

## SIKLUS PEMANFAATAN ENERGI SUMBER DAYA PESISIR OLEH AKTIVITAS MANUSIA BERBASIS LOOP AUTOKATALITIK DI KOTA MAKASSAR

### *Cycles of The Utilization of Coastal Resources Energy By Human Activities Base on Autocatalytic Loop in the Makasar City*

**\*Syahril Nur Amri dan Taslim Arifin**

Pusat Riset Kelautan, BRSDMKP-KKP

Kompleks Bina Samudera Gedung 2 Jln. Pasir Putih 1 Ancol Timur Lt. 4 Jakarta 14430, Indonesia

Diterima tanggal: 16 Maret 2018 Diterima setelah perbaikan: 10 Mei 2019

Disetujui terbit: 30 Juni 2019

#### ABSTRAK

Kota Makassar merupakan sebuah sistem sosial ekologi yang kompleks dengan berbagai proses metabolisme energi di dalamnya. Penelitian ini bertujuan menggambarkan pola pemanfaatan energi secara sederhana dalam kerangka konsep metabolisme sosial di Kota Makassar. Pendekatan yang digunakan adalah *Autocatalytic Feedback Loop*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lahan dan peningkatan konsumsi energi mengalami peningkatan seiring meningkatnya jumlah penduduk dan limbah. Di sisi lain, ketersediaan sumber daya lokal atau produksi perikanan, pertanian, dan peternakan mengalami ketidakstabilan produksi. Untuk menstabilkan sistem, sebagai suatu sistem yang selalu berusaha menstabilkan diri, Kota Makassar menstabilkan proses sistem dengan melakukan input sumber daya dari luar.

**Kata Kunci:** kota pesisir; sistem sosial ekologi; loop autokatalitik; metabolisme sosial; energi sumber daya

#### ABSTRACT

*Makassar City is a complex social ecological system with the various processes of energy metabolism in it. This study aims to describe simply the pattern of energy utilization within the framework of the concept of social metabolism in Makassar. The approach used is Autocatalytic Feedback Loop. The results showed that land use and energy consumption increased as population and waste increased. On the other hand, the availability of local resources or the production of fisheries, agriculture, and livestock have production instability. To stabilize the system, as a system that always try to stabilize itself, Makassar City stabilizes the system process by inputting external resources.*

**Keywords:** coastal cities; social ecological systems; autocatalytic loop; social metabolism; resource energy

#### PENDAHULUAN

Sebagai wilayah darat yang berbatasan dengan laut, kawasan pesisir menjadi wilayah yang memiliki kekayaan sumber daya alam yang melimpah. Posisi yang strategis menyebabkan kawasan ini secara ekonomi cepat bertumbuh, dan karena hal ini pulalah, kawasan pesisir rentan akan tekanan, baik dari aspek pemanfaatan sumber daya, maupun dari aspek pencemaran (Eurostat, 1999). Kesemuanya itu, jika tanpa pengelolaan yang tepat akan berdampak pada ketidakstabilan dan ketidakberlanjutan sistem. Kota pesisir sebagai sebuah sistem sosial ekologi dalam operasi dan usahanya menstabilkan proses

metabolismenya, beradaptasi dengan perubahan dan perkembangan zaman, membutuhkan energi yang cukup dan berkelanjutan. Energi tersebut dapat diperoleh melalui usaha eksploitasi sumber daya lokal maupun energi yang diperoleh dari luar sistem. Menurut Giampietro & Mayumi (2000), upaya pemenuhan kebutuhan sumber daya energi dilakukan untuk menstabilisasi aliran atau proses produksi dalam sistem, atau dengan kata lain, masyarakat berusaha untuk menstabilkan dan meningkatkan struktur dan fungsi masyarakat sesuai dengan nilai-nilai dan tujuan.

Kota pesisir merupakan sebuah sistem organisme yang kompleks dengan berbagai proses

\*Korespondensi Penulis:

email: sn\_amri@yahoo.co.id

Pusat Riset Kelautan, Badan Riset Sumber Daya Manusia Kelautan dan Perikanan, KKP, Kompleks Bina Samudera Gedung 2 Jln. Pasir Putih 1 Ancol Timur Lt. 4 Jakarta 14430, Indonesia

metabolisme energi di dalamnya (Odum, 1971). Tanah dan air dimanfaatkan dan diubah menjadi modal materi dengan serangkaian kegiatan sosial ekonomi perkotaan dalam jangka waktu tertentu, yang kemudian sisanya akan dikonversi untuk limbah dan dilepaskan ke lingkungan. Huang, Xinqi & Yecui (2015) mengatakan bahwa metabolisme perkotaan merupakan titik fokus ekologi perkotaan dimana analisis yang terlibat dalam proses di antaranya pertukaran bahan dan konversi energi, serta penggunaan dan pembuangan mereka. Konsep metabolisme perkotaan itu sendiri pertama kali diperkenalkan oleh Wolman pada Tahun 1965, dan menjadi dasar untuk mengembangkan kota dan hubungan masyarakat dan sumber daya yang berkelanjutan.

Aktivitas manusia menjadi faktor penentu ketersediaan sumber daya alam. Pemenuhan kebutuhan energi bagi manusia yang hidup dan beraktivitas dalam sebuah sistem seperti kota pesisir berdampak pada meningkatnya upaya eksploitasi sumber daya. Menurut Giampietro & Mayumi (2000), manusia mengubah lingkungan dimana mereka hidup dalam rangka meningkatkan efektivitas proses produksi dan konsumsi barang dan jasa dalam masyarakat mereka. Dalam hal biofisik, proses manusia atau masyarakat mengorganisir diri dan lingkungannya dapat dilihat sebagai kemampuan untuk menstabilkan jaringan arus materi dan energi yang mewakili apa yang diproduksi dan apa yang dikonsumsi dalam proses ekonomi. Agar berkelanjutan, proses tersebut harus: (1) sesuai dengan aspirasi masyarakat, (2) kompatibel dengan stabilitas ekosistem alam dan manusia, (3) kompatibel dengan stabilitas sosial dan lembaga-lembaga dan proses politik, (4) layak secara teknis, dan (5) ekonomis.

Konsep metabolisme perkotaan pertama kali diperkenalkan oleh Wolman pada Tahun 1965, yang menjadi dasar untuk mengembangkan kota dan hubungan masyarakat dan sumber daya yang berkelanjutan. Metabolisme perkotaan sendiri dapat didefinisikan sebagai jumlah total proses teknis dan sosial ekonomi yang terjadi di kota-kota, menghasilkan pertumbuhan, produksi energi, dan penghapusan limbah (Alier, Giorgos, Sandra, Mariana & Leah, 2010; Anderson & Elmqvist, 2012; Kennedy, Cuddihy & Engel, 2007).

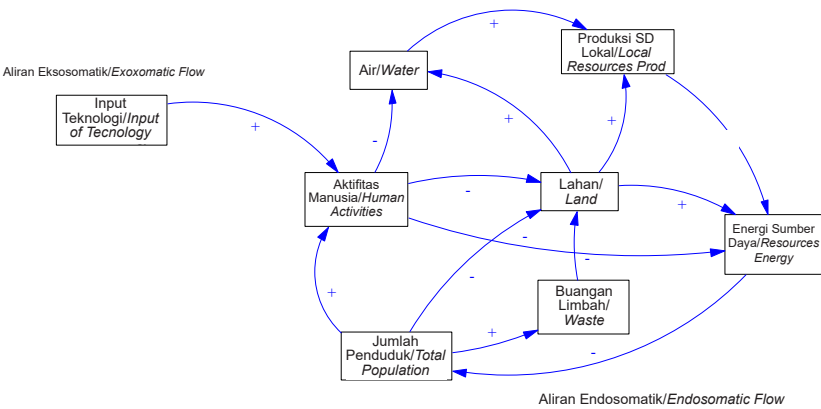
Penelitian mengenai metabolisme perkotaan (*urban metabolism*) mengintegrasikan teori-teori yang multidisiplin, meliputi perspektif geografi fisik, biologi, ekologi, ekonomi, dan sosiologi dan

telah banyak digunakan dalam berbagai disiplin ilmu seperti ekologi industri, ekologi perkotaan, ekonomi ekologi, ekologi politik dan geografi politik (Alier *et al.*, 2010; Bancheva, 2014).

Siklus metabolisme kota pesisir merupakan suatu gagasan baru tentang bagaimana suatu wilayah perkotaan dan sumber dayanya dapat dibuat berkelanjutan dan dianalisis melalui pendekatan kuantitatif (Agudelo-Vera, Mels, Keesman & Rijnaarts, 2012; Broto, Allen & Rapoport, 2012; Zhang, 2013; Voskampa *et al.*, 2018).

