



Perancangan Sistem Dinamik Terhadap Ketersediaan Beras Di Tapanuli Utara

Indah Triana Agustina Simamora¹, Sheila Haryanti Manik², Vivi Maudina³, Osin Jentia Rosni Manullang⁴, Fitriani Tupa Ronauli Silalahi⁵

Institut Teknologi Del

Received:	20 Juni 2025	Abstrak <i>Penelitian ini bertujuan merancang model sistem dinamik untuk menganalisis ketersediaan beras di Kabupaten Tapanuli Utara dalam rangka mendukung ketahanan pangan yang berkelanjutan. Dengan menggunakan metode sistem dinamik, penelitian ini memodelkan hubungan antara variabel-variabel kunci seperti luas lahan sawah, tingkat konsumsi beras, produktivitas pertanian, dan pertumbuhan penduduk. Simulasi dilakukan melalui tiga skenario: kondisi dasar, peningkatan produktivitas sebesar 60%, dan peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30%. Hasil menunjukkan bahwa peningkatan produktivitas signifikan mampu menjaga surplus beras meskipun terjadi peningkatan konsumsi. Model ini divalidasi menggunakan uji MAPE yang menunjukkan akurasi tinggi, sehingga dapat menjadi alat efektif bagi pengambil kebijakan dalam merumuskan strategi ketahanan pangan di Tapanuli Utara hingga tahun 2032.</i>
Revised:	27 Juni 2025	
Accepted:	01 Juli 2025	
Kata Kunci:	<i>Sistem Dinamik, Ketersediaan Beras, Ketahanan Pangan, Tapanuli Utara, Simulasi Skenario</i>	
(*) Corresponding Author:		indahsimamora213@gmail.com , vivimaudina535@gmail.com , fitriantupa@gmail.com , sheilamanik12@gmail.com , osinjntiaa99@gmail.com

How to Cite: Simamora, I., Manik, S., Maudina, V., Manullang, O., & Silalahi, F. (2025). Perancangan Sistem Dinamik Terhadap Ketersediaan Beras Di Tapanuli Utara. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 11(7.D), 88-104. Retrieved from <https://jurnal.peneliti.net/index.php/JIWP/article/view/10978>.

PENDAHULUAN

Pangan merupakan kebutuhan dasar yang sangat penting bagi setiap individu, yang tidak dapat ditunda pemenuhannya maupun digantikan dengan bahan lainnya. Di Indonesia, pangan memiliki posisi strategis sebagaimana diatur dalam Undang-Undang Nomor 7 Tahun 1996 yang kemudian diperbaharui menjadi Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan. Undang-undang ini menegaskan bahwa pangan adalah komoditas strategis, dan pemerintah memiliki tanggung jawab untuk melakukan pengaturan, pembinaan, pengendalian, dan pengawasan dalam rangka menjamin ketersediaan pangan.

Kabupaten Tapanuli Utara, salah satu kabupaten di Provinsi Sumatera Utara, mengalami peningkatan jumlah penduduk setiap tahunnya. Kenaikan jumlah penduduk ini berimbas pada peningkatan kebutuhan konsumsi beras sebagai pangan pokok, yang berdampak pada berkurangnya ketersediaan beras. Ketahanan pangan juga merupakan masalah global yang telah menarik perhatian pemerintah dan komunitas ilmiah (Giraldo et al., 2008). Jika tidak dikelola dengan baik, situasi ini dapat mengarah pada potensi krisis beras di masa mendatang. Selain itu, luas lahan pertanian di Tapanuli Utara terus berkurang setiap tahunnya akibat konversi lahan untuk pembangunan perumahan dan infrastruktur seperti jalan. Konversi lahan untuk pembangunan infrastruktur memengaruhi ketahanan pangan secara signifikan (Mulyani et al., 2016). Simulasi dinamis diperlukan untuk menjaga keseimbangan antara produksi pertanian dan kebutuhan pembangunan, sehingga dapat mendukung keberlanjutan pangan secara optimal (Suryani et al., 2019). Padahal, Tapanuli

Utara dikenal sebagai salah satu wilayah dengan potensi lahan pertanian yang cukup besar, dan sebagian besar masyarakatnya memiliki lahan untuk bertani. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (BPS), Kabupaten Tapanuli Utara memiliki luas lahan pertanian sekitar 21.621 hektar pada tahun 2021. Meski produksi beras di Tapanuli Utara sempat mengalami surplus pada tahun 2023 (PEMKAB Tapanuli Utara, 2023), namun kondisi ini bisa berubah menjadi defisit apabila tidak ada upaya yang efektif untuk menjaga keseimbangan antara kebutuhan dan produksi beras.

