

Implementasi Metode Simulasi dalam Mendukung Ketahanan Pangan: *Systematic Literature Review*

Isyfan Falah¹, Nur Mayke Eka Normasari²

Department Mechanical and Industrial Engineering, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

isyfanfalah@mail.ugm.ac.id, mayke@ugm.ac.id

Abstract— Ketahanan pangan merupakan isu global yang kompleks dan mendesak. Penelitian ini meninjau literatur ilmiah tentang implementasi metode simulasi untuk mendukung ketahanan pangan. Tinjauan ini mengidentifikasi berbagai jenis model simulasi yang telah digunakan untuk menganalisis berbagai aspek ketahanan pangan dalam mewujudkan swasembada pangan. Temuan utama menunjukkan bahwa metode simulasi telah menjadi alat yang berharga untuk memahami kompleksitas sistem ketahanan pangan dan merumuskan kebijakan yang lebih efektif. Metode simulasi menawarkan beberapa manfaat, termasuk kemampuannya untuk memprediksi dampak kebijakan, mengidentifikasi risiko potensial, dan mengevaluasi solusi alternatif. Pada tinjauan literatur ini terdapat dua metode simulasi yang digunakan dalam memodelkan sistem ketahanan pangan, yaitu *system dynamics* dan *agent based modeling*. Jenis pangan yang paling banyak dimodelkan dalam simulasi adalah beras. Jumlah publikasi yang di-review adalah sebanyak 20 penelitian bersumber dari *Google Scholar* dan *Scopus*. Metode pencarian literatur menggunakan metode PRISMA. Penelitian ini memberikan wawasan penting tentang potensi metode simulasi untuk mendukung ketahanan pangan. Metode simulasi menawarkan banyak manfaat untuk penelitian ketahanan pangan, tetapi penting untuk menyadari keterbatasannya. Metode simulasi dapat menjadi alat yang efektif untuk memahami kompleksitas sistem ketahanan pangan, merumuskan kebijakan yang lebih efektif, dan mengatasi tantangan ketahanan pangan global.

Keywords — *simulasi, ketahanan pangan, food self-sufficiency, PRISMA*

I. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan isu global yang penting untuk diperhatikan. Diperkirakan bahwa pada tahun 2050, populasi dunia akan mencapai 9,7 miliar jiwa, yang berarti kebutuhan pangan akan meningkat secara substansial [1]. Di sisi lain, berbagai tantangan seperti perubahan iklim, degradasi lahan, dan urbanisasi mengancam produksi dan akses pangan. Indonesia, sebagai negara dengan populasi terbesar keempat di dunia, juga menghadapi tantangan ketahanan pangan. Menurut Badan Pusat Statistik (BPS), pada tahun 2020, masih terdapat 20,2 juta orang yang mengalami kerawanan pangan sedang dan berat [2]. Ketahanan pangan dipengaruhi oleh berbagai faktor, seperti produksi pangan, akses pangan, dan stabilitas pangan. Produksi pangan menjadi elemen dasar ketahanan pangan. Ketersediaan pangan yang memadai untuk seluruh populasi merupakan prasyarat utama terpenuhinya kebutuhan gizi dan terciptanya kehidupan yang sehat [3].

Faktor-faktor yang mempengaruhi produksi pangan antara lain, sumber daya alam (kesuburan tanah, air, dan iklim yang ideal), teknologi dan inovasi (penggunaan teknologi modern, bibit unggul, dan praktik pertanian berkelanjutan), kebijakan pemerintah (dukungan infrastruktur, subsidi, dan regulasi yang mendorong produksi) dan faktor sosial ekonomi (akses terhadap modal, edukasi, dan pasar bagi petani) [3]. Akses terhadap pangan yang aman, bergizi, dan terjangkau bagi seluruh individu juga menjadi faktor penting. Faktor-faktor yang mempengaruhi akses pangan antara lain kemiskinan (kemampuan finansial untuk membeli pangan), lokasi geografis (jarak dan infrastruktur yang menghubungkan wilayah produksi dan konsumsi), konflik dan bencana alam (gangguan terhadap distribusi dan akses pangan), diskriminasi dan marginalisasi (ketidakadilan dalam akses terhadap sumber daya dan peluang) [4]. Ketahanan pangan juga berarti sistem yang mampu menghadapi fluktuasi dan gangguan, baik dalam produksi, akses, maupun stabilitas pangan. Faktor-faktor yang mempengaruhi stabilitas pangan antara lain perubahan iklim (dampak pada pola curah hujan, hama penyakit tanaman, dan hasil panen) [5], volatilitas harga pangan (fluktuasi harga di pasar global dan domestik) kebijakan perdagangan internasional (pembatasan ekspor impor dan intervensi pasar) konflik dan bencana alam (gangguan terhadap produksi dan distribusi pangan) [6] [7].