Siklus metabolisme kota pesisir yang akan dimodelkan meliputi arus energi dan materi yang terjadi dalam batasan sistem kota pesisir. Model disusun berdasarkan kerangka *Autocatalytic feedback loop*, dimana dalam skema tersebut, terdapat dua faktor utama yang berperan, yaitu manusia sebagai pemanfaat/pengelola (*human activity*) dan ketersediaan sumber daya pesisir yang dimanfaatkan (*natural resources*) (Andrésa, Barragána & Sanabria, 2018; Matutinovic, 2005; Hossain, Dearing, Eigenbrod & Johnson, 2017; Ulanowicz, 1999; Virapongse *et al.*, 2016). Dalam proses pemanfaatan sumber daya pesisir oleh manusia, model autokatalitik menggambarkan siklus dan kuantitas pemanfaatan energi (*useful energy*) oleh manusia dalam menunjang Aktivitasnya (Matutinovic, 2005; Huber *et al.*, 2013). *Input output* energi yang berproses dalam siklus suatu sistem berlangsung secara *endosomatic* dan *exosomatic* (Gambar 1). *Endosomatic* sebagai sumber/aliran energi dari dalam sistem itu sendiri, sedangkan *exosomatic* sebagai sumber/aliran energi yang berasal dari luar sistem. Konversi energi *Endosomatic*, yang merupakan konversi energi terkait dengan proses fisiologis manusia didorong oleh energi makanan. (*Endosomatic* berarti di dalam tubuh manusia) (Giampietro & Mayumi 2000). Model yang dihasilkan akan menggambarkan karakter dan siklus pemanfaatan energi dari sumber daya (*useful energy*) pesisir dan upayanya dalam menstabilkan diri dalam siklus metabolisme sosial.

Bentuk penggambaran aliran energi dalam metabolisme sosial yang sistematis dapat melalui model *autocatalytic loop* (Gambar 1). Ungkapan "*loop autocatalytic*" menunjukkan rantai umpan balik positif dalam rangka memperkuat diri dari efek sebagaimana dicontohkan dalam pola telur ayam (Giampietro & Mayumi, 2000; Gabora & Steel, 2017). Dalam *autocatalytic loop*, manusia dalam lingkup masyarakat merupakan sistem



**Gambar 1. Causal Loop Diagram (CLD) dari Proses Autokatalitik di Kota Makassar.**  
**Figure 1. Causal Loop Diagram (CLD) of Autocatalytic Process in Makassar City.**

yang kompleks dan stabil. Ini berarti bahwa *output* dari satu sektor yang dibutuhkan sebagai input oleh sektor-sektor lain sebagaimana dalam pola telur ayam. Dalam istilah ekonomi, lingkaran autokatalitik ini diwakili oleh pertukaran timbal balik antara energi, modal, aktivitas manusia (kerja dan non-kerja) di antara berbagai kompartemen dari proses ekonomi. Ketiga faktor tersebut (energi, modal dan aktivitas manusia) diperlukan untuk memproduksi dan mengkonsumsi modal, barang dan jasa.

Berbagai permasalahan sumber daya energi yang terjadi di wilayah kota pesisir menjadi penting untuk dikaji, sebab identifikasi masalah yang tepat dan komprehensif akan menghasilkan bentuk pengelolaan dan pemanfaatan energi yang baik, yang akan menjamin terciptanya keseimbangan dan kelestarian fungsi sumber daya itu sendiri.

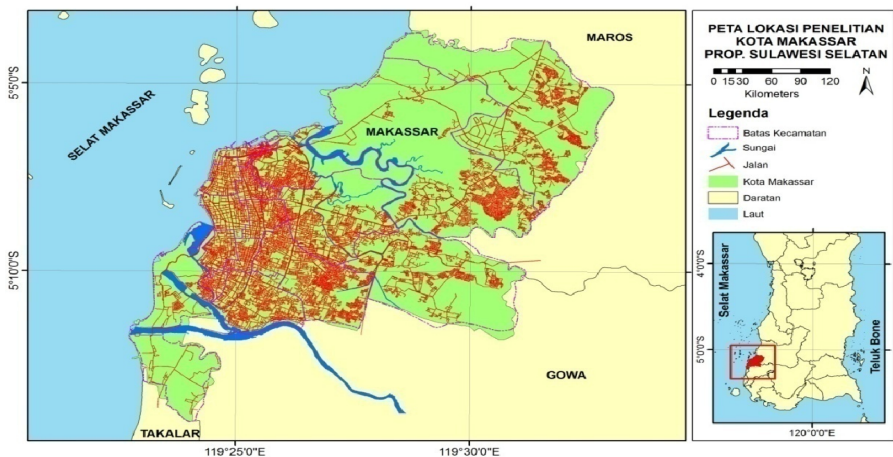
Penelitian ini bertujuan untuk menggambarkan secara sederhana proses metabolisme sosial di Kota Makassar dalam

kerangka *Autocatalytic Loop*. Output model yang diharapkan adalah tergambarnya siklus pemanfaatan energi sumber daya terbarukan, khususnya pada sektor perikanan, pertanian, dan peternakan di Kota Makassar, yang dimanfaatkan atau dikonsumsi oleh masyarakat Kota Makassar untuk kembali digunakan sebagai energi untuk mengolah dan memanfaatkan area terbuka yang tersedia. Model ini akan menggambarkan secara dinamik, bagaimana pemanfaatan energi sumber daya terbarukan terhadap peningkatan jumlah penduduk dari tahun ke tahun. Dengan penggambaran yang dinamis, maka dapat tergambarkan bagaimana sistem sosial ekologi seperti Kota Makassar akan menstabilkan diri.

**METODOLOGI**

**Waktu dan Lokasi Penelitian**

Penelitian dilaksanakan pada Tahun 2016, dengan lokasi penelitian sebagai batas sistem adalah Kota Makassar.



**Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian /Batas Sistem Model.**  
**Figure 2. Research Location Map/Border of Model System**

### Konsep Model *Autocatalytic Feedback Loop*

Sumber daya alam/energi yang dimanfaatkan (*natural resources/useful energy*) dan Aktivitas masyarakat (*human activity*) merupakan dua komponen utama yang berperan penting dalam proses metabolisme perkotaan pesisir. Komponen sumber daya terbarukan seperti perikanan budi daya, perikanan tangkap, peternakan, pertanian dan perkebunan, merupakan komponen sumber daya alam yang paling maksimal dimanfaatkan oleh masyarakat perkotaan yang baru berkembang seperti Kota Makassar dan menjadi proses transformasi utama dalam sistem. Sementara proses transformasi sekunder (industri manufaktur, jasa dan perdagangan, ekspor impor, transportasi, dan pembuangan) menjadi katalis utama dalam proses *feedback autocatalytic* (Gambar 3). Nelayan, pembudi daya, dan petani menjadi penggerak atau interaktor utama yang memanfaatkan dan mengelola sumber daya yang tersedia (*available energy*), sedangkan pemerintah sebagai aktor regulator yang mengelola dan meregulasi proses eksploitasi sumber daya, proses sirkulasi, dan interaksi di dalam sistem endosomatik.

Dalam proses metabolisme endosomatik, energi mengalir ke seluruh komponen masyarakat Kota Makassar. Pemenuhan energi tentu saja semakin sulit mengingat pertumbuhan penduduk juga semakin meningkat dari tahun ke tahun. Lahan tambak, sawah, ladang, dan peternakan yang selama ini memproduksi untuk memenuhi kebutuhan energi pangan masyarakat semakin terdegradasi dan membutuhkan pola intensifikasi melalui input teknologi untuk meningkatkan hasil panennya. Untuk meningkatkan daya

tahan dan proses stabilisasi sistem, diperlukan bantuan penggerak dari luar (*exosomatik*) yang diimpor seperti bahan bakar dan listrik (*fuels & electricity*), barang dan jasa (*goods & services*), makanan dan air (*foods & water*), dan tenaga kerja (*labour/jobs*).