Pendekatan sistem dipilih sebagai metode untuk memahami dan mengevaluasi sistem secara keseluruhan, guna menemukan karakteristik penting yang dapat memberikan gambaran tentang perubahan-perubahan yang perlu dilakukan untuk meningkatkan kinerja sistem tersebut. Sistem dinamik telah terbukti menjadi metode yang efektif untuk menganalisis hubungan kompleks antar variabel dan perilaku dinamis dalam sistem (Martinez-Moyano, 2014). Pemodelan sistem dinamis digunakan oleh pembuat kebijakan untuk menganalisis sistem pasokan pangan yang kompleks serta merancang strategi untuk mendukung keberlanjutan ketersediaan pangan (Egea et al., 2023). Metode yang tepat untuk memahami perubahan dalam sistem adalah pendekatan sistem dinamik, yang fokus mempelajari perubahan variabel terhadap waktu (Suryani et al., 2014). Sistem dinamik memungkinkan analisis mendalam terhadap interaksi antara berbagai variabel dalam sistem yang kompleks serta perilaku dinamisnya (Widodo, 2010). Sistem dinamik digunakan secara luas untuk mengkaji interaksi variabel kompleks, seperti produksi dan distribusi pangan (Aminudin et al., 2014). Dinamika sistem digunakan untuk mengintegrasikan variabel perubahan penggunaan lahan, pertumbuhan populasi, dan produksi pertanian dalam mensimulasikan berbagai skenario, sehingga risiko kekurangan pangan dapat diminimalkan secara efektif (Monasterolo et al., 2021). Metode ini memadukan pendekatan kualitatif dan kuantitatif, serta menghasilkan simulasi yang dapat memberikan perkiraan yang andal. Hasil simulasi ini juga dapat menghasilkan skenario yang bermanfaat untuk menguji berbagai asumsi dan alternatif keputusan dalam menghadapi masalah ketersediaan pangan.

TINJAUAN PUSTAKA

Beras dan Eksistensinya di Tapanuli Utara

Beras adalah kebutuhan pangan utama, menjadi tulang punggung ketahanan pangan nasional di Indonesia (Rohman et al., 2017). Ketergantungan masyarakat Indonesia pada beras menjadikan pertanian sebagai garda terdepan ketahanan pangan Indonesia (Subhan et al., 2023). Dalam konteks Tapanuli Utara, eksistensi beras bukan hanya terkait dengan kebutuhan sehari-hari masyarakat, tetapi juga mencerminkan keberlanjutan sektor pertanian lokal yang menjadi sumber penghidupan bagi banyak petani. Upaya pemerintah untuk meningkatkan ketahanan pangan melalui peningkatan produksi domestik bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada impor dan menjaga stabilitas ekonomi daerah. Indeks keberlanjutan ketersediaan beras mencerminkan tingkat kecukupan pangan di suatu wilayah (Asnuri & Yuliana, 2023).

Ketahanan pangan memiliki tiga elemen penting yaitu ketersediaan, stabilitas penawaran, dan keterjangkauan—saling berkaitan dan menjadi indikator keberhasilan kebijakan pangan (Wityasari & STP, 2021). Prinsip ini juga ditekankan dalam laporan FAO yang membahas ketahanan pangan global (FAO, 2008). Ketersediaan (*Availability*) merujuk pada kemampuan untuk memenuhi kebutuhan pangan masyarakat melalui produksi lokal maupun distribusi dari wilayah lain. Stabilitas Penawaran (*Supply Stability*) mengacu pada konsistensi pasokan pangan, baik dalam situasi normal maupun saat menghadapi gangguan, seperti bencana alam atau fluktuasi pasar. Sementara itu, Keterjangkauan (*Accessibility*) menekankan pentingnya memastikan semua lapisan masyarakat memiliki akses terhadap beras, baik secara ekonomi (harga terjangkau) maupun fisik (distribusi yang merata).

Dengan memahami ketiga aspek tersebut, pemerintah daerah dan masyarakat di Tapanuli Utara diharapkan mampu mengelola sumber daya lokal, meningkatkan produktivitas lahan, serta menciptakan sistem distribusi yang adil untuk menjamin ketahanan pangan di wilayah ini. Berbagai variabel memengaruhi dinamika padi dan ketersediaan beras, sehingga pemodelan sistem dinamik diperlukan sebagai dasar penyusunan model dan skenario dalam menentukan kebijakan strategis yang berfokus pada peningkatan ketersediaan beras selama satu dekade ke depan melalui proses validasi dan peramalan (Sintiya, 2023). Ketersediaan beras yang memadai di tingkat daerah merupakan prasyarat utama dalam upaya mewujudkan ketahanan pangan (Simatupang et al., 2018).

Sistem Dinamik

Sistem dinamik merupakan pendekatan pemodelan yang berfokus pada pemahaman perilaku sistem yang kompleks dari waktu ke waktu (Zulfikar et al., 2023). Pendekatan ini melibatkan pembangunan diagram lingkaran sebab akibat, pengembangan model matematika, dan penggunaan teknik simulasi untuk menganalisis dan memprediksi perilaku system (Ghafiqie, 2012). *Stock and Flow Diagram* (SFD) adalah diagram yang dibuat dengan mengkuantifikasi variabel-variabel yang ada dalam *Causal Loop Diagram* (CLD) (Alfa & Subagyo, 2018). Oleh karena itu, kedua diagram ini saling berhubungan dalam proses pemodelan. Implementasi sistem dinamik dapat memperbaiki sistem pemesanan beras dan pengelolaan persediaan beras, dengan menciptakan simulasi berbagai skenario operasional. Hal ini memungkinkan pemodelan berbagai situasi dan dampaknya terhadap ketersediaan stok beras, sehingga dapat meminimalisir kemungkinan terjadinya kekurangan stok setiap bulannya. Dengan demikian, sistem dinamik menjadi alat yang sangat penting untuk merancang kebijakan atau strategi yang efektif guna mengurangi risiko ketidakseimbangan antara kebutuhan dan ketersediaan beras, sekaligus meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan sistem logistik beras.