Ketahanan pangan bukan hanya tentang ketersediaan pangan, tetapi juga akses dan stabilitasnya. Ketiga pilar ini saling berkaitan dan perlu diperkuat secara berkelanjutan. Upaya untuk meningkatkan ketahanan pangan harus mempertimbangkan faktor-faktor yang mempengaruhi produksi, akses, dan stabilitas pangan, serta melibatkan berbagai pihak, mulai dari petani, pemerintah, hingga masyarakat luas. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mendukung ketahanan pangan adalah dengan menerapkan metode simulasi. Metode simulasi merupakan teknik pemodelan yang digunakan untuk meniru perilaku sistem yang kompleks. Metode simulasi dapat digunakan untuk menganalisis berbagai skenario dan untuk mengevaluasi berbagai kebijakan yang terkait dengan ketahanan pangan [8]. Beberapa metode simulasi yang saat ini berkembang diantaranya, *Monte Carlo*, *System Dynamics*, *Agent Based Modeling* (ABM), dan *Discrete Event Simulation* (DES) [9] [10]. Metode simulasi telah menjadi alat yang ampuh untuk memahami dan menganalisis sistem yang kompleks, seperti sistem ketahanan pangan. Model simulasi dapat digunakan untuk

memprediksi dampak dari berbagai skenario, mengidentifikasi solusi potensial untuk mengatasi tantangan ketahanan pangan, mengevaluasi efektivitas dari intervensi kebijakan dan program, dan meningkatkan pemahaman tentang faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan [10]. Penelitian ini bertujuan untuk meninjau literatur tentang implementasi metode simulasi dalam mendukung ketahanan pangan. Tinjauan literatur ini diharapkan dapat memberikan gambaran tentang potensi dan manfaat penerapan metode simulasi dalam meningkatkan ketahanan pangan.

II. METODE

A. Strategi Pencarian Serta Kriteria Inklusi dan Eksklusi

Penelitian ini bertujuan untuk meninjau literatur terkait penggunaan metode simulasi dalam mendukung ketahanan pangan. Metode pencarian sistematis PRISMA digunakan untuk mengidentifikasi literatur yang relevan dari database *Scopus* dan *Google Scholar*. Kombinasi kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi "simulasi", "ketahanan pangan", "produksi pangan", "simulation", dan "food self-sufficiency" dengan *filtering* pada judul, abstrak, atau *keywords* pada tiap literatur. Literatur yang dicari adalah literatur diterbitkan antara tahun 2014 dan 2024. Kriteria inklusi yang digunakan pada pencarian literatur ini adalah literatur yang menggunakan Bahasa Inggris dan Bahasa Indonesia. Selain itu, kriteria inklusi lainnya adalah penelitian yang berfokus pada aplikasi metode simulasi untuk mendukung ketahanan pangan dan penelitian yang menggunakan model simulasi yang valid dan terverifikasi. Selain itu, kriteria eksklusi yang digunakan adalah penelitian yang bersifat laporan, berita, dan tugas akhir serta penelitian tentang pemodelan dan simulasi yang tidak berfokus pada ketahanan pangan. Dalam penelusuran literatur untuk penelitian ini, pertanyaan penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut:

Q1 Metode simulasi apa saja yang digunakan dalam menganalisis model ketahanan pangan?

Q2 Bagaimana implementasi metode simulasi dalam mendukung ketahanan pangan?

Q3 Apa kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode?

B. Analisis Data

Berdasarkan hasil pencarian literatur, studi ini mengidentifikasi 353 referensi yang relevan dengan kata kunci yang diinput. Referensi-referensi ini dikumpulkan dari dua sumber utama, yaitu *Scopus* (25 referensi) dan *Google Scholar* (328 referensi). Lebih lanjut, studi-studi yang diidentifikasi akan dikategorikan berdasarkan tujuan penelitiannya menjadi dua kelompok utama, yaitu:

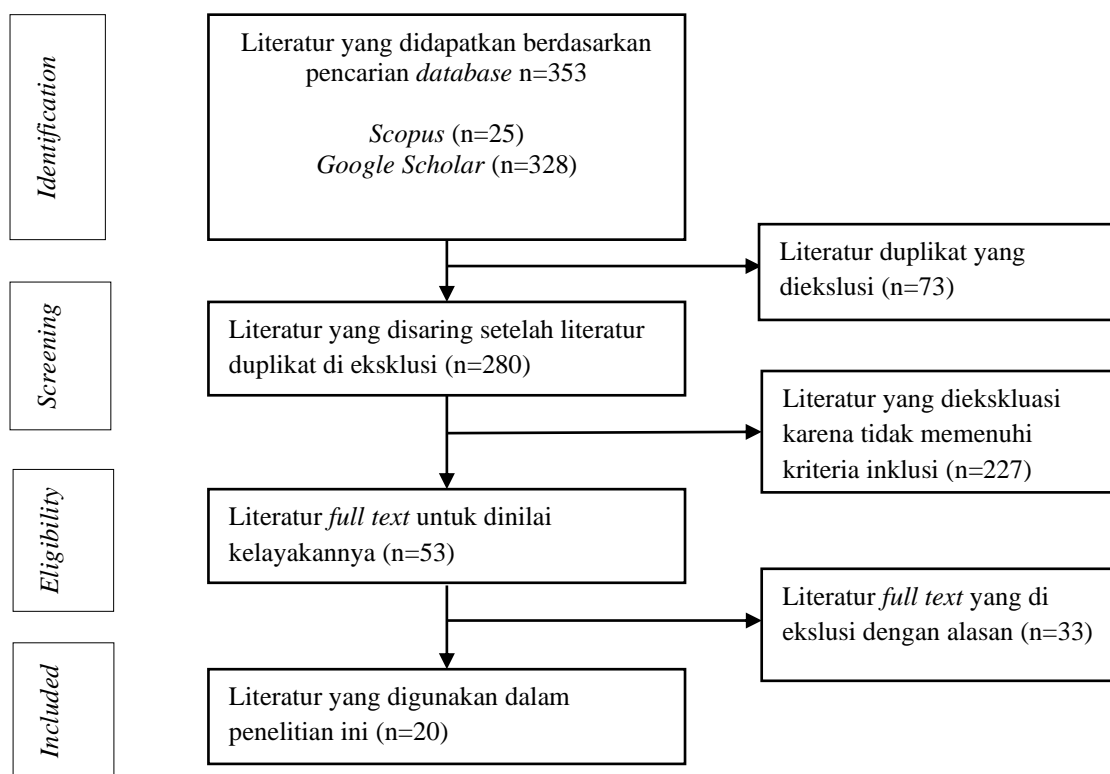
1. Studi yang berfokus pada pengembangan dan aplikasi metode simulasi untuk memahami dan memprediksi dinamika sistem ketahanan pangan.
2. Studi yang mengevaluasi efektivitas intervensi kebijakan dan praktik pengelolaan ketahanan pangan menggunakan metode simulasi.