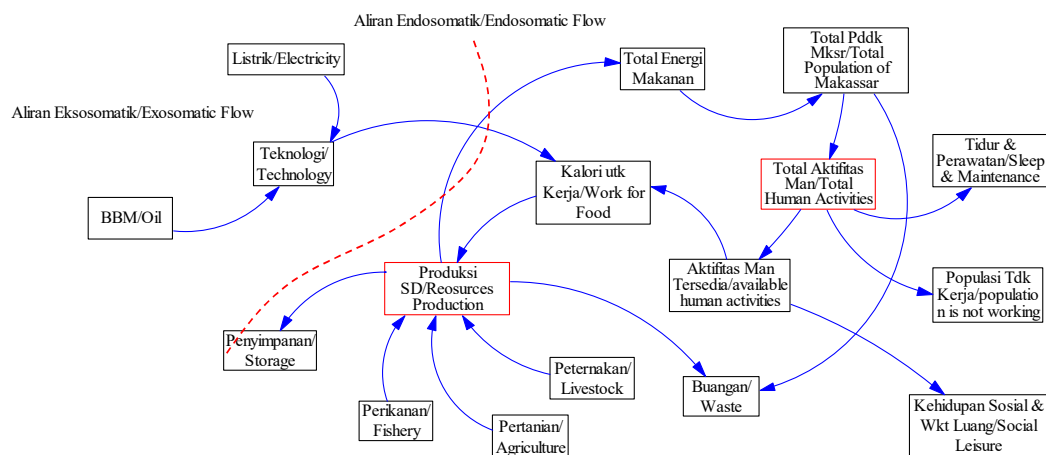
### Tahapan dan Batasan Penelitian

Agar penelitian berjalan secara sistematis, maka dilakukan tahapan kerja sebagai berikut:

#### 1. Penentuan Batas Sistem, Asumsi, dan Sumber Data

Kawasan kota pesisir merupakan sistem yang terbuka, dimana *input* dan *output* energi sangat kompleks dan dinamis, oleh karena itu perlu untuk membatasi dan menerapkan asumsi sehingga gambaran nyata dalam suatu sistem dapat lebih mudah dipahami. Penentuan lokasi penelitian dibatasi pada wilayah administrasi Kota Makassar. Sedangkan untuk menyederhanakan model maka digunakan batasan-batasan berupa asumsi, yang antara lain:

- Standar sosial negara berkembang (standar usia untuk usia produktif). Jam kerja di Indonesia sesuai UU No. 13 tahun 2003 tentang Ketenagakerjaan yaitu 40 jam seminggu atau 2080 jam/tahun.
- Kebutuhan dasar makanan menggunakan standar populasi negara berkembang. Kebutuhan kalori masyarakat di Kota Makassar adalah 1.958,24 kkal/org/hari dan kebutuhan protein sebesar 61,18 gram/org/hari atau  $(1.958,24 + (61,18 \times 4 \text{ kkal})) = 2.202,96 \text{ kkal}$  (Susenas BPS, 2012).



**Gambar 3. Skema Sederhana *Autocatalytic Loop* dari Proses Metabolisme Kota Pesisir Makassar.**  
**Figure 3. Simple Scheme of *Autocatalytic Loop* From Metabolism Process of Makassar City.**



- c. Indikator beban lingkungan terbatas pada limbah cair dan limbah padat. Standar buangan sampah padat kota Metropolitan, yaitu tingkat timbunan sampah sebanyak 0,0035 m<sup>3</sup>/orang/hari, sedangkan standar buangan limbah cair sebanyak 0,118 m<sup>3</sup>/orang/hari.
- d. Jenis, luasnya penggunaan lahan dan produksi dalam sistem ini terbatas pada penggunaan lahan dan produksi sumber daya alam terbarukan, yaitu perikanan, pertanian, dan peternakan.
- e. Aktivitas manusia atau mata pencaharian masyarakat pesisir terbatas pada sektor perikanan, pertanian, peternakan dan industri.
- f. Jenis data yang diambil adalah data yang berkaitan dengan pola dan kuantitas konsumsi energi masyarakat (dalam unit kalori atau joule), produksi sumber daya terbarukan dari sektor perikanan, pertanian dan peternakan, dan jumlah pembuangan limbah di Kisaran tahun 2001, 2006, 2011, dan 2015. Sumber data diperoleh dari BPS Kota Makassar, Bappeda Kota Makassar, Dinas Perindustrian Kota Makassar, dan Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Makassar.

## 2. Identifikasi variable yang terlibat dalam model

Metabolisme Sosial (*Social Metabolism*) yang bersiklus dalam suatu sistem merupakan rangkaian keterkaitan antara banyak sub-sistem. Sub sistem yang terlibat dalam siklus Metabolisme Sosial adalah segala energi sumber daya yang dimanfaatkan (sumber daya terbarukan, sumber daya tidak terbarukan, dan sumber daya impor) oleh segala Aktivitas masyarakat (pertanian, perikanan, industri, dan lain-lain).

## 3. Konversi Unit

Untuk memudahkan analisis dan pemodelan, maka satuan unit dari energy sumber daya disatukan dalam unit energi yang sama yaitu Mega Joule (MJ).

## 4. Penggambaran Diagram Siklus Autokatalitik

Aliran energi dalam sistem digambarkan dalam suatu bentuk diagram siklus autokatalitik yang mengacu pada diagram yang dikembangkan oleh Giampietro & Mayumi (2000) (Gambar 4).

## 5. Persamaan

Untuk mendapatkan nilai dari analisis siklus metabolisme social, maka digunakan persamaan-persamaan sebagai berikut:

a. Kalori untuk Kerja (KK)/*Calories for Work*

$$KK = ((TP \times TAM) - (PK \times WK)) / 24 \times (2.202,96 \times 0,0041868) \quad \dots\dots\dots(1)$$

Dimana/Where:

TP = Total Penduduk/*Total of Population*

TAM = Total Aktivitas manusia/*Total of Human Activities*

PK = Jumlah populasi yang bekerja/*Number of Work Population*

WK = Waktu Kerja/*Time Work*

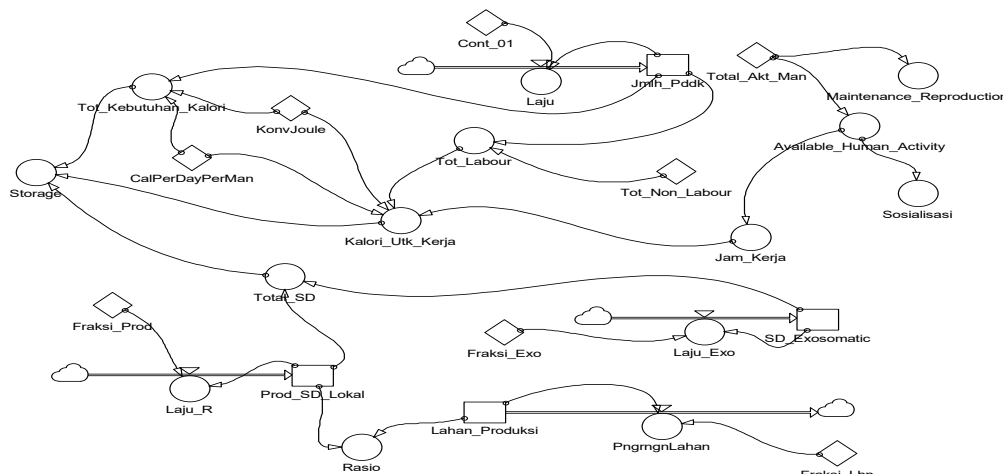
b. Total Kebutuhan Kalori (TKK)/*Total Calorie Requirement*

$$TKK = KDM \times KonvJoule \times JP \times 365 \quad \dots\dots\dots(2)$$

Dimana/Where:

KDM = Kalori per hari per manusia/*Calorie per Day per Human*

JP = Jumlah Penduduk/*Total Population*



**Gambar 4. Diagram Siklus Lup Autokatalitik Kota Makassar.**  
**Figure 4. Diagram of Autocatalytic Loop of Makassar City.**

## 6. Uji Validasi

Uji validasi dilakukan untuk melihat status kelayakan suatu model apakah merepresentasikan kondisi sebenarnya. Validasi dilakukan dengan membandingkan perilaku variabel yang dihasilkan model dengan perilaku pada sistem aktual. Dalam penelitian ini, uji validasi menggunakan *Absolute Mean Error (AME)*, yaitu penyimpangan antara nilai *mean* hasil simulasi dengan nilai *mean* aktual. Batas penyimpangan yang ditolerir dan dianggap bisa untuk dilakukan simulasi *forecasting* adalah nilai *AME* di bawah atau  $< 10\%$ . Variabel uji yang dipakai adalah variabel sumber daya impor (F), jumlah penduduk dan produksi limbah. Adapun formulanya sebagaimana berikut:

Kesalahan Absolut Rata-Rata/*Absolute Mean Error (AME)* (Shcherbakov, Brebels, Shcherbakova, Tyukov, Janovsky & Kamaev, 2013):

$$E_1 = \frac{|\bar{S} - \bar{A}|}{A} \dots\dots\dots(3)$$

$$\bar{S} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N S_i \dots\dots\dots(4)$$

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N A_i \dots\dots\dots(5)$$

Keterangan/*Remarks*:

S = Nilai Simulasi/*Value of Simulation*

A = Nilai Aktual/*Actual Value*

N = Interval Waktu/*Interval of Time*

### Analisis

*Output* penelitian diharapkan mampu memberikan gambaran sederhana mengenai siklus metabolisme energi di Kota Makassar. Aliran energi endosomatik yang menggambarkan upaya manusia atau masyarakat dalam menstabilkan sistem sehingga proses dan fungsi sistem dapat terus berkelanjutan. Untuk

memodelkan proses *autocatalytic feedback loop* di Kota Pesisir Makassar digunakan pendekatan dinamika sistem dengan menggunakan software powersim. Ide utama dalam pemodelan sistem dinamik adalah untuk mengerti perilaku suatu sistem dengan menggunakan struktur matematika yang sederhana. Dengan demikian sistem dinamik dapat membantu perencanaan dalam hal-hal sebagai berikut: (a) menggambarkan suatu sistem, (b) mengerti suatu sistem, (c) mengembangkan model secara kualitatif dan kuantitatif, (d) mengidentifikasi perilaku umpan balik dari suatu sistem, (e) mengembangkan kendali kebijakan untuk pengelolaan sistem yang lebih baik (Darmono, 2005; Hasan, 2011).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penduduk dan Tenaga Kerja

Manusia merupakan faktor utama sebagai pendorong (*driving factor*) terjadinya perubahan dan dinamika dalam suatu wilayah. Manusia mengubah alam dan memanfaatkan sumber daya untuk memenuhi kebutuhan hidupnya. Manusia bekerja dan beraktivitas sebagai bagian dari proses memanfaatkan dan mengolah sumber daya. Kota Makassar yang merupakan kota yang sedang bertumbuh dengan pesat, selama ini banyak memanfaatkan lahannya sebagai sumber energi terbarukan, namun seiring waktu dan semakin bertumbuhnya ekonomi melalui investasi, semakin meningkatkan ruang-ruang terbangun baik sebagai permukiman, industri, dan infrastruktur. Tahun 2015, penduduk Kota Makassar sudah mencapai 1.547.941 jiwa, meningkat sebanyak 431.107 jiwa selama kurun waktu 15 tahun, dengan jumlah tenaga kerja sebesar 1.066.617 jiwa (Tabel 1). Jumlah sebesar itu bekerja di berbagai macam sektor seperti, industri, perdagangan, perikanan dan pertanian, pemerintahan, jasa, dan sebagainya.

**Tabel 1. Data Jumlah Penduduk dan Tenaga Kerja di Kota Makassar.**  
**Table 1. Data of Population and Manpower in Makassar City.**

Tahun/Year	Jumlah Penduduk/ Total Population	Populasi Tidak Kerja (orang)/ Population Not Working (people)	Total Tenaga Kerja (orang)/ Total Labor (people)
2001	1,116,834	490,880	625,954
2003	1,145,406	449,103	696,303
2006	1,216,746	419,355	797,391
2008	1,253,656	415,137	838,519
2011	1,352,136	429,478	922,658
2013	1,408,072	442,539	965,533
2015	1,547,941	481,324	1,066,617

## Energi Sumber daya Terbarukan Lokal (R)

Sebagai kota pesisir dan memiliki laut yang cukup luas, produksi sektor perikanan tangkap di Kota Makassar menjadi salah satu sektor andalan yang hingga saat ini masih mampu memenuhi kebutuhan protein ikan masyarakat Kota Makassar dan sekitarnya (Tabel 2). Di Kota Makassar, selain sektor perikanan laut dan budi daya, sektor pertanian dan peternakan juga menjadi sektor andalan dalam memasok kebutuhan energi.

Sebagian masyarakat Kota Makassar berprofesi sebagai nelayan, petambak, petani, dan peternak, sebagian lagi bekerja di sektor perdagangan, jasa, dan buruh pada sektor industri. Sebagai kota dengan tingkat pertumbuhan jumlah penduduk yang signifikan beberapa tahun belakangan ini, menyebabkan terjadinya pola pemanfaatan energi sumber daya. Berubahnya fungsi-fungsi sebagian lahan komoditas perikanan dan pertanian menjadi lahan permukiman dan industri, menyebabkan terjadinya perubahan cara mencari nafkah dan pola konsumsi sebagian masyarakat Kota Makassar.

Jumlah penduduk Kota Makassar di tahun 2015 telah mencapai 1.547.941 jiwa. Dengan asumsi kebutuhan rata-rata kalori per orang wilayah perkotaan di Sulawesi Selatan (Susenas, 2012) sebesar 2202,96 kkal atau 9,22 MJ per hari, maka kebutuhan konsumsi (kalori) penduduk Kota Makassar menjadi sebesar 5,21E+09 MJ (Tabel 3). Kebutuhan energi masyarakat masih lebih besar dibanding produksi energi sumber daya lokal terbarukan yang pada tahun 2015 sebesar 1,35E+08 MJ. Hal tersebut menunjukkan fakta bahwa peningkatan jumlah penduduk sudah menjadi masalah yang serius bagi Kota Makassar, dan akan menyebabkan terjadinya kerawanan sosial dan ekologi apabila tidak dilakukan langkah-langkah kebijakan yang serius. Fakta tersebut juga menjadi indikasi bagaimana Kota Makassar sebagai sebuah sistem, tidak lagi mampu sistem

yang tertutup, dimana energi sumber daya lokal masih mampu memenuhi kebutuhan masyarakatnya.

Sebagai contoh, dengan luasan tambak di Kota Makassar yang tersisa seluas 1.280 hektar atau 7,28 % dari luas total Kota Makassar. Dengan produksi perikanan tambak sebesar 864,7 ton per tahun, maka diperoleh jumlah kalori protein sebesar 4,09E+06 MJ (Nilai kalori ikan 113 kkal per 100 gram atau 0,47 MJ per 100 gram). Dengan jumlah penduduk sebesar 1.547.941 jiwa dan asumsi kebutuhan protein di Kota Makassar berdasarkan Susenas BPS (2012) sebesar 61,18 kkal atau 0,26 MJ per hari per kapita atau 94,9 MJ per kapita per tahun, maka jumlah protein yang dibutuhkan masyarakat Kota Makassar sebesar 1,47E+08 MJ. Jumlah energi sumber daya dari sektor perikanan tambak Kota Makassar belum memenuhi kebutuhan protein secara total masyarakat Kota Makassar, masih dibutuhkan asupan tambahan protein dari sektor lain seperti perikanan laut, daging, dan protein nabati.

Peningkatan jumlah penduduk juga menyebabkan tingginya tingkat konsumsi masyarakat, yang berujung pada menurunnya kemampuan sumber daya lokal untuk memenuhi atau mensuplai kebutuhan masyarakat. Air bersih merupakan salah satu contoh sumber daya lokal yang mengalami kelangkaan, baik akibat konsumsi atau penggunaan yang berlebih, juga karena terjadinya penurunan kualitas lingkungan yang menyebabkan intrusi air laut. Menurut hasil penelitian Ismail, Mary & Mukhsan (2012), kapasitas produksi air bersih PDAM tahun 2012 sebesar 2.335 liter/detik, belum cukup dalam pemenuhan kebutuhan air bersih penduduk Kota Makassar sampai pada tahun 2027. Saat ini, sumber air bersih yang mengalir di Kota Makassar bersumber dari Sungai Lekopancing dan Sungai Jeneberang yang dikelola oleh PDAM Kota Makassar. Konsumsi air bersih Kota Makassar pada tahun 2015 sebesar 44.919.898 m<sup>3</sup> (BPS Kota Makassar, 2016).

**Tabel 2. Nilai Produksi (Mega Joule) Sumber Daya Alam Terbarukan Lokal Kota Makassar dari Tahun 2001 – 2015.**

**Table 2. Production Value (Mega Joule) of Makassar's Local Renewable Natural Resources From 2001 – 2015.**

Produksi/ Production	Nilai Produksi Sumber daya Terbarukan (MJ)/ Value of Renewable Resources Production (MJ)						
	2001	2003	2006	2008	2011	2013	2015
Perikanan/ <i>Fishery</i>	6,25E+04	8,70E+04	7,33E+04	6,95E+04	5,53E+04	6,13E+04	6,54E+04
Pertanian/ <i>Agriculture</i>	1,90E+05	1,59E+05	2,00E+05	2,45E+05	2,24E+05	2,41E+05	1,97E+05
Peternakan/ <i>livestock</i>	1,95E+07	4,94E+07	3,67E+07	1,42E+07	3,51E+07	9,92E+06	1,34E+08
<b>Jumlah/Total</b>	<b>1,97E+07</b>	<b>4,96E+07</b>	<b>3,69E+07</b>	<b>1,45E+07</b>	<b>3,54E+07</b>	<b>1,02E+07</b>	<b>1,35E+08</b>