Penelitian Terdahulu

Penelitian mengenai ketersediaan dan ketahanan beras telah dilakukan oleh berbagai peneliti dengan menggunakan metode yang berbeda-beda. Penelitian ini bertujuan untuk memahami dinamika sistem ketersediaan beras dan memberikan solusi kebijakan yang optimal dalam mendukung ketahanan pangan di berbagai wilayah di Indonesia. Metode sistem dinamik menjadi pendekatan yang sering digunakan, karena mampu memodelkan hubungan kompleks antar variabel yang mempengaruhi produksi, distribusi, dan konsumsi beras. Berikut ini adalah ringkasan dari beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan topik ketahanan pangan, khususnya dalam konteks ketersediaan beras.

Tabel 1. Penelitian Terdahulu

No	Peneliti, Tahun	Judul Penelitian	Proses Perancangan	Hasil
1.	(Sintiya, 2023)	Analisis ketersediaan beras menggunakan sistem dinamik sebagai pendukung kebijakan ketahanan pangan.	Penelitian ini menggunakan metode <i>system dynamics</i> dengan tahapan mendefinisikan sistem, membuat <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) dan <i>Stock and Flow Diagram</i> (SFD), serta memvalidasi model menggunakan data historis 2016–2020. Model dinyatakan valid	Skenario optimis (skenario 3) menunjukkan surplus beras 1.028 ton pada tahun 2028, sementara skenario baseline dan moderat masih mengalami defisit. Rekomendasi mencakup peningkatan intensitas tanam, produktivitas lahan,

			dengan AME 0,9% dan AVE 2%.	dan pengurangan kehilangan pasca-panen.
2.	(Adi et al., 2021)	Neraca Ketersediaan Beras Di Kalimantan Timur Sebagai Calon Ibukota Baru Indonesia Dengan Pendekatan Sistem Dinamik	Penelitian ini menggunakan pendekatan <i>system dynamics</i> untuk memodelkan neraca ketersediaan beras di Kalimantan Timur sebagai calon Ibu Kota Negara (IKN). Data historis 2010–2019 digunakan untuk menyusun model sistem yang meliputi submodel penyediaan (produksi) dan kebutuhan (permintaan). Proses perancangan dimulai dengan membuat <i>Causal Loop Diagram</i> (CLD) dan <i>Stock and Flow Diagram</i> (SFD), dilanjutkan simulasi model menggunakan perangkat lunak Powersim Studio 10. Validasi dilakukan dengan uji statistik AME (3,95%) dan AVE (7,44%) pada submodel penyediaan, menunjukkan model yang valid untuk simulasi skenario kebijakan.	Simulasi menunjukkan pada kondisi tanpa pemindahan IKN, defisit beras meningkat dari 147.828 ton (2020) menjadi 261.334 ton (2029). Ketika IKN pindah pada 2024, defisit bertambah menjadi 45,02%. Skenario kebijakan terbaik adalah skenario VII, kombinasi peningkatan indeks penanaman, produktivitas sawah, cetak sawah baru, penurunan konsumsi per kapita, dan penekanan konversi lahan. Skenario ini mampu memenuhi 84,38% kebutuhan beras pada 2024 dan mencapai target 85% pada 2029, meskipun membutuhkan biaya dan waktu pelaksanaan yang besar.
3.	(Setiadi et al., 2022)	Perancangan model sistem dinamik ketersediaan beras dalam upaya mendukung	Pada penelitian ini guna untuk melihat besarnya ketersediaan stok beras di tingkat daerah kabupaten perlu dilakukan perbaikan pada sistem rantai	Dalam penelitian ini digunakan model sistem dinamik berdasarkan pertimbangan bahwa framework ini mampu memasukkan

		ketahanan pangan di Kabupaten Bandung	pasok beras. Oleh karena itu dilakukan perbaikan dari aspek produksi atau pasokan (<i>supply</i>)	pengetahuan ahli dalam model yang kompleks dan dinamis.
4.	(Suprianto & Suryani, 2014)	Pengembangan model sistem dinamik pemenuhan logistik untuk beras menjaga stabilitas harga beras (Studi kasus : Provinsi Jawa Timur)	Dalam penelitian ini yang diteliti yaitu hubungan antar variabel yang ada dalam pemenuhan logistik beras di Jawa Timur mengenai kebutuhan pangan (<i>demand</i>). Total ketersediaan beras (<i>supply</i>) dan harga beras.	Hasil dari penelitian ini adalah terciptanya suatu model sistem dinamik pemenuhan logistik beras untuk menjaga stabilitas harga beras melalui beberapa skenario untuk perencanaan <i>supply</i> dan <i>demand</i> dalam mendukung kontinuitas <i>supply</i> dan stabilitas harga beras.