Analisis mendalam terhadap studi-studi yang disertakan dalam penelitian ini akan memungkinkan peneliti untuk:

1. Mengidentifikasi berbagai metode simulasi yang telah digunakan untuk mendukung ketahanan pangan.
2. Memahami kekuatan dan kelemahan masing-masing metode simulasi dalam konteks ketahanan pangan.
3. Mensintesis temuan dari berbagai studi tentang efektivitas metode simulasi dalam mendukung pengambilan keputusan terkait ketahanan pangan.
4. Mengidentifikasi kesenjangan pengetahuan dan peluang penelitian di masa depan dalam bidang implementasi metode simulasi untuk ketahanan pangan.

Melalui analisis ini, penelitian ini akan memberikan pemahaman yang komprehensif dan mendalam tentang peran metode simulasi dalam mendukung upaya untuk meningkatkan ketahanan pangan di berbagai tingkat, mulai dari lokal hingga global. Penelitian ini menggunakan pendekatan *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengidentifikasi dan menganalisis studi yang relevan dengan implementasi metode simulasi dalam mendukung ketahanan pangan. Proses seleksi literatur melalui beberapa tahapan yang disesuaikan dengan metode PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*). Pencarian awal literatur dilakukan di dua database utama, yaitu *Google Scholar* dan *Scopus*. Pada pencarian awal ini ditemukan sebanyak 353 publikasi yang relevan dengan topik penelitian. Ditemukan sebanyak 73 publikasi duplikat, yang kemudian dihapus sehingga menyisakan 280 publikasi untuk disaring lebih lanjut. *Screening* literatur yang tersisa akan disaring berdasarkan judul, abstrak, dan kata kunci untuk memastikan bahwa literatur yang terpilih memenuhi kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Sehingga terdapat 227 publikasi yang dieksklusi karena tidak memenuhi kriteria inklusi, dengan alasan studi tidak berfokus pada aplikasi metode simulasi untuk mendukung ketahanan pangan dan studi tidak menggunakan model simulasi yang valid dan terverifikasi. Kemudian dilakukan uji kelayakan terhadap 53 publikasi yang tersisa dan dievaluasi secara menyeluruh untuk memastikan kualitas dan relevansinya. Dari evaluasi yang telah dilakukan terdapat 33 publikasi yang dieksklusi karena merupakan tinjauan

literatur dan artikel tidak lengkap karena hanya berisi abstrak. Sehingga ditemukan 20 publikasi yang terpilih karena relevan dengan topik penelitian dan memenuhi kriteria serta akan digunakan dalam penelitian ini. Alur PRISMA dalam pencarian literatur dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir PRISMA

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

Referensi yang digunakan pada penelitian ini mencakup berbagai studi terkait aplikasi metode simulasi dan efektivitasnya dalam mewujudkan ketahanan pangan, khususnya jenis pangan yang termasuk dalam kategori komoditas. Jenis-jenis komoditas pangan diantaranya adalah beras, gula pasir, minyak goreng dan mentega, daging sapi dan daging ayam, telur ayam, susu, bawang merah dan bawang putih, dan garam [11][12]. Topik-topik penelitian yang terpilih meliputi rantai pasok dan ketahanan pangan kentang, model sistem dinamik untuk meningkatkan produksi padi, *agent based modeling and simulation* untuk ketahanan pangan beras, penggunaan data sekunder dan model makro dalam membuat model sistem swasembada pangan, serta terkait dengan teknik pengumpulan data sekunder untuk pemodelan sistem. Studi-studi tersebut juga menekankan pentingnya pengumpulan data yang akurat, kegunaan, dan potensi untuk pemantauan yang berkelanjutan untuk mendukung ketahanan pangan dan mewujudkan swasembada pangan. Penjelasan lebih detail terdapat pada Tabel I.

TABEL I. LITERATUR HASIL PENYARINGAN

No	Referensi	Metode Simulasi	Subjek Penelitian	Tujuan
1.	[13]	<i>System Dynamics</i>	Gandum	Mengevaluasi sistem air-gandum-daging di China, mengidentifikasi masalah konsumsi gandum berlebihan untuk produksi daging, serta memberikan solusi untuk mengatur produksi daging, konservasi air, dan teknologi daur ulang air.
2.	[14]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Membuat model sistem dinamis stok beras di Provinsi Bali untuk memahami tren produksi dan konsumsi dan menjelaskan dinamika tahunan guna mengatasi potensi krisis pangan di masa depan.
3.	[15]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Memodelkan sistem persediaan beras dan mensimulasikan berbagai skenario kebijakan untuk melihat pengaruhnya terhadap ketersediaan beras.

