

Pemodelan Sistem Ekonomi Sirkuler Untuk Sampah Botol Plastik Di Surabaya Dengan Pendekatan Sistem Dinamik

Muhammad Faiq Farhan Rajwa¹, Abduh Sayid Albana², Granita Hajar³

¹Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Elektro dan Industri Cerdas, Institut Teknologi Telkom Surabaya.

¹Jl. Ketintang No.156, Surabaya, 60231, Indonesia

email: farhanrajwa03@gmail.com

Abstrak—Botol plastik merupakan produk yang sering kita temui di kehidupan sehari-hari. Botol plastik yang memberikan banyak kemudahan juga memberikan masalah limbah yang harus ditangani. Penanganan limbah botol plastik sering kita temui dengan mendaur ulang limbah botol plastik menjadi beberapa produk yang bisa digunakan kembali dalam kehidupan sehari-hari. Ekonomi sirkuler dapat mewujudkan kemandirian sosial bagi masyarakat dengan mengolah sampah botol plastik dan juga ikut dalam mewujudkan bumi yang lebih hijau. Dengan ekonomi sirkuler tersebut akan menghasilkan pertumbuhan ekonomi yang kuat serta berdampak kepada lingkungan dan sosial dengan kata lain membangun ekonomi hijau. Pada penelitian ini diusulkan pemodelan sistem ekonomi sirkuler untuk sampah botol plastik dengan pendekatan sistem dinamik menggunakan *software Vensim PLE*. Metode yang diusulkan terdiri dari tiga tahapan utama, tahap pertama pemodelan sistem untuk pembuatan model konsep *causal loop diagram*. Tahap kedua adalah *causal loop diagram* untuk dijadikan model *stock flow diagram*. Tahap terakhir adalah perlakuan model dengan skenario menggunakan asumsi-asumsi dari model. Skenario yang dibuat dengan mengubah nilai dari asumsi-asumsi model sehingga mendapatkan tiga skenario yang berpengaruh terhadap nilai lingkungan dan nilai ekonomi hijau. Dari analisis ketiga skenario didapatkan hasil dari penelitian ini adalah skenario 1 yang terbaik karena dapat menaikkan nilai lingkungan sebesar 2 Kg/Orang dan nilai ekonomi hijau sebesar Rp 88.410/Orang.

Kata kunci—sampah botol plastik, daur ulang, ekonomi sirkuler, sistem dinamik, lingkungan, ekonomi hijau

Abstract—Plastic bottles are a product that we often find in everyday life. Plastic bottles that provide a lot of convenience also provide a waste problem that needs to be dealt with. Plastic bottle waste treatment often involves recycling plastic bottle waste into products that can be reused in everyday life. A circular economy can provide social independence for people by processing plastic bottle garbage and also participating in creating a greener earth. A circular economy will produce strong economic growth as well as environmental and social impacts; in other words, it will build a green economy. The study proposed the modeling of a circular economy system for plastic bottle garbage with a dynamic system approach using *Vensim PLE* software. The proposed method consists of three main stages: the first stage is the modeling of the system for the manufacture of the conceptual model of the causal loop diagram. The second stage is a causal loop diagram to be used as a stock flow diagram model. The final stage is the treatment of models with scenarios using assumptions about models. The scenario is created by changing the values of the assumptions of the model so as to obtain three scenarios that influence environmental values and green economic values. From the analysis of the three scenarios obtained, the results of this study indicate that scenario 1 is the best because it can raise the environmental value by 2 kg per person and the green economic value by Rp 88.410 per person.

Keywords—plastic bottle waste, recycling, circular economy, dynamic system, vensim ple, environment, green economic

I. PENDAHULUAN

Ekonomi hijau adalah yang rendah karbon, efisien dalam sumber daya, dan inklusif secara sosial. Pertumbuhan pekerjaan dan pendapatan dalam ekonomi hijau didorong oleh investasi publik dan swasta dalam kegiatan ekonomi, infrastruktur, dan aset yang memungkinkan untuk mengurangi emisi karbon dan polusi, peningkatan energi dan efisiensi sumber daya, dan konservasi keanekaragaman hayati dan layanan ekosistem [1].

Di Surabaya jumlah sampah yang tercatat pada tahun 2021 sebesar 578.156 ton per tahunnya [2]. Untuk sampah anorganik yang masih menjadi isu khususnya jenis sampah plastik [3]. Sampah plastik yang sering ditemui adalah kantong plastik dan juga botol plastik. Kantong plastik yang digunakan sebagai alat untuk membawa barang yang telah dibeli, saat ini penanganan sampah kantong plastik mulai tergantikan dengan inovasi-inovasi pengganti seperti paper bag dan tote bag.

Sedangkan botol plastik dengan penggunaannya yang praktis menjadi sumber masalah limbah dan perlu adanya penanganan. Pengelolaan sampah sendiri memiliki beberapa kegiatan yang meliputi pemadatan, pengomposan, daur ulang materi dan daur ulang energi [5]. Ekonomi sirkuler adalah solusi sistem kerangka kerja yang menangani tantangan global seperti perubahan iklim, hilangnya keanekaragaman hayati, limbah, dan polusi. Ekonomi sirkuler bukan hanya tentang pengelolaan limbah yang lebih baik dengan banyak produk daur ulang yang dihasilkan akan tetapi ekonomi sirkuler juga mencakup sektor ekonomi secara luas [4].

Sampah tersebut diproduksi ulang sehingga mengurangi dampak limbah buangan yang berbahaya bagi lingkungan dan dapat digunakan kembali sebagai produk baru atau sebagai bahan baku produk lain [6]. Metode yang ideal untuk memperoleh gambaran lengkap tentang pengambilan keputusan adalah pemodelan dan simulasi sistem dinamik [7].

