasi perilaku dari manusia, ini dapat membantu pengambilan keputusan dalam hal ini terkait kebijakan untuk mengatasi permasalahan sampah rumah tangga yang terdapat

pengaruh dari perilaku rumah tangga dalam memilih pengelolaan sampah. Keuntungan dari melakukan model simulasi ialah dapat mengetahui kebijakan apa yang optimal tanpa perlu mencoba pada sistem nyata sehingga akan memberikan efisiensi waktu maupun biaya karena dapat diujikan pada model sistem yang direplika mirip sistem nyata. Namun, hal yang perlu diperhatikan ialah menentukan model konseptual dan agen yang terlibat.

1. Model konseptual

Literatur yang digunakan dibatasi oleh objek *Household waste*, sehingga agen utama yang terdapat dari seluruh artikel yang digunakan ialah rumah tangga, namun terdapat variasi dari agen lain yang terlibat tergantung dari tujuan model itu dibuat. Terdapat penelitian dimana agen yang ada di dalam model ialah rumah tangga dengan fasilitas-fasilitas pengelolaan sampah [16], [17], [24]. Selain itu terdapat model yang fokus terhadap rumah tangga sebagai agen utamanya dengan perilaku yang dimiliki agen tersebut, sehingga skenario yang dibangun ialah mendorong agen melakukan pemilahan sampah berdasarkan dari perilakunya.

2. Skenario

Penelitian yang berbasis pemodelan sistem yang dalam hal ini model simulasi belum selesai ketika model sudah selesai dibuat dan sudah valid, namun dapat dikatakan selesai ketika telah mencoba skenario-skenario perbaikan yang dapat ditarik kesimpulannya untuk diterapkan pada realita. Berbagai model skenario telah dicoba berdasarkan artikel yang digunakan, seperti penerapan skenario tunggal dan gabungan. Mayoritas dari jurnal yang ada skenario yang digunakan ialah terkait ekonomi seperti pemberian insentif, subsidi atau penerapan pajak dan biaya, namun tidak sedikit juga artikel yang membangun skenarionya berdasarkan dari perilaku seperti yang dilakukan oleh [25], [26] yaitu berdasarkan normal sosial dan perbandingan perbedaan perilaku dari segi umur.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian tinjauan pustaka yang dilakukan terhadap 15 artikel yang telah dipilih dengan metode tinjauan PRISMA dalam konteks simulasi menggunakan *Agent Based Modelling and Simulation* (ABMS) pada sampah rumah tangga diketahui bahwa agen yang terlibat, perilaku yang diadopsi, faktor yang mempengaruhi keputusan berperilaku dan skenario yang dibangun sangat bervariasi dan hal ini didasarkan oleh kepentingan dan kesesuaian kondisi pada wilayah yang disimulasikan. Meskipun terdapat agen yang sama atau faktor pengaruh pengambilan keputusan yang sama namun proses atau model konseptual yang dirancang dapat berbeda sesuai dengan model konseptual yang dirancang modeler. Selain itu, teori perilaku juga sangat membantu dalam mendasari faktor yang dapat dijadikan acuan sebagai hal yang mempengaruhi agen atau individu dalam memutuskan perilakunya yaitu mengelola sampah seperti yang banyak digunakan pada artikel yang ditinjau yaitu *Theory of Planned Behaviour* (TPB). Dari hasil tinjauan juga dapat diketahui berbagai macam dan konsep kebijakan yang diujikan dalam model, dan hal ini dapat dijadikan sebagai salah satu masukan ketika diperlukan sebuah kebijakan pada rumah tangga untuk mau mendaur ulang sampah, skenario atau kebijakan yang paling banyak diuji mengandung faktor ekonomi baik itu insentif bagi rumah tangga yang mau mendaur ulang, subsidi pemerintah ataupun sanksi seperti dikenakan biaya tambahan untuk rumah tangga yang membuang sampah tanpa memilah atau tidak mendaur ulang sampahnya.

REFERENCES

- [1] D. Hoornweg and P. Bhada-Tata, "What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management," *Urban Development Series Knowledge Papers no 15*, 2012.
- [2] UN DESA, "68% of the World Population Projected to Live in Urban Areas by 2050. United Nations Department of Economic and Social Affairs (UN DESA)."
- [3] D. Knickmeyer, "Social factors influencing household waste separation: A literature review on good practices to improve the recycling performance of urban areas," *Journal of Cleaner Production*, vol. 245. Elsevier Ltd, Feb. 01, 2020. doi: 10.1016/j.jclepro.2019.118605.
- [4] D. Tang, X. Cai, E. Nketiah, M. Adjei, G. Adu-Gyamfi, and B. Obuobi, "Separate your waste: A comprehensive conceptual framework investigating residents' intention to adopt household waste separation," *Sustain Prod Consum*, vol. 39, pp. 216–229, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.spc.2023.05.020.
- [5] P. Wang, Y. Hu, and H. Cheng, "Municipal solid waste (MSW) incineration fly ash as an important source of heavy metal pollution in China," *Environmental Pollution*, vol. 252. Elsevier Ltd, pp. 461–475, Sep. 01, 2019. doi: 10.1016/j.envpol.2019.04.082.
- [6] K. L. H. dan Kehutanan, "Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional."
- [7] M. Immurana, K. G. Kisseih, M. Z. Yakubu, and H. M. Yusif, "Financial inclusion and households' choice of solid waste disposal in Ghana," *BMC Public Health*, vol. 22, no. 1, Dec. 2022, doi: 10.1186/s12889-022-13512-2.
- [8] S. H. Mosavian, F. Rostami, and M. Tatar, "Modeling farmers' intention to water protection behavior: A new extended version of the protection motivation theory," *J Environ Psychol*, vol. 90, Sep. 2023, doi: 10.1016/j.jenvp.2023.102036.
- [9] K. Laffan, L. K. Lades, and L. Delaney, "Paths that lead astray: Examining the situational predictors of intention-behaviour gaps in meat consumption," *J Environ Psychol*, vol. 89, Aug. 2023, doi: 10.1016/j.jenvp.2023.102045.