No	Referensi	Metode Simulasi	Subjek Penelitian	Tujuan
4.	[16]	<i>System Dynamics</i>	Kentang	Merumuskan model rantai pasok kentang untuk mencapai ketahanan pangan nasional.
5.	[17]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Mengembangkan model sistem dinamis rantai pasok beras di Bangladesh, dengan fokus pada inventaris dan kebijakan dan menyelidiki dampak variabel penting terhadap kinerja rantai pasokan dan menganalisis opsi kebijakan untuk pembangunan berkelanjutan.
6.	[18]	ABM	Beras	Menghasilkan model simulasi ketahanan pangan beras di Jawa Barat untuk melihat dampak kebijakan tertentu terhadap produksi beras dan analisis kebijakan terkait ketahanan pangan.
7.	[19]	<i>System Dynamics</i>	Padi	Merancang model intensifikasi melalui peningkatan kualitas pupuk dan teknologi pertanian, serta mengoptimalkan faktor-faktor yang berkontribusi pada produktivitas padi di Jawa Timur.
8.	[20]	<i>System Dynamics</i>	Jagung	Menganalisis pengaruh kebijakan ekstensifikasi dan intensifikasi dalam mendukung tercapainya swasembada jagung di Indonesia.
9.	[21]	<i>System Dynamics</i>	Berbagai jenis pangan, diantaranya sayuran, buah-buahan, dan daging	Menganalisis ketergantungan dan <i>trade-off</i> dalam sektor energi, air, dan pangan menggunakan pendekatan <i>Food-Energy-Water</i> (FEW).
10.	[22]	<i>System Dynamics</i>	Kedelai	Menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi ketersediaan kedelai, menyusun model sistem dinamis, menghitung ketersediaan kedelai untuk mencapai swasembada pangan, dan menyusun rekomendasi skenario swasembada pangan kedelai di Provinsi Bali.
11.	[23]	<i>System Dynamics</i>	Garam	Mengembangkan model sistem dinamis dari rantai pasokan produksi garam guna meningkatkan pendapatan petani.
12.	[24]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Menganalisis ketersediaan beras di Indonesia dan memberikan rekomendasi kebijakan strategis dalam peningkatan ketersediaan beras untuk 10 tahun mendatang.
13.	[25]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Memberikan alternatif kebijakan untuk meningkatkan ketersediaan beras di masa mendatang.
14.	[26]	<i>System Dynamics</i>	Kedelai	Mengembangkan model permintaan dan penawaran kedelai di Jawa Tengah untuk mencapai swasembada pangan.
15.	[27]	<i>System Dynamics</i>	Kedelai	Menganalisis produksi dan permintaan kedelai di Indonesia dan mengembangkan kebijakan strategis menuju swasembada pangan.
16.	[28]	<i>System Dynamics</i>	Kedelai	Merancang sistem pendukung keputusan untuk rantai pasokan kedelai guna meningkatkan kesejahteraan petani dan mencapai swasembada pangan kedelai.
17.	[29]	ABM	Berbagai jenis pangan diantaranya, singkong, jagung, ubi jalar, sorgum, dan millet (sejenis biji-bijian)	Memahami dinamika perangkap sosial-ekologis di Madagaskar, khususnya strategi <i>coping</i> petani terhadap ketidakamanan pangan dan mengidentifikasi cara untuk mengatasi perangkap tersebut.
18.	[30]	ABM	Sereal	Menganalisis dampak adopsi pertanian cerdas iklim (<i>Climate Smart Agriculture/CSA</i>) terhadap ketahanan pangan di Ethiopia dan memahami peran jaringan sosial, akses pasar, dan kondisi iklim dalam adopsi CSA dan ketahanan pangan.
19.	[31]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Membahas tantangan swasembada beras di Indonesia dan mengusulkan tiga skenario: meningkatkan produktivitas, mengurangi konversi lahan, dan mempromosikan diversifikasi pangan.
20.	[32]	<i>System Dynamics</i>	Beras	Membahas prospek swasembada beras di Indonesia untuk ketahanan pangan dan mensimulasikan skenario pencapaian dan mengidentifikasi faktor kunci yang mempengaruhi pencapaian tersebut.

B. Pembahasan Implementasi Model Simulasi

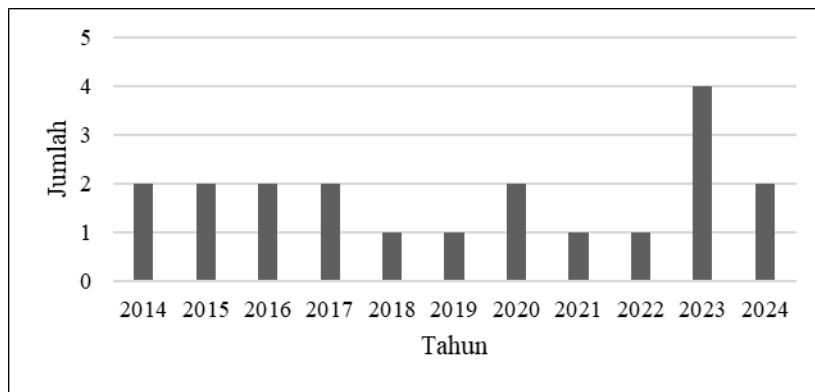
Berdasarkan hasil analisis literatur yang telah dilakukan dapat diketahui bahwa terdapat dua metode simulasi yang digunakan untuk mendukung ketahanan pangan, dua metode tersebut adalah *system dynamics* [13], [14], [15], [16], [17], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [31], [32] dan ABM [18], [29], [30]. Berbagai jenis pangan dilakukan analisis