Pada penelitian ini akan mengembangkan model ekonomi sirkuler dengan menggunakan model sistem dinamik. Penelitian ini dilakukan di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya dikarenakan kegiatan pengumpulan sampah yang diterapkan di Kampung Pintar Tembok Gede tidak banyak menghasilkan produk-produk baru untuk memaksimalkan kegiatan pengumpulan sampah. Maka dari itu, perlu adanya penelitian mengenai pengoptimalan kegiatan ekonomi sirkuler pada Kampung Pintar Tembok Gede menggunakan sistem dinamik dengan tujuan menghasilkan model ekonomi sirkuler dan hasil ekonomi sirkuler untuk sampah botol plastik di Kampung Pintar Tembok Gede dapat meningkatkan nilai atau harga jual dari sampah botol plastik.

II. TEORI DASAR

A. Limbah Botol Plastik

Limbah botol plastik adalah limbah yang termasuk dalam kategori limbah anorganik berwujud padat dan dibuat menggunakan bahan-bahan kimia yang membuat limbah botol plastik sulit terurai. Botol plastik memiliki berbagai macam jenis salah satunya adalah jenis PET (*Polythylene Terephthalate*). PET merupakan limbah botol ini berbentuk tembus pandang atau transparan, ringan, dan kuat. Contoh limbah botol plastik PET seperti botol air mineral, botol minyak goreng, dan botol kosmetik [4].

B. Ekonomi Sirkuler

Ekonomi sirkuler adalah sistem ekonomi menuju akhir siklus hidup produk yang menekankan, meminimalkan, menggunakan kembali, dan meningkatkan bahan-bahan di seluruh proses manufaktur, distribusi, dan konsumsi. Hal tersebut bertujuan untuk mencapai ekonomi berkelanjutan, kualitas lingkungan hidup yang layak, kesejahteraan ekonomi, dan keadilan sosial [9].

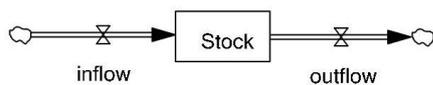
Penerapan paradigma ekonomi sirkular di Indonesia mengidentifikasi lima sektor utama yang menunjukkan potensi yang signifikan, meliputi sektor makanan dan minuman, industri tekstil, sektor konstruksi, aktivitas grosir dan eceran khususnya yang berkaitan dengan produk plastik, serta sektor elektronik. Pelaksanaan pendekatan ekonomi sirkular ini berpotensi untuk memberikan kontribusi yang substantif, antara lain dalam bentuk peningkatan pada Produk Domestik Bruto (PDB), penciptaan peluang kerja, mitigasi Emisi CO₂, pengurangan dampak limbah di sektor-sektor yang diprioritaskan, serta penghematan dalam penggunaan sumber daya air. Seluruh dampak positif yang disebutkan tersebut secara bersama-sama mewujudkan implikasi yang merentang pada dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan [4].

C. Sistem Dinamik

Sistem Dinamik adalah teknik pemodelan yang aplikasinya sangat terkait dengan dinamika sejumlah tren dalam beberapa sistem yang kompleks, yaitu pola perilaku yang dihasilkan oleh sistem dari waktu ke waktu. oleh Jay W. Foresster memulai teknologi ini pada tahun 1950-an. Model dibangun menggunakan situasi dunia nyata yang disederhanakan, seperti item, situasi, atau proses dalam sistem yang kompleks dengan hubungan kausal [16].

D. Stock Flow Diagram

Diagram *stock* dan *flow* dalam sistem dinamik didasarkan atas konsep *hydraulic metaphor*. Dalam konsep ini, *stock* dianggap sebagai sebuah bak penampungan air, sedangkan *flow* merupakan aliran pipa air dengan kran yang akan mengisi (*inflow*) atau menguras (*outflow*) bak tersebut [6].



Gambar 1 Contoh Stock Flow Diagram

Gambar 1, memperlihatkan notasi diagram *stock* dan *flow* mengacu pada konsep *hydraulic metaphor*. Notasi simbol kotak untuk menyatakan *stock*, simbol tanda pipa dengan tanda kran untuk menyatakan *flow* rate, dan simbol awan untuk menyatakan sumber/terminasi untuk *flow* (pembatas sistem).

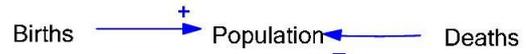
Berikut variabel yang digunakan dalam model *stock flow diagram*:

TABEL 1. Jenis Variabel pada Stock Flow Diagram

Variabel	Simbol	Keterangan
Level		Merupakan variabel yang menyatakan akumulasi dari sejumlah benda (<i>nouns</i>) seperti orang, uang, inventori, dan lain-lain, terhadap waktu. Level dipengaruhi oleh variabel.
Rate		Merupakan suatu aktivitas, pergerakan (<i>movement</i>), atau aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel level. Rate merupakan satu-satunya variabel dalam model yang dapat mempengaruhi level.
Auxiliary		Merupakan variabel bantu yang berisi formulasi yang dapat menjadi masukan pada <i>rate</i> . Variabel ini sering digunakan untuk formulasi yang kompleks.

E. Causal Loop Diagram

Causal loop diagram adalah diagram sebab akibat yang merupakan salah satu alat untuk mempresentasikan struktur *feedback* dari sistem. *Causal loop diagram* terdiri dari variabel-variabel dihubungkan dengan *link* (panah) dengan polaritas (tanda + dan -). Tanda-tanda tersebut untuk membuat positif dan *negative feedback* [17].



Gambar 2 Contoh Causal Loop Diagram

Terlihat dari Gambar 2, dua hal yang menyebabkan perubahan populasi adalah kelahiran dan kematian, dengan menggunakan panah untuk mewakili hubungan kausal ini. Telah diketahui bahwa kelahiran akan menyebabkan bertambahnya populasi. Hubungan kausal ini memiliki polaritas positif dengan menempatkan tanda (+) di kepala panah. Telah diketahui bahwa kematian akan menyebabkan berkurangnya populasi. Hubungan ini memiliki polaritas negatif dengan ditandai tanda (-) di kepala panah.