Berdasarkan tabel 1 diatas, pendekatan sistem dinamik terbukti efektif untuk memodelkan dan memahami dinamika ketersediaan beras. Metode ini mampu menggambarkan hubungan kompleks antara variabel produksi, distribusi, dan konsumsi, sekaligus merancang skenario kebijakan yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan tantangan utama berupa defisit ketersediaan beras yang dipengaruhi oleh faktor seperti konversi lahan, peningkatan konsumsi, dan kebutuhan logistik. Skenario kebijakan seperti peningkatan produktivitas, indeks tanam, pengurangan kehilangan pasca-panen, serta pencetakan lahan baru dinilai mampu mengurangi defisit tersebut. Selain itu, validasi model dengan data historis menghasilkan tingkat keandalan yang baik, sehingga layak digunakan dalam simulasi kebijakan. Secara keseluruhan, penelitian-penelitian ini memberikan landasan penting bagi upaya perumusan kebijakan ketahanan pangan yang berkelanjutan sesuai dengan karakteristik dan tantangan tiap wilayah.

HASIL & PEMBAHASAN

PEMODELAN SISTEM DINAMIK

Key Variabel

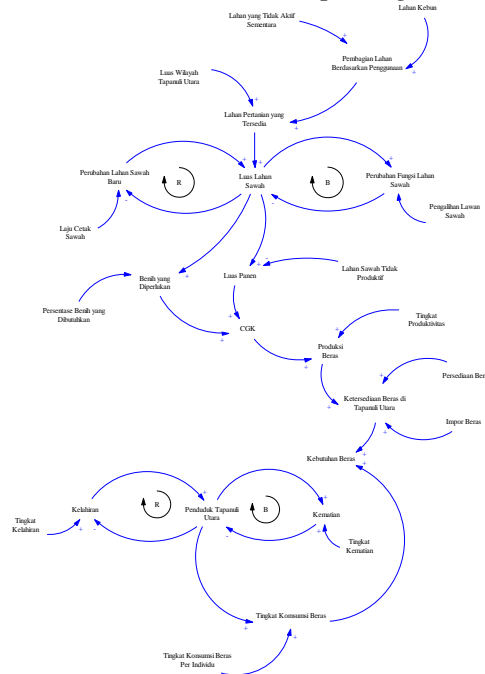
- a. Ketersediaan beras di Tapanuli Utara
- b. Tingkat konsumsi beras

Casual Loop Diagram

Model Causal Loop Diagram (CLD) adalah alat yang sering digunakan dalam menyelesaikan masalah dengan pendekatan sistem. Model ini mempertimbangkan kompleksitas dinamis dari suatu sistem dan berfungsi untuk mendukung analisis menggunakan pendekatan sistem dinamik (Pornphol & Chittayasothorn, 2013). Tahapan awal dalam membangun sistem dinamik adalah menyusun diagram sebab akibat (*causal loop diagram*). Diagram ini berfungsi untuk menggambarkan hubungan timbal balik antara berbagai variabel dalam sistem dan membantu memahami struktur kompleksitas yang ada. Pembuatan diagram sebab akibat merupakan bagian dari tahapan kualitatif yang bertujuan untuk memvisualisasikan struktur pembentuk sistem secara mendalam dan menggambarkan pola interaksi antar variabel. Diagram sebab akibat digunakan untuk menganalisis faktor-faktor yang memengaruhi ketersediaan beras di Tapanuli Utara. Diagram tersebut

memberikan gambaran mengenai bagaimana variabel-variabel saling berinteraksi, termasuk pengaruh faktor produksi, distribusi, konsumsi, dan kebijakan pemerintah. Untuk lebih jelasnya, diagram sebab akibat ketersediaan beras di Tapanuli Utara dapat dilihat pada gambar berikut :