menggunakan metode simulasi untuk melihat bagaimana proyeksi permintaannya di masa depan agar dapat memenuhi kebutuhan manusia dan untuk dapat merancang strategi dalam mencapai swasembada pada jenis pangan yang dianalisis. Beberapa jenis pangan yang menjadi objek penelitian adalah gandum [13], beras [14], [15], [17], [18], [24], [25], [31], [32], kentang [16], padi [19], jagung [20], sayuran, buah-buahan, dan daging [21], kedelai [22], [26], [27], [28], garam [23], berbagai jenis pangan seperti singkong, jagung, ubi jalar, sorgum, dan millet (sejenis biji-bijian) [29], dan sereal [30]. Metode simulasi terbukti mampu membantu para pengambil keputusan dalam menentukan kebijakan melalui berbagai skenario yang dirancang baik menggunakan *system dynamics* maupun ABM.

Penelitian simulasi dengan objek pangan beras merupakan penelitian terbanyak, hal ini ditengarai karena beras merupakan pangan pokok yang harus tercukupi kebutuhannya setiap hari. Di Indonesia sendiri, beras dikonsumsi oleh sekitar 89,22 kg/kapita/tahun [24]. Oleh karena itu, ketahanan pangan dan ketersediaan beras menjadi isu yang sangat penting. Banyak penelitian menggunakan model sistem dinamis untuk menganalisis ketersediaan dan ketahanan pangan, khususnya beras, di berbagai daerah di Indonesia dan negara lain seperti Malaysia dan Bangladesh. Model ini membantu dalam memahami interaksi kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi produksi dan distribusi beras [24], [15], [17]. Beberapa faktor kritis yang sering muncul dalam penelitian ini termasuk konversi lahan, produktivitas pertanian, sistem irigasi, penggunaan benih dan pupuk, serta kebijakan pemerintah [18], [15]. Penelitian tentang pangan beras sering kali menyarankan berbagai skenario kebijakan untuk meningkatkan ketersediaan dan ketahanan pangan. Skenario ini mencakup peningkatan produktivitas, pengurangan konversi lahan, diversifikasi pangan, dan peningkatan cadangan beras pemerintah [15], [24], [14], [17], [25], [31]. Selain itu, proses validasi model adalah langkah penting dalam memastikan bahwa model yang dikembangkan akurat dan dapat diandalkan untuk pengambilan keputusan. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa model yang divalidasi dengan data historis dapat memberikan prediksi yang cukup akurat [15], [24], [17]. Selain itu, penelitian juga memberikan berbagai rekomendasi kebijakan seperti peningkatan irigasi, pencegahan konversi lahan, pembukaan lahan pertanian baru, dan dukungan pemerintah untuk meningkatkan produktivitas petani [18], [15], [14]. Beberapa penelitian menekankan pentingnya penggunaan teknologi modern dalam pertanian untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas [15], [33], [25], [32]. Pemerintah memiliki peran penting dalam mendukung kebijakan yang dapat meningkatkan ketahanan pangan, termasuk melalui dukungan finansial dan kebijakan yang mendukung petani [14], [15], [18], [24], [25], [33].

Penerapan metode *system dynamics* dalam mendukung ketahanan pangan dapat memberikan *insight* terkait pemahaman dinamika produksi dan konsumsi, dimana metode ini membantu memahami bagaimana produksi pangan yang fluktuatif mengikuti pola tanam dapat diimbangi dengan konsumsi pangan yang stabil dan cenderung meningkat setiap tahun. Ini penting untuk mengidentifikasi variabel-variabel yang mempengaruhi dinamika dan ketersediaan pangan. *System dynamics* memungkinkan pembuatan model dan skenario untuk menentukan kebijakan strategis yang dapat meningkatkan ketersediaan pangan dalam jangka waktu tertentu. Misalnya, skenario yang melibatkan peningkatan jumlah ekspor beras, peningkatan cadangan beras pemerintah, dan peningkatan produksi padi terbukti memberikan hasil terbaik. Metode ini juga memungkinkan validasi dan peramalan yang akurat, dengan nilai *error rate* yang sangat rendah, sehingga dapat dijadikan alternatif dukungan dalam membuat keputusan strategis. *System dynamics* mampu merinci dan menggambarkan interaksi yang kompleks antara berbagai faktor yang memiliki pengaruh signifikan terhadap sistem ketahanan pangan, seperti produksi padi, perubahan iklim, teknologi pertanian, atau praktik pengelolaan lahan. Metode ini juga dapat memberikan gambaran kebutuhan masyarakat dalam rangka memahami upaya ketahanan pangan [13], [14], [15], [16], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [31], [32], [33].