F. Validasi

Validasi merupakan proses untuk memastikan model yang dibuat dapat menggambarkan aspek-aspek sistem yang nyata [11]. Terdapat dua cara pengujian model, yaitu:

1. Perbandingan rata-rata (*mean comparison*)

$$E1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{\bar{A}} \quad (1)$$

Keterangan:

\bar{S} = Standar Deviasi Model

\bar{A} = Standar Deviasi Data

Model dianggap valid apabila $E1 \leq 5\%$

2. Perbandingan variasi amplitudo (% error variance)

$$E2 = \frac{|Ss - Sa|}{Sa} \quad (2)$$

Keterangan:

Ss = Standar Deviasi Model

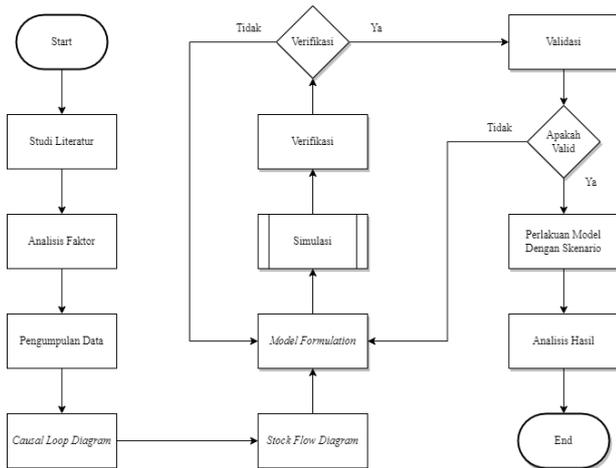
Sa = Standar Deviasi Data

Model dianggap valid apabila $E2 \leq 30\%$

III. METODE PENELITIAN

A. Kerangka Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan pada Gambar 3. Dimulai dari studi literatur yang didapatkan dari jurnal, buku, maupun artikel ilmiah yang berhubungan dengan topik penelitian. Dari informasi yang didapatkan, dilakukan analisis untuk mendapatkan variabel-variabel yang terkait dengan ekonomi sirkular yang nantinya akan menjadi diagram sebab akibat. Dan dilanjutkan dengan melakukan verifikasi dan validasi terhadap model yang sudah dibuat. Dari model yang sudah tervalidasi dilakukan pembuatan skenario.



Gambar 3 Alur Pikir Penelitian

B. Data Masukan

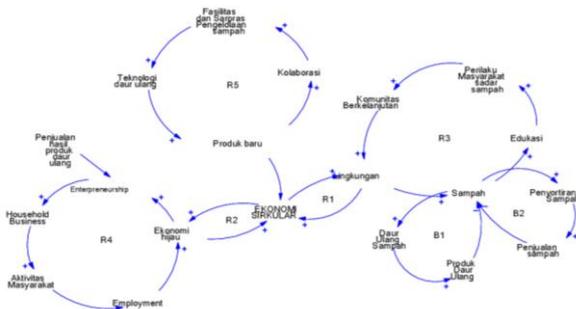
Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data-data yang didapatkan dari hasil observasi dan wawancara yang dilakukan di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. Ditambah dengan studi pustaka di Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jawa Timur. Berikut informasi yang didapat antara lain yaitu:

- Data sampah di kampung pintar
- Data anggota bank sampah di kampung pintar
- Data pengelolaan sampah di kampung pintar
- Data harga sampah dan produk daur ulang sampah di kampung pintar.

Dari data-data tersebut nantinya akan diproses menjadi Causal Loop Diagram dan Stock Flow Diagram dengan bantuan software vensim.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Model Diagram Kausatik



Gambar 4 Causal Loop Diagram Ekonomi Sirkular

Pada gambar 4, hubungan serta pengaruh antara variabel terhadap perilaku sistem. Hubungan sebab akibat antar variabel pada gambar menunjukkan hubungan tersebut bergerak ke arah yang sama (+ / R = Reinforcing) sebanyak lima dan gambar yang menunjukkan hubungan tersebut bergerak ke arah yang berlawanan (- / B = Balancing) sebanyak dua. Di bawah ini merupakan penjelasan dari *Causal Loop Diagram*:

1) Dalam CLD-B1 dijelaskan bahwa sampah botol plastik diolah dengan cara daur ulang sampah dan dari daur ulang sampah akan menghasilkan produk daur ulang yang berpengaruh terhadap pengurangan timbunan sampah di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya.

2) Dalam CLD-B2 dijelaskan bahwa sampah botol diolah dengan penyortiran sampah dengan memilah antara tutup botol plastik, label, dan botol plastik, setelah dilakukan pemilahan sampah botol plastik tersebut akan dijual kepada pengepul langsung untuk mengurangi jumlah timbunan sampah di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya.

3) Dalam CLD-R1 dijelaskan bahwa ekonomi sirkular berpengaruh terhadap kualitas lingkungan dan begitu juga sebaliknya.

4) Dalam CLD-R2 dijelaskan bahwa ekonomi sirkular berpengaruh terhadap kualitas ekonomi hijau dan begitu juga sebaliknya.

5) Dalam CLD-R3 dijelaskan bahwa lingkungan akan menimbulkan timbunan sampah, dari timbunan sampah bisa dilakukan edukasi kepada masyarakat sehingga dapat memotivasi perubahan perilaku masyarakat yang sadar akan sampah. Perilaku masyarakat sadar akan sampah yang sudah terbentuk akan memunculkan komunitas berkelanjutan di daerah tersebut yang bertujuan untuk bertanggung jawab dengan kualitas lingkungan di daerahnya.

6) Dalam CLD-R4 dijelaskan adanya ekonomi hijau yang berjalan akan menghasilkan entrepreneurship yang berasal dari produk daur ulang yang dihasilkan. Entrepreneurship akan membutuhkan tenaga kerja baru yang membuat timbulnya Household Business (usaha rumah tangga) di lingkungan tersebut yang pastinya akan memunculkan aktivitas baru di dalam masyarakat. Aktivitas baru yang dihasilkan akan membuka peluang penambahan tenaga kerja baru atau terbukanya lapangan pekerjaan.