**Tabel 3 Nilai Energi Sumber daya Lokal dan Impor, serta Total Kebutuhan Energi dan Jumlah Kalori/ Energi yang Dibutuhkan untuk Produksi Energi di Kota Makassar.****Table 3 Value of Local and Imported Energy Resources, and Total Energy Requirement and the Number of Calories / Energy Required for Energy Production in Makassar City.**

Tahun/ Year	SD Terbarukan (R) Lokal (MJ)/ Local Renewable Resources (MJ)	Import Sumber Daya (MJ)/Import Resource (MJ)	Kalori utk Kerja (MJ)/ Work for Food (MJ)	Total Kebutuhan Kalori (MJ)/ Total Calorie Requirement (MJ)	Simpanan Sumber Daya (MJ)/Resources Storage (MJ)	Buangan (MJ)/Waste (MJ)
2001	1.97E+07	3.75E+09	5.004E+08	3.76E+09	1.38E+07	4.14E+08
2003	4.96E+07	4.81E+09	5.566E+08	3.86E+09	1.01E+09	4.25E+08
2006	3.69E+07	5.70E+09	6.374E+08	4.10E+09	1.64E+09	4.51E+08
2008	1.45E+07	5.15E+09	6.703E+08	4.22E+09	9.40E+08	4.65E+08
2011	3.54E+07	6.48E+09	7.375E+08	4.55E+09	1.96E+09	5.02E+08
2013	1.02E+07	6.93E+09	7.718E+08	4.74E+09	2.20E+09	5.23E+08
2015	1.35E+08	7.76E+09	8.526E+08	5.21E+09	2.68E+09	5.74E+08

Selain air bersih, kebutuhan akan energi listrik dan bahan bakar juga menjadi sangat penting dalam suatu sistem perkotaan. Energi listrik dan bahan bakar menjadi motor penggerak bagi kegiatan industri, transportasi, dan permukiman. Hanya saja, sumber daya air untuk konsumsi, bahan bakar, dan listrik merupakan barang langka, olehnya itu diperlukan impor (*purchase*) terhadap ketiga bahan tersebut. Sebagai kota yang terbesar di pulau Sulawesi, Kota Makassar menjadi pusat beban listrik bagi PLN, dengan kebutuhan listrik sebesar 350 MW/tahun. Selama ini, kebutuhan listrik di Kota Makassar disuplai dari Gardu Induk Tallasa PT PLN Wilayah Sulselbar yang berada di Kabupaten Takalar yang disalurkan melalui PLTU Tello Makassar. Konsumsi listrik Kota Makassar pada tahun 2015 sebesar 1.719.278.109 Kwh atau 6,189E+09 MJ (BPS Kota Makassar, 2016). Sedangkan Untuk pemenuhan bahan bakar dan minyak (BBM) di Kota Makassar, masih dipasok oleh PT. Pertamina UPMS Regional VII. Konsumsi BBM Kota Makassar pada tahun 2015 setelah dikonversi ke joule sebesar 1,566E+09 MJ.

Untuk memenuhi kebutuhan energi *endosomatic* bagi masyarakat Kota Makassar sebesar 5,21E+09 MJ, diperlukan sejumlah kalori yang cukup bagi para pekerja (*labor*). Berdasarkan data BPS Kota Makassar tahun 2016, jumlah penduduk Kota Makassar tahun 2015 sebesar 1.547.941 jiwa, 481.324 jiwa diantaranya merupakan usia tidak produktif, yaitu usia 0-15 tahun dan >65 tahun, sedangkan 1.066.617 jiwa merupakan usia produktif dan dalam penelitian ini diasumsikan sebagai pekerja. Jumlah kalori yang dibutuhkan untuk bekerja (*work for food*) bagi penduduk usia produktif di Kota Makassar tersebut sebesar

8,53E+08 MJ, dengan harapan bisa memenuhi kebutuhan total energi bagi masyarakat dalam sistem kota pesisir. Untuk memenuhi kebutuhan energi akibat peningkatan jumlah penduduk yang sulit dikendalikan pertumbuhannya, maka dilakukan peningkatan produksi energi khususnya pada sektor industri dan jasa yang menjadi komponen *feedback autocatalytic* yang mampu mendorong jumlah energi.

Peningkatan jumlah produksi melalui pemberdayaan mesin tentunya membutuhkan bahan bakar. Olehnya itu, pemenuhan energi tersebut harus didatangkan dari luar. Sistem Energi tersebut dibatasi pada pembelian (*purchase*) listrik, bahan bakar, dan air bersih. Energi yang diimpor (F) berdasarkan data yang diperoleh pada tahun 2015 adalah sebesar 7,76E+09MJ. Impor sebesar itu dilakukan untuk memenuhi kebutuhan total energi dalam sistem yang sebesar 5,21E+09 MJ dan mendorong produksi lokal yang hanya sebesar 3,16E+08 MJ, sedangkan energi yang dibutuhkan untuk kerja lebih besar yaitu 8,526E+08 MJ. Nilai impor sebesar tersebut melebihi kebutuhan total sistem, sehingga masih mampu menyimpan energi (*storage*) sebesar 6,90E+09 MJ. Energi dalam storage tersebut bisa diwujudkan sebagai ekspor atau juga sebagai cadangan devisa.

### Simulasi Dinamika Sistem

Simulasi pada model sistem dinamik dari siklus endosomatik menggunakan variabel jumlah penduduk, produksi sumber daya alam, dan penggunaan lahan. Ketiga variabel tersebut saling terkait. Penduduk merupakan aktor utama yang memanfaatkan sumber daya alam, namun



konsekuensi dari Aktivitas manusia tersebut adalah terjadinya degradasi lingkungan berupa konversi lahan. Dalam model dinamika sistem yang dibangun, ketiga variabel tersebut digunakan untuk menilai dan mengamati siklus metabolisme energi yang terjadi. Aliran *autocatalytic feedback loop* akan memberi gambaran bagaimana masyarakat kota pesisir memanfaatkan sumber daya terbarukan untuk memenuhi kebutuhan hidup dan bekerja untuk menghasilkan energi sumber daya kembali, yang kemudian dimanfaatkan kembali, berulang dan berulang. Namun, tentu saja peningkatan jumlah penduduk menjadi tantangan tersendiri bagi ketersediaan energi sumber daya, sebab kebutuhan akan lahan terbangun akan semakin meningkat pula dan menyebabkan berkurangnya lahan yang menyimpan stok sumber daya lokal. Tentunya dibutuhkan regulasi dan langkah teknis untuk menghadapi masalah sosial tersebut. Salah satu langkah teknis yang dapat diterapkan adalah dengan menggunakan pola intensifikasi melalui input teknologi untuk meningkatkan jumlah panen atau produksi. Langkah lainnya adalah dengan meningkatkan impor energi sumber daya.

Sebagai kota pesisir, Kota Makassar sangat menggantungkan produk perikanan, peternakan dan pertanian sebagai sumber atau bahan konsumsi oleh masyarakat. Aktivitas masyarakat yang mengelola sektor perikanan, peternakan dan pertanian menjadi terganggu akibat semakin meningkatnya pertumbuhan ekonomi dan jumlah penduduk sebagai imbas bermetamorfosisnya wilayah Makassar menjadi sebuah kota metropolitan, dimana keberadaan lahan kosong

atau area terbuka dengan fungsi pertanian dan perikanan semakin berkurang karena terkonversi menjadi lahan terbangun.

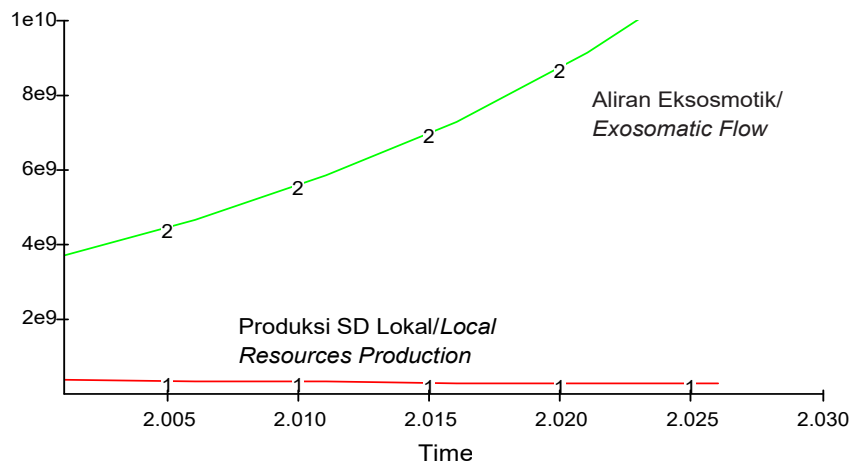
Sebelum melanjutkan analisis sistem dinamik, dilakukan validasi data untuk menjamin keakuratan data model proyeksi yang akan dibuat. Validasi dilakukan dengan membandingkan data *multi series* dari tahun 2001, 2003, 2006, 2008, 2011, 2013, dan 2015 dengan data hasil simulasi. Setelah mendapatkan nilai kontrol dengan validasi *AME (Absolute Mean Error)* di bawah 10 %, maka model proyeksi dinyatakan layak untuk dilanjutkan. Variabel uji yang dipakai adalah variabel sumber daya impor (F), dan jumlah penduduk. Berdasarkan hasil uji validasi pada kedua variabel tersebut menunjukkan nilai di bawah 10% (Tabel 4), yang berarti bahwa proses pemodelan layak untuk dilanjutkan.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi energi sumber daya lokal khususnya pada sektor perikanan dan pertanian, belum mampu mengimbangi kebutuhan energi yang dibutuhkan masyarakat Kota Makassar untuk beraktivitas. Dari grafik pada Gambar 5 terlihat garis produksi energi sumber daya lokal yang bersumber pada sektor perikanan dan pertanian mengalami *trend* penurunan, sedangkan pembelian sumber daya semakin meningkat dengan tajam. Hal tersebut disebabkan karena jumlah penduduk dari tahun ke tahun terus meningkat seiring dengan pertumbuhan sektor industri yang membutuhkan banyak energi bahan bakar dan listrik. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa Kota Makassar berkembang sebagai kota metropolitan.