Penerapan metode ABM dalam mendukung ketahanan pangan dapat memberikan beberapa *insight* penting. ABM dapat membantu dalam analisis kebijakan terkait ketahanan pangan dengan memodelkan sistem yang kompleks, seperti interaksi antara kebijakan dan faktor-faktor yang mempengaruhi ketahanan pangan. ABM dapat digunakan sebagai alat untuk memprediksi dan menganalisis kebijakan, sehingga dapat membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik terkait ketahanan pangan. ABM memungkinkan pemodelan perilaku manusia secara lebih realistis dengan mempertimbangkan heterogenitas, pembelajaran, dan interaksi manusia-lingkungan. Misalnya pada sebuah penelitian, ABM digunakan untuk memahami interaksi kompleks dan umpan balik dari sistem sosial-ekologis di Madagaskar serta perilaku petani dalam menghadapi ketidakamanan pangan. Selain itu, ABM dapat mensimulasikan tren masa depan dalam manajemen tanaman petani dan dampaknya terhadap lingkungan, ekonomi rumah tangga, dan swasembada pangan. Model ini juga membantu mengeksplorasi strategi *coping* petani terhadap ketidakamanan pangan dan mengidentifikasi area *hotspot* perubahan penggunaan lahan dan tutupan lahan. Selain itu, ABM juga memungkinkan eksplorasi berbagai saluran yang mempengaruhi adopsi dan dampak ketahanan pangan dari *Climate Smart Agriculture* (CSA), termasuk jaringan sosial, integrasi pasar, dan perubahan iklim yang drastis. ABM juga memungkinkan analisis komparatif tentang peran jaringan sosial dalam meningkatkan kapasitas adaptif petani melalui berbagai praktik terbaik dan strategi mitigasi, yang pada akhirnya mengurangi kerentanan mereka terhadap ketahanan pangan [18], [29], [30].



Gambar 2. Grafik Penggunaan Metode Simulasi Tahun 2014-2024

Penggunaan metode simulasi untuk ketahanan pangan menunjukkan tren yang fluktuatif dari tahun ke tahun seperti yang terlihat pada Gambar 2. Tidak ada tren peningkatan atau penurunan yang konsisten. Pada periode awal tahun 2014-2017, penggunaan metode simulasi cenderung stabil dengan frekuensi sekitar 2 kali per tahun. Setelah itu, terjadi penurunan penggunaan pada tahun 2018 dan 2019. Namun, pada tahun 2020 terjadi peningkatan kembali. Puncak tertinggi penggunaan metode simulasi terjadi pada tahun 2023 dengan frekuensi 4 kali. Ini menunjukkan adanya peningkatan minat dan penerapan yang signifikan pada tahun tersebut.

Namun pada pengimplementasiannya, ABM dan *system dynamics* memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing seperti yang disajikan pada Tabel. 2

TABEL II. KELEBIHAN DAN KEKURANGAN SD DAN ABM

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
<i>System Dynamics</i>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Dapat menggambarkan keterkaitan dan saling ketergantungan antar faktor untuk menangani masalah manajemen, yang sangat penting dalam konteks ketahanan pangan. 2. Memungkinkan simulasi berbagai skenario kebijakan untuk meningkatkan ketersediaan pangan. 3. Memungkinkan pendekatan yang terstruktur dan telah terbukti menghasilkan data dengan nilai yang mendekati data asli melalui validasi yang akurat. 4. Dapat digunakan untuk mendukung kebijakan swasembada pangan dan serta perencanaan kebijakan sistem swasembada pangan. 5. Memungkinkan analisis mendalam terhadap interaksi kompleks antara berbagai faktor yang mempengaruhi produksi pangan. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Kurang efektif dalam memodelkan perubahan diskrit dalam sistem. 2. Tidak dapat secara efektif mensimulasikan aspek-aspek kompleks dari perilaku manusia, seperti pengambilan keputusan dan interaksi sosial. 3. Pendekatan <i>top-down</i> yang lebih fokus pada struktur sistem. Pendekatan ini mungkin kurang fleksibel dibandingkan pendekatan <i>bottom-up</i> yang digunakan dalam metode lain. 	[13], [14], [15], [16], [19], [20], [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [31], [32], [33]

Metode	Kelebihan	Kekurangan	Referensi
ABM	<ol style="list-style-type: none"> 1. Mengetahui efek skala besar (makro) dari kebijakan yang dikeluarkan pemerintah melalui perilaku dan interaksi antar agen dalam sistem ketahanan pangan. 2. Memungkinkan analisis kebijakan yang lebih mendalam dengan mempertimbangkan interaksi mikro dalam sistem. 3. Dapat digunakan untuk mensimulasikan dan memprediksi dampak dari kebijakan pemerintah terkait ketahanan pangan. 4. Memungkinkan adaptasi dan modifikasi model sesuai dengan data nyata yang dikumpulkan, sehingga model yang dihasilkan lebih akurat dan relevan dengan kondisi aktual. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Model ABM yang kompleks membutuhkan sumber daya komputasi yang besar dan waktu simulasi yang lama. 2. Model ABM sering kali didasarkan pada asumsi dan data yang tidak pasti, sehingga sulit untuk memvalidasi model dan memastikan keakuratan hasil simulasi. 3. Model ABM yang dirancang untuk skala kecil mungkin tidak dapat diterapkan pada sistem pangan yang lebih besar dan lebih kompleks. 	[18], [29], [30]