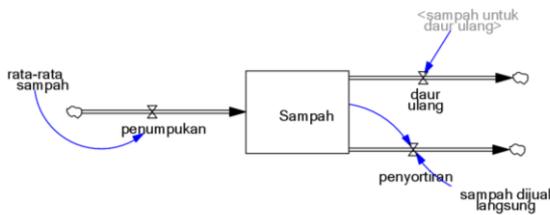
7) Dalam CLD-R5 dijelaskan bahwa produk baru yang sudah terbentuk akan menimbulkan minat kolaborasi atau kerja sama dengan pihak luar seperti pemerintahan maupun swasta. Dengan terbentuknya kolaborasi ini dapat membuka peluang untuk menambah fasilitas dan sarana prasarana di daerah tersebut dalam pengelolaan sampah, jika fasilitas dan sarana prasarana yang telah terpenuhi akan menghasilkan sebuah teknologi baru dalam pengelolaan sampah yang dapat mendorong dalam memunculkan produk baru. Namun hal ini juga berlaku sebaliknya jika fasilitas dan sarana prasarana tidak terpenuhi akan terhambat dalam kemajuan teknologi pengelolaan sampah yang membuat produk baru yang dihasilkan berkurang dan akan mengurangi juga minat kolaborasi.

B. Pembuatan Base Model

Langkah awal pembuatan base model adalah mengidentifikasi variabel apa saja yang mempengaruhi

sistem utama. Pada penelitian ini base model dibagi menjadi beberapa bagian sub model untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang berpengaruh:

1) Sub Model Sampah



Gambar 5 Stock Flow Sub Model Sampah

Jumlah sampah merupakan salah satu indikator dari ekonomi sirkular, karena berkaitan dengan hasil lingkungan masyarakat di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. Sub model sampah pada Gambar 5, menggambarkan sebuah *stock* yang memiliki 1 *rate input* dan 2 *rate output*. *Stock* dalam *stock flow diagram* termasuk dalam jenis variabel level, seperti yang sudah dijelaskan pada Tabel 2.2, merupakan akumulasi dari sejumlah variabel yang memiliki sifat benda seperti orang, inventori, dan lain-lain terhadap waktu atau per satuan waktu. Sedangkan variabel *rate* merupakan aliran yang berkontribusi terhadap perubahan per satuan waktu dalam suatu variabel level. Untuk *rate* dapat di bedakan menjadi dua yaitu *rate input* dan *rate output*, perbedaan dari keduanya adalah *rate input* merupakan aliran yang mempengaruhi pertambahan dari jumlah level, sedangkan *rate output* merupakan aliran yang mempengaruhi pengurangan dari jumlah level. Dan pada Gambar 5, menggambarkan *flow diagram* yang mempunyai beberapa variabel penting yang mempengaruhi jumlah sampah, yaitu daur ulang sampah, penyortiran sampah, dan penumpukan sampah.

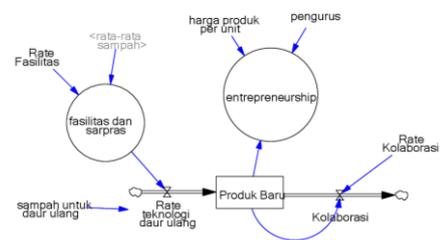
Dalam sub model sampah terdapat tiga variabel *input* yang mempengaruhi nilai dari variabel *rate*. Pertama adalah variabel rata-rata sampah yang merupakan nilai dari persamaan distribusi dari jumlah sampah yang dikumpulkan dalam satu tahun, variabel ini akan mempengaruhi nilai dari variabel *rate* penumpukan yang merupakan *rate input* dari variabel level sampah. Kedua adalah variabel sampah untuk daur ulang yang merupakan nilai dari jumlah sampah yang akan didaur ulang dalam setiap bulannya, variabel ini akan mempengaruhi nilai dari variabel *rate* daur ulang yang merupakan variabel *rate output* dari variabel level sampah. Ketiga adalah sampah dijual langsung yang merupakan jumlah sampah yang tidak didaur ulang, variabel ini akan mempengaruhi nilai dari *rate* penyortiran yang merupakan variabel *rate output* dari variabel level sampah.

Daur ulang sampah dan penyortiran sampah merupakan proses dalam pengelolaan sampah untuk mengurangi jumlah penumpukan sampah di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. Untuk daur ulang sampah merupakan kegiatan pengelolaan sampah untuk menghasilkan produk baru dari sampah botol plastik. Dalam melakukan daur ulang sampah di tempat tersebut dibutuhkan jumlah sampah tertentu untuk menghasilkan satu unit produk baru dari hasil daur ulang. Untuk unit produk daur ulang yang dihasilkan yaitu berupa produk kursi, dibutuhkan 8 kg sampah untuk setiap unit yang dihasilkan. Sedangkan penyortiran sampah merupakan kegiatan pemilahan sampah botol plastik yang terdiri dari

tutup botol plastik, label botol plastik, dan botol plastik itu sendiri. Dalam penyortiran sampah ini bertujuan untuk memudahkan dalam penjualan sampah secara langsung kepada pengepul setelah dilakukan kegiatan pengumpulan sampah. Untuk jumlah sampah yang dijual secara langsung dibandingkan dengan sampah yang dapat ditampung dalam setiap bulannya. Maka dalam diagram *flow* sampah, daur ulang dan penyortiran merupakan *rate output*.

Dan untuk penumpukan sampah merupakan kegiatan pengumpulan sampah yang dilakukan dalam setiap bulan oleh masyarakat. Dengan dilakukannya pengumpulan secara rutin oleh masyarakat dalam setiap bulan diperoleh data historis untuk jumlah sampah yang terkumpul dalam setiap bulannya. Dalam penelitian ini setelah dilakukan pengecekan distribusi data diperoleh hasil distribusi *random normal* untuk dimasukkan ke dalam nilai *rate input* diagram *flow* sampah.