**Tabel 4. Hasil Uji Validasi Tiga Variabel Utama, yaitu Jumlah Penduduk, Produksi Sumber daya Terbarukan Lokal (R), dan Penggunaan Lahan (Area Terbuka).**

**Table 4. Validity Test Results of Three Major Variables, i.e., Population, Local Renewable Resources Production (R), and Land Use (Open Area).**

Tahun/ Year	Jumlah Penduduk Aktual/Total population Actual	Jumlah Penduduk Simulasi/Total population Simulation	Area Terbuka Aktual/Open Area Actual	Area Terbuka Aktual/ Open Area Simulation	R Aktual/ R Actual	R Simulasi/ R Simulation
2001	1,116,834	1,116,834	109,826.04	109,826.04	8,882	8.15
2003	1,145,406	1,172,493.31	108,552.45	109,325	8.55	8.77
2006	1,216,746	1,261,226.22	107,278.86	108,526.51	8,237	8.71
2008	1,253,656	1,324,081.55	106,984.25	107,960.82	7.94	8.66
2011	1,352,136	1,424,286.4	106,689.63	107,058.97	7,676	8.59
2013	1,408,072	1,495,345	105,486.02	106,420.14	7,624	8.54
2015	1,547,941	1,569,787	104,282.4	105,749.46	7,494	8.49
<b>AME</b>	<b>0,036</b>		<b>0.008</b>		<b>0.062</b>	
<b>%</b>	<b>3,57</b>		<b>0.769</b>		<b>6.218</b>	



**Gambar 5. Grafik Perbandingan Antara Jumlah Produksi Sumber Daya Terbarukan Lokal (R) dan Sumber Daya Impor di Kota Makassar.**

**Figure 5. Graph of Comparison between the Number of Local Renewable Resources Production (R) and Import Resources in Makassar City.**

Pada tahun 2015, total energi sumber daya yang dihasilkan Kota Makassar adalah sebesar  $8,07\text{E}+09$  MJ dengan jumlah penduduk sebesar 1.547.941 jiwa. Total energi sumber daya tersebut akan terus meningkat hingga  $1,54\text{E}+10$  MJ di tahun 2031 dengan prediksi jumlah penduduk sebesar 2.060.309 Jiwa (Tabel 5). Nilai tersebut merupakan gabungan energi sumber daya lokal dan impor, dimana nilai ekspor meningkat signifikan sementara produksi dalam sistem semakin menurun seiring meningkatnya jumlah penduduk yang berimbas pada peningkatan konversi lahan dan meningkatnya investasi pada sektor industri.

Untuk memenuhi ketersediaan energi sumber daya endosomatik masyarakat Kota Makassar, dibutuhkan sejumlah kalori yang cukup untuk bekerja (*work for food*). Sejumlah kalori yang digunakan untuk bekerja tersebut diharapkan mampu menghasilkan sejumlah energi sebesar total kebutuhan seluruh sistem (*feedback*). Untuk itu penggunaan teknologi khususnya pada sektor industri sangat diperlukan guna meningkatkan produksi energi dan untuk menggerakkan mesin

industri tentunya dibutuhkan energi berupa bahan bakar dan listrik yang ketersediannya diperoleh melalui pembelian dari luar sistem (impor).

Jumlah penduduk pada usia kerja/produktif (diasumsikan sebagai tenaga kerja atau *labor*) pada tahun 2015 di Kota Makassar sebesar 1.066.617 jiwa, dan dibutuhkan energi kerja (*work for food*) sebesar  $8,53\text{E}+08$  MJ. Energi kerja tersebut diperlukan untuk memproduksi energi sumber daya sebesar  $5,21\text{E}+09$  MJ (Tabel 6). Kebutuhan energi tersebut jauh di atas kemampuan produksi energi sumber daya pada sektor perikanan, pertanian, dan peternakan dapat dilihat pada Gambar 6.

Produksi lokal pada sektor perikanan, pertanian, dan peternakan hanya menghasilkan energi sebesar  $3,16\text{E}+08$  MJ belum cukup, masih ada kekurangan energi sebesar  $4,36\text{E}+09$  MJ. Gambaran tersebut menunjukkan bahwa energi sumber daya terbarukan lokal tidak cukup memenuhi kebutuhan energi masyarakat Kota Makassar secara keseluruhan.

**Tabel 5. Jumlah Produksi Energi Sumber Daya Terbarukan Lokal dan Jumlah Impor Energi Sumber daya Kota Makassar.**

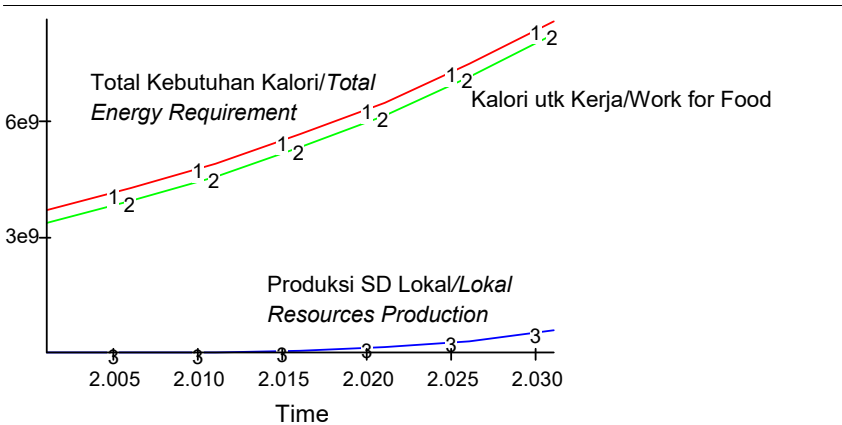
**Table 5. Number of Local Renewable Energy Resources Production and Total Imports of Resource Energy of Makassar City.**

Tahun/ Year	Impor Energi Sumber Daya (MJ)/Import Energy Resources (MJ)	Produksi Energi Sumber Daya Lokal(MJ)/Local Energy Production (MJ)	Total Sumber Daya/Total Resources
2015	$7.76\text{E}+09$	$3.16\text{E}+08$	$8.07\text{E}+09$
2021	$9.69\text{E}+09$	$3.00\text{E}+08$	$9.99\text{E}+09$
2026	$1.21\text{E}+10$	$2.85\text{E}+08$	$1.24\text{E}+10$
2031	$1.51\text{E}+10$	$2.71\text{E}+08$	$1.54\text{E}+10$

**Tabel 6. Jumlah Kebutuhan Kalori untuk Kerja Berdasarkan Tenaga Kerja (Usia Produktif) dan Kekurangan Energi yang Harus Dipenuhi untuk Menjamin Keberlanjutan Proses dalam Sistem.**

**Table 6. Number of Calorie Requirements for Work Based on Labor (Productive Age) and Energy Deficiency that Mustbe Fulfilled to Ensure Sustainability Process in the System.**

Tahun/ Year	Jumlah Penduduk (Jiwa)/ Total Population (People)	Tenaga Kerja/Labor	Total Kebutuhan Energi (MJ)/Total Energy Requirement (MJ)	Kalori Untuk Kerja (MJ)/Work for Food (MJ)	Kekurangan Energi/Energy Shortage
2015	1.55E+06	1.07E+06	5.21E+09	8.53E+08	4.36E+09
2021	1.70E+06	1.22E+06	5.73E+09	9.76E+08	4.76E+09
2026	1.87E+06	1.39E+06	6.31E+09	1.11E+09	5.19E+09
2031	2.06E+06	1.58E+06	6.94E+09	1.26E+09	5.67E+09



**Gambar 6. Grafik Perbandingan Jumlah Total Kalori yang Dibutuhkan Sistem, Kalori yang Dibutuhkan untuk Kerja, dan Nilai Produksi Sumber Daya Terbarukan Lokal yang Dihasilkan pada Sektor Perikanan, Pertanian, dan Peternakan.**

**Figure 6. Graph of Comparison of Total Calories Required System, Calories Needed for Work, and Value of Production of Local Renewable Resources Produced in Fisheries, Agriculture and Livestock Sector.**

Diperlukan energi tambahan untuk bisa memacu pertumbuhan energi sehingga kebutuhan energi di Kota Makassar dapat terpenuhi. Untuk memenuhi kekurangan energi tersebut, diperlukan mesin penggerak yang dalam penelitian ini dikategorikan dalam sektor industri dan transportasi. Kedua sektor tersebut membutuhkan energi penggerak berupa bahan bakar dan listrik yang harus diimpor dari luar sistem.