Gambar 1. *Casual Loop Diagram*

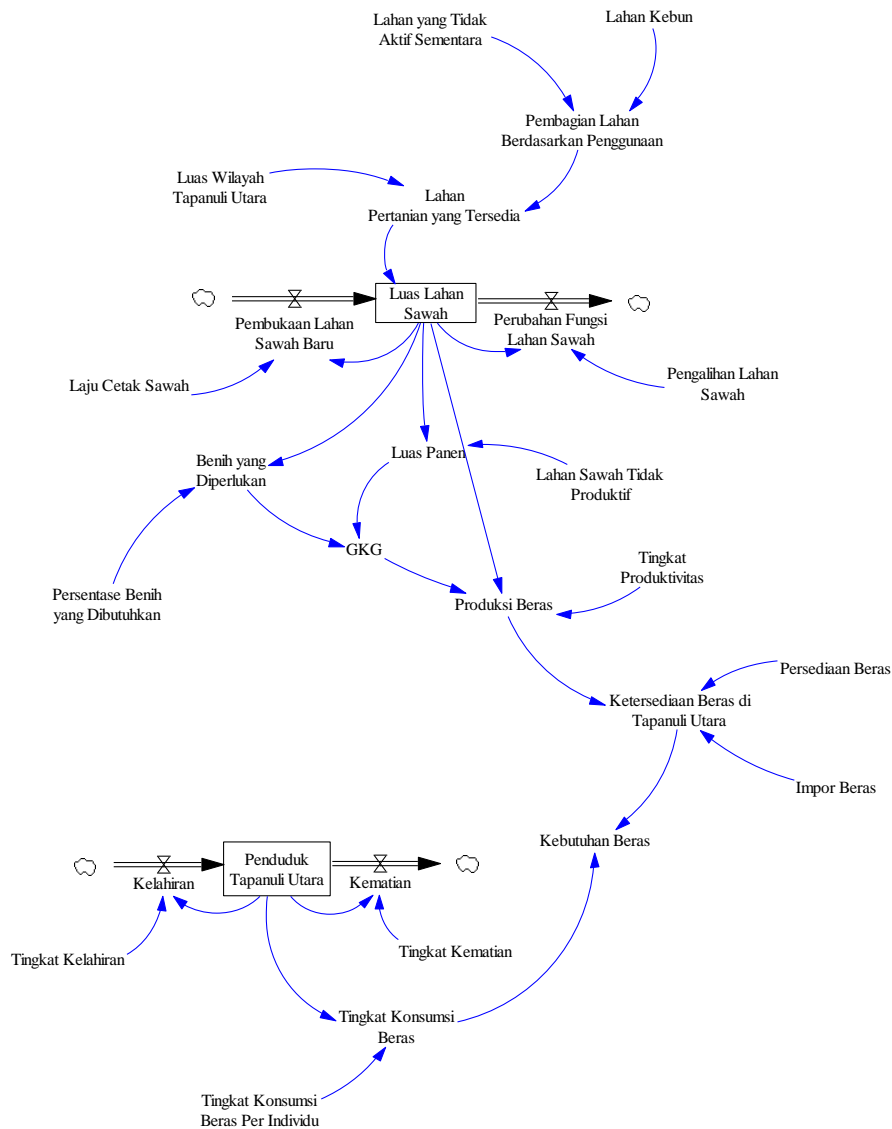


Luas lahan sawah dipengaruhi oleh beberapa faktor utama. Lahan sawah dapat bertambah jika terdapat cetak sawah baru dan tersedia lahan pertanian yang digunakan sesuai penggunaannya. Sebaliknya, alih fungsi lahan menjadi hal yang mengurangi luas lahan sawah. Di sisi lain, ketersediaan beras di Tapanuli Utara dipengaruhi oleh produksi beras, cadangan beras yang dimiliki, dan juga impor beras untuk mencukupi kebutuhan. Konsumsi beras akan meningkat jika jumlah penduduk bertambah, di mana pertambahan penduduk ini dipengaruhi oleh angka kelahiran. Semua faktor ini saling berkaitan dalam mengatur penggunaan lahan dan ketersediaan pangan di Tapanuli Utara.

Stock and Flow Diagram

Simulasi diagram alir ketersediaan beras di Tapanuli Utara adalah terjemahan dari diagram sebab akibat yang dapat disimulasikan dengan berdasarkan data dan asumsi.

Gambar 2. *Stock and Flow Diagram*



Setelah diagram *stock and flow* di bangun, langkah selanjutnya adalah memasukan formula yang akan digunakan untuk menghitung variabel. Perumusan model menunjukkan bagaimana model didasarkan pada rumus matematik dan pendekatan kuantitatif lainnya. Formulasi yang digunakan pada diagram alir ketersediaan beras di Tapanuli Utara dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Formulasi Sistem Dinamik

No	Variable	Formulasi	Satuan
1	Luas Lahan Sawah	Pembukaan Lahan Sawah Baru- Perubahan Fungsi Lahan Sawah+Lahan Pertanian yang Tersedia, 19917	Hektar
2	Pembukaan Lahan Sawah Baru	Laju Cetak Sawah*Luas Lahan Sawah/Luas Lahan Sawah	Hektar/Tahun
3	Perubahan Fungsi Lahan Sawah	Pengalihan Lahan Sawah*Luas Lahan Sawah/Luas Lahan Sawah	Hektar/Tahun
4	Lahan Pertanian yang Tersedia	Luas Wilayah Tapanuli Utara- Pembagian Lahan Berdasarkan Penggunaan	Hektar

5	Luas Wilayah Tapanuli Utara	202200	Hektar
6	Pembagian Lahan Berdasarkan Penggunaan	Lahan yang Tidak Aktif Sementara+Lahan Kebun	Hektar
7	Lahan yang Tidak Aktif Sementara	33392	Hektar
8	Lahan Kebun	15642	Hektar
9	Laju Cetak Sawah	15000	Hektar/Tahun
10	Pengalihan Lahan Sawah	10000	Hektar/Tahun
11	Benih yang Diperlukan	Persentase Benih yang Dibutuhkan*Luas Lahan Sawah	Hektar*Persen
12	Persentase Benih yang Dibutuhkan	0.8	Persen
13	Luas Panen	Luas Lahan Sawah-Lahan Sawah Tidak Produktif	Hektar
14	Lahan Sawah Tidak Produktif	1000	Hektar
15	GKG	Luas Panen/Benih yang Diperlukan	Dmnl/Persen
16	Produksi Beras	(GKG/100)*Tingkat Produktivitas*Luas Lahan Sawah	Ton/Tahun
17	Tingkat Produktivitas	$100000+(100000*0.6)$	Ton/Hektar
18	Ketersediaan Beras di Tapanuli Utara	Persediaan Beras+Impor Beras+Produksi Beras	Ton/Tahun
19	Persediaan Beras	2.85e+06	Ton/Tahun
20	Impor Beras	2.25e+06	Ton/Tahun
21	Kebutuhan Beras	Tingkat Konsumsi Beras/Ketersediaan Beras di Tapanuli Utara	Dmnl
22	Penduduk Tapanuli Utara	Kelahiran-Kematian,208754	Jiwa/Tahun
23	Kelahiran	Penduduk Tapanuli Utara+Tingkat Kelahiran	Jiwa/Tahun
24	Kematian	Penduduk Tapanuli Utara/Tingkat Kematian	Jiwa/Tahun
25	Tingkat Kematian	200	Jiwa/Tahun
26	Tingkat Kelahiran	170	Jiwa/Tahun
27	Tingkat Konsumsi Beras	Penduduk Tapanuli Utara*Tingkat Konsumsi Beras Per Individu	Ton/Tahun
28	Tingkat Konsumsi Beras Per Individu	$116+(116*0.3)$	Ton/Jiwa/Tahun