2) Sub Model Produk Baru



Gambar 6 Stock Flow Diagram Sub Model Produk Baru

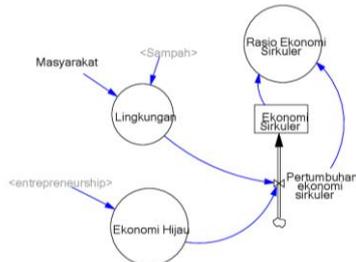
Jumlah produk baru merupakan salah satu indikator dari ekonomi sirkular, karena berkaitan dengan hasil ekonomi hijau masyarakat di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. Sub model produk baru pada Gambar 6, menggambarkan sebuah *stock* yang memiliki satu *rate input* dan satu *rate output*. Dan pada gambar sub model produk baru mempunyai beberapa variabel penting yang mempengaruhi jumlah produk baru yaitu teknologi daur ulang dan kolaborasi.

Teknologi daur ulang merupakan indikator dalam menghasilkan produk baru daur ulang sampah botol plastik. Untuk terpenuhinya teknologi daur ulang perlu adanya fasilitas dan sarana prasarana untuk daur ulang sampah botol plastik, serta jumlah sampah botol plastik yang digunakan untuk daur ulang. Variabel fasilitas dan sarana prasarana dalam sub model produk baru merupakan variabel jenis *auxiliary*. Variabel *auxiliary* merupakan variabel yang digunakan untuk formulasi yang kompleks untuk menjadi masukan pada *rate*. Dalam fasilitas dan sarana prasarana didapatkan dari hasil sampah yang terkumpul pada setiap bulannya dengan rasio dari perbandingan jumlah sampah yang bisa dikelola dan jumlah penumpukan sampah setiap bulannya. Sedangkan sampah untuk daur ulang digunakan sebagai variabel pembagi dalam *rate input* teknologi daur ulang sub model produk baru.

Dan untuk kolaborasi merupakan indikator yang berpengaruh ada tidaknya kolaborasi yang terjadi di Kampung Tembok Gede, Kota Surabaya. Dengan adanya kolaborasi di tempat tersebut dapat mempengaruhi hasil produk baru. Untuk jumlah kolaborasi dilakukan rasio hasil kolaborasi yang terjadi di tempat tersebut selama satu tahun. Maka dalam diagram *flow* produk baru, kolaborasi merupakan *rate output*.

Lalu untuk variabel *entrepreneurship* merupakan jumlah dari hasil penjualan setiap produk baru yang dihasilkan dalam setiap bulannya dan dari hasil tersebut dibagikan oleh komunitas daur ulang sampah di Kampung Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. *Entrepreneurship* diketahui hasil dari produk baru yang dihitung dengan harga produk baru sampah botol plastik per unitnya dan dibagi dengan jumlah pengurus komunitas daur ulang sampah di tempat tersebut.

3) Sub Model Ekonomi Sirkuler



Gambar 7 Stock Flow Diagram Sub Model Ekonomi Sirkuler

Sub model ekonomi sirkuler memiliki nilai *input* dari sub model sampah dan sub model produk baru. Dalam perhitungan ekonomi sirkuler dihitung menggunakan perbandingan antara *output* dari sub model sampah dengan sub model produk baru yaitu lingkungan dan ekonomi hijau. Lingkungan merupakan variabel auxiliary dengan variabel bantu yaitu hasil dari sub model sampah dan variabel masyarakat. Hasil dari sub model sampah merupakan jumlah sampah yang terkumpul dalam setiap bulannya, sedangkan variabel masyarakat merupakan jumlah anggota dalam masyarakat yang ikut dalam menjaga lingkungan atau berkontribusi dalam pengumpulan sampah di tempat tersebut. Sehingga hasil dari lingkungan diketahui berapa banyak sampah yang dapat dikelola per orangnya dalam setiap bulannya. Sedangkan ekonomi hijau merupakan hasil yang dihitung dari tingkat *entrepreneurship*. Dari sub model produk baru dijelaskan bahwa nilai *entrepreneurship* diketahui dari berapa banyak uang yang dihasilkan dalam setiap bulannya dari setiap pengurus dari hasil penjualan produk baru daur ulang sampah botol plastik.

C. Verifikasi dan Validasi

Pengujian terhadap model dilakukan dengan menggunakan perbandingan rata-rata dan perbandingan variasi amplitudo. Berikut adalah hasil validasi dari jumlah sampah ditunjukkan pada Tabel. Dari hasil perhitungan terlihat bahwa model sudah mewakili sistem nyata.

TABEL 2 VALIDASI MODEL

Sampah Botol Plastik	Data Hasil Observasi (Kg)	Data Hasil Simulasi (Kg)
Rata-rata	23,05	24,08
Standar Deviasi	8,11	5,76
E1		4,48 %
E2		28,95 %

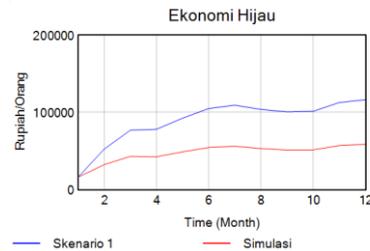
Error rate $E1 \leq 5 \%$, berarti hasil dari perbandingan antara rata-rata data asli sampah dengan rata-rata hasil simulasi sampah terbukti valid karena *error rate* yang didapat kurang dari 5 %. Dan *error rate* $E2 \leq 30 \%$, berarti hasil dari perbandingan antara standar deviasi data asli sampah dengan standar deviasi hasil simulasi sampah terbukti valid karena *error rate* yang didapat kurang dari 30 %.

D. Pengembangan Skenario

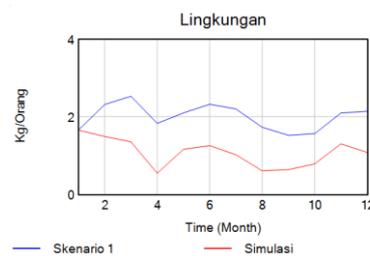
Pengembangan skenario parameter yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tiga hal yang berpengaruh terhadap lingkungan dan ekonomi hijau. Parameter yang dapat diubah untuk mengetahui perubahan terhadap hasil lingkungan adalah variabel *rate* penjualan langsung. Hal itu dikarenakan variabel tersebut merupakan rasio dari perbandingan sampah yang langsung dijual dengan sampah yang terkumpul setiap bulannya. Dan parameter yang dapat diubah untuk mengetahui perubahan terhadap hasil ekonomi hijau adalah variabel *rate* fasilitas dan *rate* kolaborasi. Variabel *rate* fasilitas merupakan variabel rasio dari fasilitas yang tersedia dengan perbandingan jumlah sampah yang dapat disimpan setiap bulannya. Variabel *rate* kolaborasi merupakan variabel rasio dengan perbandingan jumlah *event* atau kegiatan kerja sama dalam satu tahun. Dan juga variabel *rate* fasilitas merupakan salah satu variabel *input* yang dapat membuat perubahan pada hasil produk baru. Sedangkan variabel *rate* kolaborasi merupakan variabel *output* yang dapat mengubah jumlah hasil produk baru yang berbanding terbalik dengan variabel *rate* fasilitas.