C. Future Research

Studi lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi implementasi pada berbagai skala, dari lokal hingga global, serta dampaknya pada kebijakan pangan dan bagaimana hasil simulasi dapat digunakan oleh pembuat kebijakan untuk merumuskan strategi ketahanan pangan yang lebih efektif. Selain itu, analisis tentang tantangan di berbagai konteks geografis dan budaya serta studi kasus di negara berkembang akan memberikan wawasan yang lebih mendalam. Evaluasi jangka panjang dari penerapan simulasi juga penting untuk memastikan manfaat berkelanjutan dalam ketahanan pangan. Penerapan metode simulasi dalam skenario kebijakan yang berbeda, seperti dampak subsidi, regulasi perdagangan, dan program bantuan pangan, dapat memberikan wawasan yang lebih banyak tentang efektivitas dan konsekuensi dari berbagai intervensi kebijakan.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini mengkaji berbagai penelitian yang memanfaatkan metode simulasi untuk menganalisis dan memprediksi isu ketahanan pangan. Penelitian ini menunjukkan bahwa metode simulasi telah menjadi alat yang dapat membantu memahami kompleksitas sistem ketahanan pangan dan merumuskan kebijakan yang lebih efektif. Model simulasi ABM dan *system dynamics* telah digunakan untuk menganalisis berbagai aspek ketahanan pangan, seperti produksi pangan, distribusi pangan, dan akses pangan. Metode simulasi menawarkan beberapa manfaat untuk penelitian ketahanan pangan, termasuk kemampuannya untuk memprediksi dampak kebijakan, mengidentifikasi risiko potensial, dan mengevaluasi solusi alternatif. Penggunaan metode simulasi dalam mendukung ketahanan masih sangat potensial untuk dikembangkan, sehingga masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi penggunaannya dan dampaknya terhadap peningkatan ketahanan pangan.

REFERENCES

- [1] UN, *World population prospects 2022: summary of results*. New York: United Nations, 2022.
- [2] BPS, "Prevalensi Penduduk Dengan Kerawanan Pangan Sedang Atau Berat, Berdasarkan Pada Skala Pengalaman Kerawanan Pangan (Persen)," Badan Pusat Statistik, Jakarta, 2023. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTQ3NCMy/prevalensi-penduduk-dengan-kerawanan-pangan-sedang-atau-berat--berdasarkan-pada-skala-pengalaman-kerawanan-pangan.html>
- [3] A. Suryana, "Menuju Ketahanan Pangan Indonesia Berkelanjutan 2025: Tantangan dan Penanganannya," *forum penelit. agro ekon.*, vol. 32, no. 2, p. 123, Oct. 2014, doi: 10.21082/fae.v32n2.2014.123-135.
- [4] N. Nurjanah, S. Situmorang, and E. Kasymir, "HUBUNGAN TINGKAT KEMISKINAN DENGAN AKSES PANGAN DI KECAMATAN PARDASUKA KABUPATEN PRINGSEWU," *JIIA*, vol. 9, no. 3, p. 539, Oct. 2021, doi: 10.23960/jiia.v9i3.5350.
- [5] R. Affoh, H. Zheng, K. Dangui, and B. M. Dissani, "The Impact of Climate Variability and Change on Food Security in Sub-Saharan Africa: Perspective from Panel Data Analysis," *Sustainability*, vol. 14, no. 2, p. 759, Jan. 2022, doi: 10.3390/su14020759.
- [6] Widodo, "Ketahanan Pangan pada Era Globalisasi dan Otonomisasi," *Jurnal Agro Ekonomi*, vol. 8, pp. 1–8, 2001.
- [7] Y. Ariesa and R. Khairani, "FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KETAHANAN PANGAN DENGAN MENGGUNAKAN ANALISIS FAKTOR KONFIRMATORI," vol. 2, no. 1, 2019.
- [8] R. Rizqiansyah, C. Nugraha, and K. Amila, "PEMODELAN DAN SIMULASI BERBASIS AGEN UNTUK SISTEM KETAHANAN PANGAN POKOK BERAS DI JAWA BARAT".
- [9] L. Fries, "Modeling Food Particle Systems: A Review of Current Progress and Challenges," *Annu. Rev. Chem. Biomol. Eng.*, vol. 12, no. 1, pp. 97–113, Jun. 2021, doi: 10.1146/annurev-chembioeng-121820-081524.
- [10] P. Schreinemachers and T. Berger, "An agent-based simulation model of human–environment interactions in agricultural systems," *Environmental Modelling & Software*, vol. 26, no. 7, pp. 845–859, Jul. 2011, doi: 10.1016/j.envsoft.2011.02.004.
- [11] R. Seppelt, S. Klotz, E. Peiter, and M. Volk, "Agriculture and food security under a changing climate: An underestimated challenge," *iScience*, vol. 25, no. 12, p. 105551, Dec. 2022, doi: 10.1016/j.isci.2022.105551.
- [12] M. Anggraini, W. A. Zakaria, and F. E. Prasmatiw, "KETAHANAN PANGAN RUMAH TANGGA PETANI KOPI DI KABUPATEN LAMPUNG BARAT," vol. 2, no. 2, 2014.
- [13] Q. Jiang *et al.*, "Dynamic simulation of China's water-grain-meat system and evaluation of its support capability based on water footprint theory," *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, vol. 16, no. 5, pp. 270–282, 2023, doi: 10.25165/j.ijabe.20231605.7458.
- [14] I. N. G. Ustriyana, "Dynamic modeling of rice stock in Bali Province, Indonesia," *European Journal of Business and Management*, 2015.
- [15] W. Budiawan, A. Arvianto, M. N. Hadi, J. H. Soedarto, and S. Semarang, "Analisis Kebijakan Persediaan Beras Provinsi Jawa Tengah Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik," 2017.
- [16] M. Aminudin, A. Mahbubi, and R. A. Puspita Sari, "SIMULASI MODEL SISTEM DINAMIS RANTAI PASOK KENTANG DALAM UPAYA KETAHANAN PANGAN NASIONAL," *AJ*, vol. 8, no. 1, pp. 1–14, Jun. 2014, doi: 10.15408/aj.v8i1.5125.
- [17] B. K. Bala, M. G. K. Bhuiyan, M. M. Alam, F. M. Arshad, S. F. Sidiq, and E. F. Alias, "Modelling of supply chain of rice in Bangladesh," *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, vol. 4, no. 2, pp. 181–197, Apr. 2017, doi: 10.1080/23302674.2016.1179813.
- [18] R. Rizqiansyah, C. Nugraha, and K. Amila, "PEMODELAN DAN SIMULASI BERBASIS AGEN UNTUK SISTEM KETAHANAN PANGAN POKOK BERAS DI JAWA BARAT".
- [19] R. T. A. Sholihah, A. B. Putra, and S. F. A. Wati, "Analisis Produksi Padi Jawa Timur menggunakan Sistem Dinamik Mendukung Upaya Ketahanan Pangan," *Progresif J. Ilmi. Kom*, vol. 20, no. 1, p. 304, Feb. 2024, doi: 10.35889/progresif.v20i1.1563.