Data yang digunakan pada diagram alir diperoleh dari Badan Pusat Statistik dan Badan Pusat Statistik Tapanuli Utara.

Validasi Model

Validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data aktual yang diperoleh dari sistem nyata. Validasi model dilakukan terhadap variabel ketersediaan

beras di Tapanuli Utara dan tingkat konsumsi beras. Validasi dilakukan dengan menurunkan waktu simulasi menjadi waktu awal adalah tahun 2022 dan waktu akhir adalah tahun 20332, sehingga formulasi disesuaikan dengan data 10 tahun. Uji validasi model dilakukan dengan uji MAPE (Aminudin et al., 2014). Uji validasi MAPE dilakukan dengan menggunakan program microsoft excel, uji MAPE digunakan untuk mengetahui kesesuaian data hasil perkiraan dengan data aktual.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \frac{|Xm - Xd|}{Xd} \times 100\%$$

Keterangan:

Xm = Data hasil simulasi

Xd = Data aktual

n = Periode/banyaknya data

Kriteria ketepatan model dengan uji MAPE (Aminudin et al., 2014) adalah:

MAPE < 5%	Sangat Tepat
5% < MAPE < 10%	Tepat
MAPE > 10%	Tidak Tepat

Tujuan validasi model menggunakan uji Mean Absolute Percentage Error (MAPE). Uji MAPE memberikan gambaran yang jelas mengenai tingkat kesalahan relatif prediksi terhadap nilai aktual, dinyatakan dalam persentase. Validasi ini penting karena membantu menilai keandalan model dalam berbagai kondisi dan memungkinkan perbandingan kinerja antar model. Melalui uji MAPE, diperoleh informasi mengenai besarnya kesalahan prediksi, yang dapat digunakan untuk mengidentifikasi area yang memerlukan perbaikan atau penyempurnaan model guna meningkatkan akurasi. Dengan validasi yang baik, model akan lebih andal dalam mendukung pengambilan keputusan berbasis data prediktif. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan hasil uji validasi suatu sistem nyata atau tidak.

Tabel 3. Uji Validasi Model

Tahun	Penduduk Tapanuli Utara		Tingkat Konsumsi Beras		Ketersediaan Beras di Tapanuli Utara	
	Data	Simulasi	Data	Simulasi	Data	Simulasi
2019	180,694	180,694	119,997	118,724	5,700,567	5,218,720
2020	183,712	181,064	125,987	123,070	5,529,857	5,223,070
2021	206,199	181,434	127,765	124,373	5,337,897	5,224,370
2022	208,754	181,804	127,889	124,793	5,495,795	5,224,790
MAPE	6,59%		2.11%		5.26%	

Tabel 3 uji validasi model simulasi Penduduk Tapanuli Utara dan Ketersediaan beras di Tapanuli Utara menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan nilai MAPE masing-masing sebesar 6,59% dan 5.26%. Sementara itu, model untuk produksi beras menunjukkan akurasi yang sangat tinggi, dengan nilai MAPE sebesar 2.11% dan . Hal ini menunjukkan bahwa model yang dibangun telah mampu merepresentasikan kondisi nyata dengan baik.

SIMULASI SISTEM DINAMIK

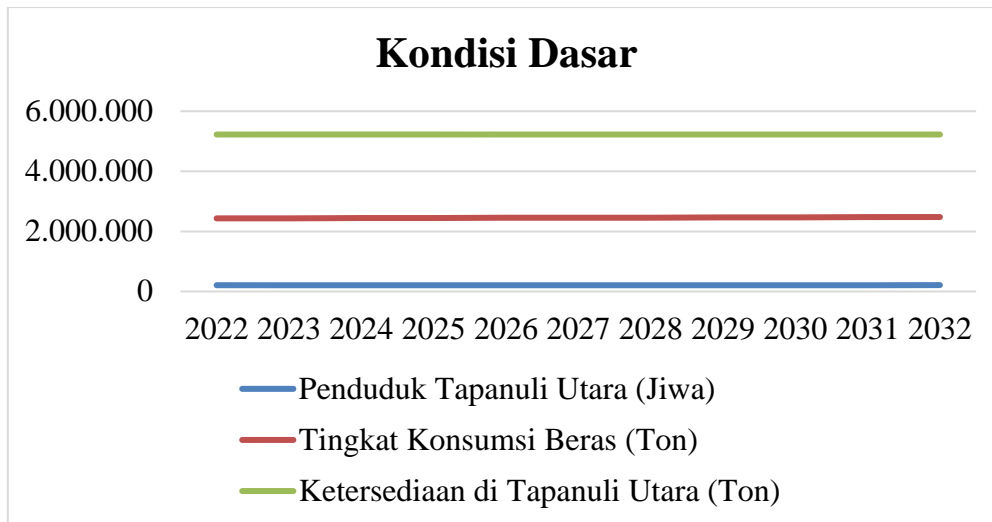
Rentang waktu yang digunakan dalam simulasi sistem dinamik terhadap ketersediaan beras di Kabupaten Tapanuli Utara adalah 10 tahun. Pemilihan periode 10 tahun (2022-2032) untuk analisis simulasi sistem dinamik ketersediaan beras di Kabupaten Tapanuli Utara bertujuan untuk mengamati pola fluktuasi produktivitas dan ketersediaan beras secara tahunan.