1) Skenario 1 : Lingkungan dan Ekonomi Hijau

Skenario 1 pada penelitian ini dilakukan dengan mengubah nilai-nilai variabel *rate* fasilitas dengan asumsi fasilitas dan sarana prasarana yang ada di daerah Surabaya sebesar 60%. Variabel *rate* penjualan langsung dengan asumsi sampah botol plastik yang dijual langsung setiap bulannya dikurangi menjadi 48%. Sedangkan untuk variabel-variabel lainnya bernilai tetap.



Gambar 9 Grafik Ekonomi Hijau Hasil Skenario 1

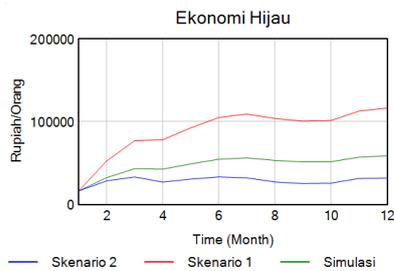


Gambar 10 Grafik Lingkungan Hasil Skenario 1

Pada Gambar 9, dan Gambar 10, ditunjukkan grafik untuk skenario 1 yang berwarna biru dan grafik simulasi berwarna merah. Grafik untuk skenario 1 menunjukkan kenaikan dibandingkan dengan grafik simulasi, hal ini menunjukkan skenario mengalami kenaikan dari hasil simulasi. Sehingga pada ekonomi hijau jika dibandingkan dengan nilai rata-rata sebelumnya Rp 46.741,00/Orang setelah diubah maka nilai rata-rata menjadi Rp 88.410,00/Orang. Dan pada lingkungan jika dikalkulasikan dengan nilai rata-rata sebelumnya 1,07 Kg/Orang setelah diubah maka nilai rata-rata menjadi 2 Kg/Orang.

2) Skenario 2 : Ekonomi Hijau

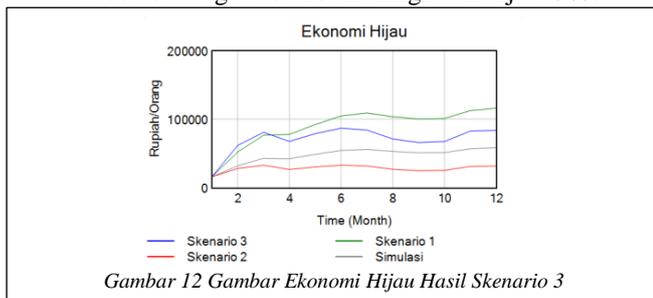
Skenario 2 pada dilakukan dengan mengubah nilai variabel *rate* kolaborasi. Variabel *rate* kolaborasi yang diubah diasumsikan mengalami peningkatan menjadi 50%. Sedangkan untuk variabel-variabel lainnya bernilai tetap. Pada Gambar 11, ditunjukkan grafik untuk skenario 2 berwarna biru, grafik untuk skenario 1 berwarna merah dan grafik untuk simulasi berwarna hijau. Grafik untuk skenario 2 menunjukkan penurunan terhadap grafik simulasi. Sehingga jika dibandingkan dengan nilai rata-rata sebelumnya Rp 46.741,00/Orang setelah diubah maka nilai rata-rata menjadi Rp 28.052,00/Orang.



Gambar 11 Grafik Ekonomi Hijau Hasil Skenario 2

3) Skenario 3 : Ekonomi Hijau

Skenario 3 dilakukan dengan mengubah nilai-nilai variabel *rate* fasilitas dengan asumsi fasilitas dan sarana prasarana yang ada di daerah Surabaya sebesar 80%. Variabel *rate* kolaborasi dengan asumsi meningkat menjadi 50%.



Gambar 12 Gambar Ekonomi Hijau Hasil Skenario 3

Pada Gambar 12, ditunjukkan grafik untuk skenario 3 berwarna biru, grafik untuk skenario 2 berwarna merah, grafik untuk skenario 1 berwarna hijau, dan grafik untuk simulasi berwarna abu-abu. Grafik untuk skenario 2 menunjukkan penurunan terhadap grafik simulasi. Grafik skenario 3 menunjukkan mengalami kenaikan terhadap grafik simulasi. Sehingga pada ekonomi hijau jika dibandingkan dengan nilai rata-rata sebelumnya Rp 46.741,00/Orang setelah diubah maka nilai rata-rata menjadi Rp 70.442,00/Orang.

E. Analisis Hasil Skenario

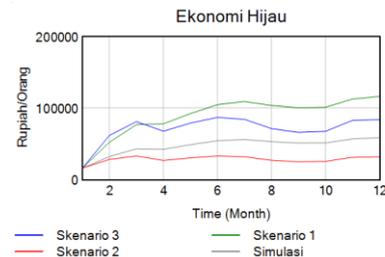
Pada bagian ini dijelaskan mengenai perbandingan hasil dari model-model skenario-skenario yang telah dibuat. Sebelumnya telah dilakukan bentuk skenario dengan 3 bentuk variabel yang berbeda-beda. Maka selanjutnya adalah dilakukan perbandingan antar skenario agar dapat menemukan hasil yang paling optimal. Berikut ini adalah hasil analisis dari skenario yang telah dibuat:

1) Analisis Ekonomi Hijau

Ekonomi hijau dipengaruhi oleh jumlah produk baru dan variabel pembatas harga produk per unit dan jumlah pengurus. Berdasarkan grafik pada Gambar 13, ditunjukkan grafik untuk skenario 3 berwarna biru, grafik untuk skenario 2 berwarna merah, grafik untuk skenario 1 berwarna hijau,

dan grafik untuk simulasi berwarna abu-abu. Dalam gambar terlihat bahwa skenario 1 memiliki grafik yang paling tinggi dibandingkan skenario 2, skenario 3 dan simulasi.