- [20] P. T. W. Wening Kusuma and D. J. Rachbini, "Simulasi Kebijakan Penambahan Areal Tanam dan Peningkatan Produktivitas dalam Mendukung Tercapainya Swasembada Jagung," *agriTECH*, vol. 39, no. 3, p. 188, Sep. 2019, doi: 10.22146/agritech.44539.
- [21] H. T. Shubbar, F. Tahir, and T. Al-Ansari, "Bridging Qatar's food demand and self-sufficiency: A system dynamics simulation of the energy–water–food nexus," *Sustainable Production and Consumption*, vol. 46, pp. 382–399, May 2024, doi: 10.1016/j.spc.2024.02.017.
- [22] Krisdayanti, I. K. Satriawan, and I. W. G. S. Yoga, "Sistem Dinamik Ketersediaan Kedelai dalam Rangka Swasembada Pangan di Provinsi Bali," *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Agroindustri*, vol. 5, Sep. 2017.
- [23] I. Muhandhis, H. Susanto, and U. Asfari, "Dynamic simulation model of salt supply chain to increase farmers income," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 732, no. 1, p. 012075, Jan. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/732/1/012075.
- [24] E. S. Sintiya, "Analisis Ketersediaan Beras Menggunakan Sistem Dinamik Sebagai Pendukung Kebijakan Ketahanan Pangan," *TECNOSCIENZA*, vol. 7, no. 2, pp. 268–282, Apr. 2023, doi: 10.51158/tecnoscienza.v7i2.852.
- [25] D. S. Donoriyanto and I. Nugraha, "ANALISIS KETERSEDIAAN BERAS DI SURABAYA DENGAN PENDEKATAN SISTEM DINAMIS," vol. 18, 2023.
- [26] N. Oktyajati, Muh. Hisjam, and W. Sutopo, "The dynamic simulation model of soybean in Central Java to support food self sufficiency: A supply chain perspective," presented at the THE 1ST INTERNATIONAL CONFERENCE AND EXHIBITION ON POWDER TECHNOLOGY INDONESIA (ICePTi) 2017, Jatinangor, Indonesia, 2018, p. 030015. doi: 10.1063/1.5024074.
- [27] N. Hasan, E. Suryani, and R. Hendrawan, "Analysis of Soybean Production and Demand to Develop Strategic Policy of Food Self Sufficiency: A System Dynamics Framework," *Procedia Computer Science*, vol. 72, pp. 605–612, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.12.169.
- [28] M. Hisjam, N. Octyajati, W. Sutopo, and A. Ali, "A Decision Support System to Achieve Self-Sufficiency of Soybean (Case: Central Java Province, Indonesia)," *J. Optimasi Sist. Ind.*, vol. 19, no. 2, pp. 144–156, Nov. 2020, doi: 10.25077/josi.v19.n2.p144-156.2020.
- [29] K. Brinkmann, D. Kübler, S. Liehr, and A. Buerkert, "Agent-based modelling of the social-ecological nature of poverty traps in southwestern Madagascar," *Agricultural Systems*, vol. 190, p. 103125, May 2021, doi: 10.1016/j.agsy.2021.103125.
- [30] D. Bazzana, J. Foltz, and Y. Zhang, "Impact of climate smart agriculture on food security: An agent-based analysis," *Food Policy*, vol. 111, p. 102304, Aug. 2022, doi: 10.1016/j.foodpol.2022.102304.
- [31] S. R. Sulistyono, B. N. Alfa, and Subagyo, "Modeling Indonesia's rice supply and demand using system dynamics," in *2016 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM)*, Bali, Indonesia: IEEE, Dec. 2016, pp. 415–419. doi: 10.1109/IEEM.2016.7797908.
- [32] S. L. Mubarakah and H. Miftah, "Prospects of Indonesian Rice Self-sufficiency As a Food Security Effort Using a Dynamic System Model," *j. pertan.*, vol. 14, no. 2, pp. 65–80, Oct. 2023, doi: 10.30997/jp.v14i2.9788.
- [33] B. K. Bala, F. M. Arshad, and K. M. Noh, *System Dynamics Modelling and Simulation*. Singapura: Springer, 2017.