Simulasi untuk Kondisi Dasar (*Baseline Scenario*)

Ketersediaan beras dan tingkat konsumsi beras merupakan aspek penting yang perlu dianalisis untuk memastikan pengelolaan sumber daya pangan yang optimal di suatu wilayah. Di Kabupaten Tapanuli Utara, pemahaman terhadap ketersediaan dan konsumsi beras dapat membantu mengidentifikasi wilayah yang memiliki potensi produksi padi untuk dikembangkan lebih baik, sementara wilayah yang kurang potensial dapat diarahkan untuk mengembangkan komoditas pangan lain yang sesuai dengan kondisi geografis dan sosial-ekonominya. Upaya ini bertujuan untuk meningkatkan ketersediaan beras dan mendukung ketahanan pangan di Tapanuli Utara. Keseimbangan antara ketersediaan dan tingkat konsumsi beras sangat dipengaruhi oleh jumlah penduduk di wilayah tersebut. Apabila ketersediaan beras lebih besar dari konsumsi, maka Kabupaten Tapanuli Utara dapat dikategorikan sebagai daerah yang mengalami surplus beras. Untuk mendapatkan gambaran mengenai ketersediaan beras di Kabupaten Tapanuli Utara, informasi lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4. Simulasi untuk Kondisi Dasar (*Baseline Scenario*)

Tahun	Penduduk Tapanuli Utara (Jiwa)	Tingkat Konsumsi Beras (Ton)	Ketersediaan di Tapanuli Utara (Ton)
2022	208.754	2.434.420	5.224.790
2023	209.124	2.438.710	5.224.930
2024	209.494	2.443.010	5.224.980
2025	209.864	2.447.300	5.224.990
2026	210.234	2.452.590	5.225.000
2027	210.604	2.455.880	5.225.000
2028	210.974	2.460.170	5.225.000
2029	211.344	2.464.470	5.225.000
2030	211.714	2.468.760	5.225.000
2031	212.084	2.473.050	5.225.000
2032	212.454	2.477.340	5.225.000



Gambar 3. Grafik Simulasi untuk Kondisi Dasar (*Baseline Scenario*)

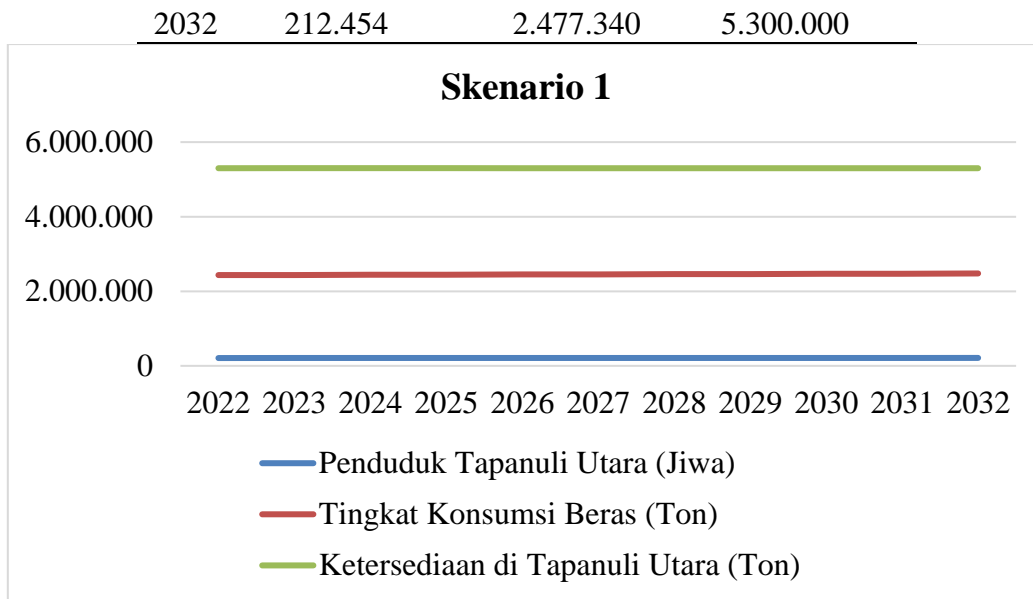
Berdasarkan hasil simulasi di atas, pertumbuhan jumlah penduduk yang dipengaruhi oleh angka kelahiran dan migrasi menyebabkan peningkatan konsumsi beras di Tapanuli Utara. Pada tahun 2026, jumlah penduduk diproyeksikan sebanyak 210.604 jiwa dengan tingkat konsumsi beras mencapai 2.455.880 ton, sementara ketersediaan beras tetap sebesar 5.225.000 ton. Karena ketersediaan beras jauh lebih besar dibandingkan tingkat konsumsinya, Tapanuli Utara diperkirakan akan terus mengalami surplus atau kelebihan beras hingga tahun 2032. Surplus ini membuka peluang untuk ekspor ke wilayah lain atau penyimpanan sebagai cadangan strategis, meskipun perlu diantisipasi potensi ancaman seperti perubahan iklim dan konversi lahan pertanian yang dapat memengaruhi stabilitas produksi di masa depan.