Di mana jumlah *rate* fasilitas yang diubah berdampak positif terhadap jumlah produk baru yang dihasilkan dan meningkatkan jumlah ekonomi hijau. Rata-rata Ekonomi hijau pada skenario 1 meningkat sebesar Rp 88.410/Orang dan pada skenario 3 meningkat namun lebih tinggi skenario 1. Sebaliknya pada skenario 2 menurun dikarenakan *rate* kolaborasi yang meningkat namun *rate* fasilitasnya tetap sehingga tidak menaikkan nilai jumlah produk baru.



Gambar 13 Grafik Perbandingan Skenario Ekonomi Hijau

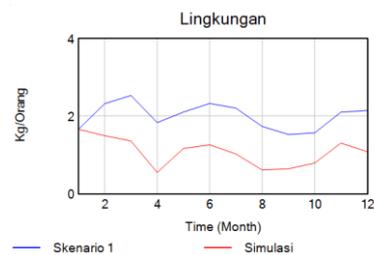
Berikut pada Tabel 4.9 disajikan nilai rata-rata per skenario untuk Ekonomi Hijau:

TABEL 3. Rata-rata per skenario untuk Ekonomi Hijau

Skenario	Rata-rata (Rupiah/Orang)
1	88.409,99
2	28.052,16
3	70.441,74

2) Analisis Lingkungan

Lingkungan dipengaruhi oleh jumlah sampah dan variabel pembatas masyarakat. Berdasarkan grafik pada Gambar 14, ditunjukkan grafik untuk skenario 1 yang berwarna biru dan grafik simulasi berwarna merah. Dalam gambar terlihat bahwa skenario 1 mengalami kenaikan dibanding grafik simulasi. Di analisis lingkungan ini untuk skenario 2 dan 3 tidak berpengaruh terhadap hasil dari lingkungan.



Gambar 14 Grafik Perbandingan Skenario Lingkungan

Di mana jumlah *rate* penjualan langsung atau yang dimaksud adalah penjualan sampah botol plastik yang dijual langsung ke pengepul setelah masyarakat mengumpulkan sampah botol plastik. Rate penjualan langsung berdampak positif terhadap jumlah sampah yang dapat dikelola. Rata-rata lingkungan pada skenario 1 meningkat sebesar 2, sedangkan pada skenario 2 dan 3 rate penjualan langsung tidak diubah sehingga nilainya sama dengan simulasi.

Berikut pada Tabel 4, disajikan nilai rata-rata per Skenario untuk Lingkungan:

TABEL 4. Rata-rata per skenario untuk Lingkungan

Skenario	Rata-rata (Kg/Orang)
1	2,00
2	1,07
3	1,07

3) General Analisis

Dalam analisis ekonomi hijau berdasarkan grafik dan hasil rata-rata simulasi, skenario 1 merupakan skenario terbaik yang dapat menaikkan jumlah ekonomi hijau dengan nilai rata-rata sebesar Rp 84.410/Orang. Dan analisis lingkungan berdasarkan grafik dan hasil rata-rata simulasi, skenario 1 merupakan skenario terbaik yang dapat menaikkan jumlah lingkungan dengan nilai rata-rata sebesar 2 Kg/Orang. Berikut pada Tabel 4.12, disajikan nilai rata-rata per Skenario untuk ekonomi hijau dan lingkungan:

TABEL 5. Rata-rata per Skenario Ekonomi Hijau dan Lingkungan

Skenario	Rata-rata	
	Ekonomi Hijau	Lingkungan
1	Rp. 88.409,99/Orang	2,00 Kg/Orang
2	Rp. 28.052,16/Orang	1,07 Kg/Orang
3	Rp. 70.441,74/Orang	1,07 Kg/Orang

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat diperoleh model dan hasil ekonomi sirkuler menggunakan sistem dinamik. Pemodelan ekonomi sirkuler dengan sistem dinamik dapat digambarkan secara kompleks variabel-variabel yang terdapat pada sistem, serta dapat mendefinisikan variabel-variabel rumit dalam sistem. Dalam sistem dinamik juga dapat menyimulasikan hasil dari model serta mengubah parameter-parameter dalam model untuk mendapatkan hasil yang optimal dalam model. Di dalam sistem dinamik model yang sudah diperoleh serta hasil dari simulasi juga dilakukan verifikasi dan validasi. Verifikasi digunakan untuk memastikan model yang diperoleh telah sesuai dengan keadaan sistem, sedangkan validasi digunakan untuk memastikan bahwa data dari hasil simulasi tersebut tidak mengalami eror dan tervalidasi. Dalam penelitian ini digunakan uji validitas menggunakan *behavior pattern test*.

Uji validitas dengan menggunakan *behavior pattern test* berfungsi menguji nilai rata-rata dan nilai standar deviasi dari perbandingan data simulasi dengan data asli. Maka dalam penelitian ini diperoleh nilai perbandingan rata-rata (E1) sebesar 4,48 % dan nilai perbandingan standar deviasi (E2) sebesar 28,95 %. Dari hasil tersebut terbukti valid untuk E1 karena syarat *Means Comparison* ($E1 \leq 5\%$), sedangkan E2 terbukti valid karena syarat *Amplitudo Variance Comparison* ($E2 \leq 30\%$). Setelah model ter verifikasi dan ter validasi maka model dapat dilakukan skenario untuk mendapatkan hasil optimal. Dalam penelitian ini digunakan tiga skenario untuk membantu mendapatkan hasil optimal.