Besar energi yang dibutuhkan untuk bekerja menunjukkan pentingnya suatu sub sistem produksi yang dapat menghasilkan lebih besar lagi energi. Sub sistem tersebut adalah sektor industri, perdagangan, dan jasa. Khusus sektor industri dengan tenaga mesin dan penyerapan tenaga kerja yang lebih banyak, tentunya membutuhkan bahan bakar dan listrik sebagai motor penggerak. Energi listrik dan bahan bakar tersebut selain untuk meningkatkan operasional pada sektor industri, juga untuk energi operasional pada permukiman,

transportasi, dan juga infrastruktur lainnya. Bahan bakar, listrik, dan air bersih merupakan barang yang harus didatangkan dari luar (impor/F) dengan cara pembelian (*purchase*).

Jumlah total energi sumber daya yang mampu diproduksi oleh sistem melampaui total kebutuhan energi dari masyarakat Kota Makassar. Hasil simulasi menunjukkan besaran nilai sebesar 8,07E+09 MJ pada tahun 2015, dan terus menunjukkan *trend* peningkatan hingga pada akhir simulasi sebesar 1,54E+10 MJ. Nilai yang diperoleh tersebut merupakan jumlah total dari R (*Renewable Resources*) dan F (*Purchase of Resources*). Sisa energi sumber daya tersebut dalam simulasi ini dikelaskan sebagai sisa simpanan (*storage*) yang dalam aktualitasnya bisa berupa ekspor dan atau cadangan devisa. Dalam simulasi diperoleh nilai storage sebesar 2,86E+09 MJ pada tahun 2015, dan terus mengalami peningkatan seiring pertumbuhan ekonomi atau Aktivitas ekonomi masyarakat sebesar 3,020E+10 MJ (Tabel 7).

**Tabel 7. Jumlah Total Produksi Sumber Daya, Total Kebutuhan Energi, dan Simpanan Energi.**  
**Table 7. Total Total Production of Resources, Total Energy Needs, and Energy Storages.**

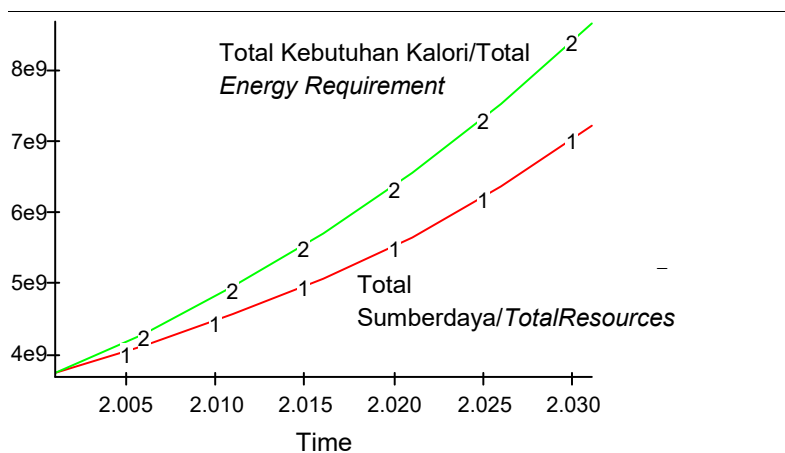
Tahun/Year	Total Produksi Sumber Daya/ Total Production of Resources	Total Kebutuhan Energi (MJ)/ Total Energy Requirement (MJ)	Penyimpanan (MJ)/ Storage (MJ)
2015	8.07E+09	5.21E+09	2.86E+09
2021	9.99E+09	5.73E+09	4.26E+09
2026	1.24E+10	6.31E+09	6.10E+09
2031	1.54E+10	6.94E+09	8.48E+09

Intervensi energi eksosomatik menjadi jalan keluar yang terbaik untuk meningkatkan produksi energi di Kota Makassar. Listrik, air bersih dan bahan bakar menjadi kebutuhan yang tidak dapat dileakkan bagi sebuah kota yang sedang bertumbuh seperti Kota Makassar. Listrik dan bahan bakar menjadi motor penggerak Aktivitas industri, perumahan, dan transportasi. Dengan Bergeraknya sektor industri dan transportasi, perputaran energi sumber daya pun dapat meningkat melalui perputaran dan peningkatan arus ekonomi. Sebagai kota pesisir, kebutuhan energi sumber daya bagi Kota Makassar tidak lagi mengandalkan sumber daya lokal tetapi juga dari luar. Kota Makassar merupakan sistem kompleks dan terbuka. Untuk memenuhi kekurangan energi, maka dilakukan *import* energi seperti BBM dan listrik, bahkan air bersih. Sebagai kota metropolitan, Kota Makassar juga menjadi tempat penjualan berbagai macam komoditas sumber daya dari daerah luar, termasuk produk-produk perikanan dan pertanian. Inilah yang menyebabkan Kota Makassar sebagai sistem kota pesisir mampu berkembang, beradaptasi dengan perubahan, dan menstabilisasi dirinya.

Berdasarkan hasil simulasi, dengan laju *input* sumber daya eksosomatik seperti saat ini,

sementara tidak dilakukan pengendalian jumlah penduduk secara ketat, maka berdasarkan analisis sistem dinamik, produksi energi sumber daya tidak akan mampu memenuhi kebutuhan energi sumber daya untuk masyarakat Kota Makassar. Hingga tahun 2031, kebutuhan energi berkisar 8,70E+09 MJ, sedangkan kemampuan produksi energi sumber daya hanya 7,25E+09 MJ (Gambar 7).

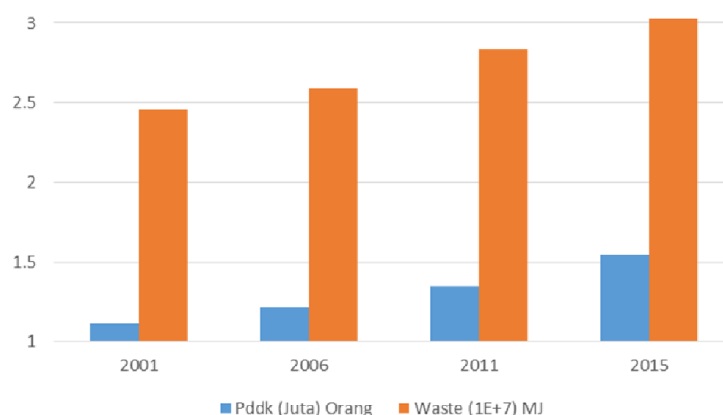
Peningkatan jumlah penduduk berarti meningkatkan jumlah lahan terbangun dan jumlah konsumsi energi sumber daya. Peningkatan lahan terbangun berarti mengurangi lahan-lahan produktif, seperti sawah dan tambak, juga lahan-lahan dengan fungsi ekologis seperti area terbuka hijau dan area tangkapan air, sedangkan meningkatnya jumlah dan Aktivitas manusia di Kota Makassar meningkatkan buangan limbah, baik domestik maupun industri, baik limbah padat maupun limbah cair. Dengan jumlah penduduk Kota Makassar di tahun 2001 sebesar 1.116.834 jiwa, jumlah limbah (waste) yang dihasilkan sebesar 2.46E+07 MJ dan pada tahun 2015, dengan jumlah penduduk sebesar 1.547.941 jiwa, jumlah limbah (waste) yang dihasilkan sebesar 3.03E+07 MJ (Gambar 8).