- [10] S. Kushwah, S. Gokarn, E. Ahmad, and K. K. Pant, "An empirical investigation of household's waste separation intention: A dual-factor theory perspective," *J Environ Manage*, vol. 329, Mar. 2023, doi: 10.1016/j.jenvman.2022.117109.
- [11] J. Wang, E. Nketiah, X. Cai, B. Obuobi, G. Adu-Gyamfi, and M. Adjei, "What establishes citizens' household intention and behavior regarding municipal solid waste separation? A case study in Jiangsu province," *J Clean Prod*, vol. 423, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.jclepro.2023.138642.
- [12] B. M. Sopha and S. Sakti, *Pemodelan dan Simulasi Berbasis Agen untuk Sistem Kompleks Sosia-Teknikal*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press, 2020.
- [13] P. Tucker and D. Smith, "Simulating Household Waste Management Behaviour," 1999. [Online]. Available: <http://jasss.soc.surrey.ac.uk/2/3/3.html>
- [14] H. Lin *et al.*, "A multi-agent based optimization architecture for energy hub operation," in *Energy Procedia*, Elsevier Ltd, 2017, pp. 2158–2164. doi: 10.1016/j.egypro.2017.12.621.
- [15] D. Moher *et al.*, "Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement," *PLoS Medicine*, vol. 6, no. 7. Public Library of Science, Jul. 01, 2009. doi: 10.1371/journal.pmed.1000097.
- [16] X. Meng, Z. Wen, and Y. Qian, "Multi-agent based simulation for household solid waste recycling behavior," *Resour Conserv Recycl*, vol. 128, pp. 535–545, Jan. 2018, doi: 10.1016/j.resconrec.2016.09.033.
- [17] A. C. Skeldon, F. Schiller, A. Yang, T. Balke-Visser, A. Penn, and N. Gilbert, "Agent-based modelling to predict policy outcomes: A food waste recycling example," *Environ Sci Policy*, vol. 87, pp. 85–91, Sep. 2018, doi: 10.1016/j.envsci.2018.05.011.
- [18] X. Tong *et al.*, "Behaviour change in post-consumer recycling: Applying agent-based modelling in social experiment," *J Clean Prod*, vol. 187, pp. 1006–1013, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.jclepro.2018.03.261.
- [19] M. Luo, X. Song, S. Hu, and D. Chen, "Towards the sustainable development of waste household appliance recovery systems in China: an agent-based modeling approach," *J Clean Prod*, vol. 220, pp. 431–444, May 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.02.128.
- [20] C. Charlier and A. Kirakozian, "Public policies for household recycling when reputation matters," *J Evol Econ*, vol. 30, no. 2, pp. 523–557, Apr. 2020, doi: 10.1007/s00191-019-00648-5.
- [21] L. Chen and M. Gao, "A new learning interaction rule for municipal household waste classification behavior based on multi-agent-based simulation," *J Clean Prod*, vol. 271, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122654.
- [22] V. M. de Souza, J. Bloemhof, and M. Borsato, "Assessing the eco-effectiveness of a solid waste management plan using agent-based modelling," *Waste Management*, vol. 125, pp. 235–248, Apr. 2021, doi: 10.1016/j.wasman.2021.02.019.
- [23] L. Chen and M. Gao, "Formal or informal recycling sectors? Household solid waste recycling behavior based on multi-agent simulation," *J Environ Manage*, vol. 294, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.113006.
- [24] L. Chen and M. Gao, "Novel information interaction rule for municipal household waste classification behavior based on an evolving scale-free network," *Resour Conserv Recycl*, vol. 168, May 2021, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105445.
- [25] A. Ceschi *et al.*, "Testing a norm-based policy for waste management: An agent-based modeling simulation on nudging recycling behavior," *J Environ Manage*, vol. 294, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.jenvman.2021.112938.
- [26] L. Chen and M. Gao, "Predictive modeling for behavioral evolution of municipal household waste classification and recycling," *Sustain Cities Soc*, vol. 78, Mar. 2022, doi: 10.1016/j.scs.2021.103659.
- [27] S. Piras *et al.*, "From social interactions to private environmental behaviours: The case of consumer food waste," *Resour Conserv Recycl*, vol. 176, Jan. 2022, doi: 10.1016/j.resconrec.2021.105952.
- [28] X. Tong *et al.*, "Exploring business models for carbon emission reduction via post-consumer recycling infrastructures in Beijing: An agent-based modelling approach," *Resour Conserv Recycl*, vol. 188, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.resconrec.2022.106666.
- [29] H. Ma, M. Li, X. Tong, and P. Dong, "Community-Level Household Waste Disposal Behavior Simulation and Visualization under Multiple Incentive Policies—An Agent-Based Modelling Approach," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 15, no. 13, Jul. 2023, doi: 10.3390/su151310427.
- [30] L. Fontaine, R. Legros, and J. M. Frayret, "Solid waste generation prediction model framework using socioeconomic and demographic factors with real-time MSW collection data," *Waste Management and Research*, 2024, doi: 10.1177/0734242X241231414.