Dari tiga skenario yang diusulkan yaitu skenario 1, skenario 2, dan skenario 3. Setelah dilakukan analisis terpilih skenario 1 sebagai skenario yang terbaik dibandingkan dengan skenario 2 dan skenario 3 maupun dengan hasil simulasi. Skenario 1 memperoleh jumlah kenaikan output lingkungan mempunyai nilai rata-rata sebesar 2 Kg/Orang dan jumlah kenaikan ekonomi hijau mempunyai nilai rata-rata sebesar Rp 88.409,99/Orang.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis sampaikan terima kasih yang sebesar besarnya kepada Bapak Abduh Sayid Albana S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Granita Hajar S.T., M.T. yang telah membimbing dalam menulis penelitian ini. Selanjutnya penulis juga sampaikan terima kasih kepada semua pihak yang terkait di Kampung

Pintar Tembok Gede, Kota Surabaya. Dan penulis sampaikan terima kasih kepada Kampus Institut Teknologi Telkom Surabaya yang sudah memberikan fasilitas dalam mengerjakan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] U. N. E. Programme, "Green Economy: UNEP - UN Environment Programme," *United Nations Website*. p. 1, 2022. Accessed: Jul. 17, 2023. [Online]. Available: <https://www.unep.org/regions/asia-and-pacific/regional-initiatives/supporting-resource-efficiency/green-economy>
- [2] S. I. P. S. Nasional, "SIPSN - Sistem Informasi Pengelolaan Sampah Nasional," *Https://Sipsn.Menlhk.Go.Id/*, 2021. <https://sipsn.menlhk.go.id/sipsn/> (accessed Jul. 17, 2023).
- [3] D. Noorca, "Sampah Organik Paling Banyak di Kota Surabaya, Masyarakat Diminta Menghabiskan Makanan - Suara Surabaya," *Suara Surabaya*, 2022. <https://www.suarasurabaya.net/kelanakota/2022/sampah-organik-paling-banyak-di-kota-surabaya-masyarakat-diminta-menghabiskan-makanan/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [4] Universal Eco, "Limbah Botol - Pengertian, Dampak, dan Pengelolaannya," *Universal Eco*, 2023. <https://www.universaleco.id/blog/detail/limbah-botol-pengertian-dampak-dan-pengelolaannya/23> (accessed Jan. 18, 2023).
- [5] I. Purwanti, "Konsep Implementasi Ekonomi Sirkular dalam Program Bank Sampah (studi kasus: keberlanjutan bank sampah Tanjung)," *AmaNu J. Manaj. dan Ekon.*, vol. 4, no. 1, pp. 89–98, 2021, Accessed: Jul. 17, 2023. [Online]. Available: https://www.mendeley.com/catalogue/c6c6ef63-bc8b-3054-9803-0807a3d815ad/?utm_source=desktop&utm_medium=1.19.8&utm_campaign=open_catalog&userDocumentId=%7Ba3385ec5-c9c5-459a-8424-a986bf2850b3%7D
- [6] Kk_almamalik, "Pengenaln Pemodelan Sistem Dinamik menggunakan Vensim PLE - Google Play Buku," *Guepedia*, 2021.

<https://play.google.com/books/reader?id=2SJMEAAAQBAJ&pg=GBS.PA1> (accessed Jul. 10, 2023).

- [7] A. D. Sartono, "Potensi implementasi ekonomi sirkular dalam mengelola sampah plastik di Kabupaten Bogor," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 3, pp. 1184–1194, 2022.
- [8] A. Fitriyatus, A. Fauzi, and B. Juanda, "Peramalan Penyediaan dan Konsumsi Bahan Bakar Minyak Indonesia dengan Model Sistem Dinamik Prediction of Fuel Supply and Consumption in Indonesia with System Dynamics Model Pendahuluan," vol. 17, no. 2, pp. 118–137, 2018.
- [9] A. Zuhdi and A. F. Nurul, "Implementasi Circular Economy Pada Rumah Inovasi Dan Daur Ulang Bank Sampah Nusantara Pondok Pesantren Al Ihya Ulumaddin Kesugihan Cilacap," vol. 3, no. 12, 2022.
- [10] A. Kristianto and J. P. Nadapdap, "Dinamika sistem ekonomi sirkular berbasis masyarakat metode causal loop diagram kota bengkayang," no. June, 2021, doi: 10.46984/sebatik.v25i1.1279.
- [11] A. Aditya and E. Suryani, "Aplikasi Model Sistem Dinamik Untuk Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Air Dalam Rangka Memenuhi Kebutuhan Supply Dan Demand Energi Listrik Di Kepulauan (Studi Kasus: Pulau Madura)," *J. Inform. J. Pengemb. IT*, vol. 03, no. 01, pp. 7–14, 2018, doi: 10.30591/jpit.v3i1.649.
- [12] Manajemen, "Ekonomi Sirkular? – Official Web MANAJEMEN UISI," *manajemen.uisi.ac.id*, 2021. <https://manajemen.uisi.ac.id/ekonomi-sirkular/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [13] Zerowaste, "Tahapan Proses Daur Ulang Plastik - Zero Waste Indonesia," *zerowaste.id*, 2022. <https://zerowaste.id/zero-waste-lifestyle/proses-daur-ulang-plastik/> (accessed Jan. 18, 2023).
- [14] C. Maria Dimova and P. M. R. Stirk, "Introduction To Simulation," pp. 9–25, 2019.
- [15] F. A. Ekoanindiyo, "Pemodelan Sistem Antrian Dengan Menggunakan Simulasi," *Din. Tek.*, vol. V, no. 1, pp. 72–85, 2011.
- [16] Pasha, Donaya, and E. Suryani, "Pengembangan Model Rantai Pasok Minyak Goreng Untuk Meningkatkan Produktivitas Menggunakan Sistem Dinamik pada PT XYZ," *J. Tek. Inform. dan Sist. Inf.*, vol. 3, no. 2, pp. 116–128, 2017.
- [17] D. Sherwood, "Causal Loop Diagrams," in *Strategic Thinking Illustrated*, no. January 2004, 2022, pp. 23–36. doi: 10.4324/9781003304050-4.