**Gambar 7. Grafik Perbandingan Jumlah Total Kalori yang Dibutuhkan Sistem dan Jumlah Kalori yang Dibutuhkan untuk Menghasilkan Produk.**

**Figure 7. Graph of Comparison of Total Calories Required System and Number of Calories Required to Produce Products.**





**Gambar 8. Grafik Jumlah Penduduk dan Buangan Limbah Kota Makassar.**  
**Figure 8. Graph of Population and Waste in Makassar City.**

Besarnya buangan limbah tersebut menjadi isyarat pentingnya pengelolaan limbah cair dan padat dalam kota pesisir seperti Kota Makassar, sebab jika tidak, limbah tersebut akan menyebabkan kerusakan serius terhadap ekosistem pesisir dan pulau-pulau kecil yang ada di Kota Makassar.

## KESIMPULAN DAN REKOMENDASI KEBIJAKAN

### Kesimpulan

Gambaran aliran energi sumberdaya khususnya di Kota Makassar menunjukkan bahwa Kota Makassar sebagai sebuah system mengalami ketidakberlanjutan (*unsustainability*). Siklus endosomatik di Kota Makassar menunjukkan garis produksi sumber daya lokal yang tidak stabil, sedangkan penggunaan lahan, peningkatan konsumsi energy sumberdaya, dan buangan limbah terus meningkat dan mendegradasi lingkungan.

### Rekomendasi Kebijakan

Berdasarkan kesimpulan tersebut, maka sebagai implikasi kebijakan dalam menghadapi situasi *system unsustainability*, Kota Makassar harus mampu menstabilkan diri dengan mengubah profil ekonomi dan pemanfaatannya dari wilayah yang berbasis agraris, menjadi wilayah berbasis investasi. Langkah strategis yang harus dilakukan adalah dengan melakukan pembatasan penggunaan lahan yang menurunkan luasan area terbuka, melakukan pembatasan eksploitasi sumberdaya internal dengan melakukan input sumberdaya dari luar seperti investasi dan impor sumberdaya, dan melakukan pengolahan limbah domestik dan industri melalui pembatasan penggunaan bahan yang berbahaya bagi lingkungan dan optimalisasi daur ulang sampah.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu peneliti selama dalam mengumpulkan data primer seperti pihak Dinas Kelautan dan Perikanan Kota Makassar, Pertamina Regional VII Makassar, Bappeda Kota Makassar, BPS Kota Makassar. Serta Ucapan terima kasih penulis haturkan kepada Bapak Dr. Luky Adrianto, Prof. Dr. Dietrich G Bengen, DEA, Dr. Rahmat Kurnia, dan Kepala Pusat Riset Kelautan, BRSDM-KKP.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alier, J.M., Giorgos, K., Sandra, V., Mariana, W. & Leah, T. (2010). Social Metabolism, Ecological Distribution Conflicts, and Valuation Languages. *Ecological Economics*, Vol. 70(2), 153-158 doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10455750902727378>.
- Agudelo-Vera C.M., Mels, A., Keesman, K., & Rijnaarts, H. (2012). The Urban Harvest Approach as an Aid for Sustainable Urban Resource Planning. *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 16 (6). doi: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1530-9290.2012.00561>.
- Anderson, P. & Elmqvist, T. (2012). Urban ecological and social-ecological research in the City of Cape Town: insights emerging from an urban ecology. *CityLab. Ecology and Society*. Vol. 17(4): 23. doi:<http://dx.doi.org/10.5751/ES-05076-170423.x>
- Andrésa M.D., Barragána, J.M., Sanabria, J.G. (2018). Ecosystem services and urban development in coastal Social-Ecological Systems: The Bay of Cádiz case study. *Ocean and Coastal Management*. Vol: 154(2018)155–167. Doi:<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2018.01.011>.
- Bancheva, S. (2014). Integrating the concept of urban metabolism into planning of sustainable cities: Analysis of the Eco<sup>2</sup> Cities Initiative. DPU Working Paper No. 168. Retrieved:

- [https://www.ucl.ac.uk/bartlett/development/sites/bartlett/files/migrated-files/WP168\\_0.pdf](https://www.ucl.ac.uk/bartlett/development/sites/bartlett/files/migrated-files/WP168_0.pdf).
- Broto V.C., Allen, A. & Rapoport, E. (2012). Interdisciplinary Perspectives on Urban Metabolism. *Journal of Industrial Ecology*, Vol: 16 (6), Number 6. doi: 10.1111/j.1530-9290.2012.00556.x.
- Darmono, R. (2005). Pemodelan System Dynamics pada Perencanaan Penataan Ruang Kota. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi. 18 Juni 2005. Yogyakarta, 5-10.
- Eurostat. (1999). *Towards environmental pressure indicators for the EU*. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Gabora, L. and Steel, M. (2017). Autocatalytic networks in cognition and the origin of culture. *Journal of Theoretical Biology*, Vol: 431 (2017) 87–95. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2017.07.022>.
- Giampietro, M. & Mayumi, K. (2000). Multiple-Scale Integrated Assessment of Societal Metabolism: Introducing the Approach. *Population and Environment: A Journal of Interdisciplinary Studies* Vol. 22, No. 2, pp. 109-153.
- Hasan, M. (2011). Model Kebijakan Pengelolaan Sumber daya Air pada Daerah Aliran Sungai (DAS) Citarum yang Berkelanjutan. [Disertasi]. Bogor (ID): Institut Pertanian Bogor.
- Hossain, M.S., Dearing J.A., Eigenbrod, F. & Johnson, F.A. (2017). Operationalizing safe operating space for regional social-ecological systems. *Science of the Total Environment*, 584–585 (2017) 673–682. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.095>
- Huang, Q., Xinqi, Z. & Yecui, H. (2015). Analysis of Land-Use Emergy Indicators Based on Urban Metabolism: A Case Study for Kota Makassar. *Sustainability*, 2015, 7, 7473-7491; doi:10.3390/su7067473. Retrieved: [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability).
- Huber, R., Simon, B., Alexander P., Stefan L., Roman, S., Alexander, W. François, G., Alexandre, B., Quang, B.L., & Christian, H. (2013). Modeling Social-Ecological Feedback Effects in the Implementation of Payments for Environmental Services in Pasture-Woodlands. *Ecology and Society*. 18(2): 41. <http://dx.doi.org/10.5751/ES-05487-180241>.
- Ismail, M., Mary, S. and Mukhsan, P.H. (2012). The Balance of Clean Water Services of Drinking Water Regional Company (PDAM) in Makassar City By Using REALM Program. Jurusan Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin.
- Kennedy, C.A., Cuddihy, J. and Engel, Y.J. (2007). The changing metabolism of cities. *Journal of Industrial Ecology* 2007 (11), 43e59. DOI: <https://doi.org/10.1162/jie.2007.1107>.
- Matutinovic, I. (2005). The Microeconomic Foundations of Business Cycles: From Institutions to Autocatalytic Networks. *Journal of Economic Issues*, Vol. 39 (4): 867-98. DOI: <https://doi.org/10.1080/00213624.2005.11506858>
- Odum, H.T. (1971). *Environment, Power, and Society*. Pp. xii + 332; Text Figures, Wiley Intersciences; New York.
- Raden, D. (2005). Pemodelan System Dynamics pada Perencanaan Penataan Ruang Kota. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005 (SNATI 2005) ISBN: 979-756-061-6 Yogyakarta, 18 Juni 2005.
- Shcherbakov, M.V., Brebels, A., Shcherbakova, N.L. Tyukov, A.P. Janovsky, T.A. & Kamaev, V.A. (2013). A Survey of Forecast Error Measures. *World Appl. Sci. J.*, 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society): 171-176, 2013.
- Susenas (Survei Sosial Ekonomi Nasional) - BPS. (2012). Indonesia - Survei Deteksi Dini Dampak Krisis 2012 (Perusahaan). Retrieved: <https://mikrodata.bps.go.id/mikrodata/index.php/catalog/160>
- Ulanowicz, R.E. & Baird, D. (1999). Nutrient controls on ecosystem dynamics: The Chesapeake mesohaline community. *J. Mar. Sci.* 19:159-172.
- Undang-Undang No. 13. (2003). Tentang Ketenagakerjaan.
- Virapongse, A., Brooks, S., Metcalf, E.C., Zedalis, M., Gosz, J., Kliskey, A. & Alessa, L. (2016). A social-ecological systems approach for environmental management. *Journal of Environmental Management*, Vol: 178 (2016) 83e91. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.02.028>.
- Voskampa, I.M., Spiller, M., Stremke, S., Bregt, A.K., Vreugdenhil, C. & Rijnaarts, H.M. (2018). Space-time information analysis for resource-conscious urban planning and design: A stakeholder-based identification of urban metabolism data gaps. *Resources, Conservation and Recycling*, 128 (2018) 516–525. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2016.08.026>
- Zhang, Y. (2013). Urban metabolism: a review of research methodologies. *Environmental Pollution*. 178, 463–473, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.052>.