Skenario 1

Pada skenario 1, simulasi dilakukan dengan asumsi bahwa produktivitas pertanian meningkat sebesar 60%. Simulasi ini bertujuan untuk melihat bagaimana peningkatan produktivitas dapat memengaruhi ketersediaan beras di Tapanuli Utara, sekaligus memastikan apakah kebutuhan konsumsi masyarakat yang terus bertambah dapat terpenuhi. Hasilnya akan memberikan gambaran mengenai kemampuan Tapanuli Utara dalam menjaga ketahanan pangan dan potensi surplus yang bisa dimanfaatkan di masa depan.

Tabel 5. Skenario 1

Tahun	Penduduk Tapanuli Utara (Jiwa)	Tingkat Konsumsi Beras (Ton)	Ketersediaan di Tapanuli Utara (Ton)
2022	208.754	2.434.420	5.299.670
2023	209.124	2.438.710	5.299.890
2024	209.494	2.443.010	5.299.960
2025	209.864	2.447.300	5.299.990
2026	210.234	2.452.590	5.300.000
2027	210.604	2.455.880	5.300.000
2028	210.974	2.460.170	5.300.000
2029	211.344	2.464.470	5.300.000
2030	211.714	2.468.760	5.300.000
2031	212.084	2.473.050	5.300.000



Gambar 4. Grafik Skenario 1

Berdasarkan hasil simulasi diatas ditunjukkan bahwa peningkatan produktivitas beras berpengaruh signifikan terhadap peningkatan ketersediaan beras di Tapanuli Utara. Pada kondisi awal tahun 2026, ketersediaan beras di Tapanuli Utara adalah sebesar 5.225.000 ton. Setelah dilakukan simulasi dengan peningkatan produktivitas sebesar 60%, ketersediaan beras meningkat menjadi 5.300.000 ton. Hal ini menunjukkan bahwa upaya peningkatan produktivitas dapat menjadi strategi efektif untuk memastikan ketersediaan pangan yang lebih baik di masa mendatang.

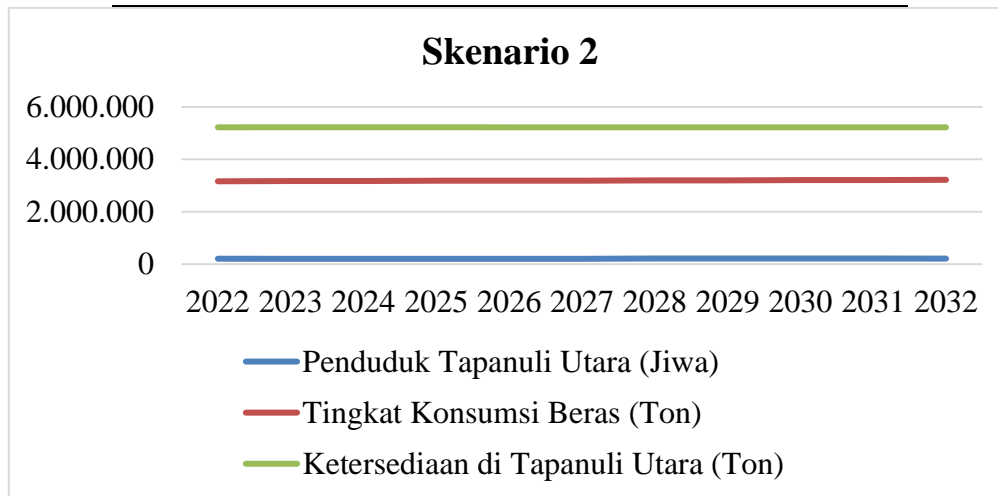
Skenario 2

Pada skenario 2, simulasi dilakukan dengan asumsi adanya peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30%. Peningkatan ini menggambarkan kemungkinan perubahan pola konsumsi masyarakat, yang dapat dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti pertumbuhan ekonomi, perubahan gaya hidup, atau peningkatan pendapatan. Tujuan dari skenario ini adalah untuk menganalisis dampaknya terhadap total konsumsi beras di Tapanuli Utara serta bagaimana ketersediaan beras dapat mencukupi kebutuhan tersebut. Hasil simulasi ini diharapkan memberikan gambaran yang lebih jelas tentang ketahanan pangan di Tapanuli Utara jika terjadi perubahan signifikan dalam pola konsumsi masyarakat.

Tabel 6. Skenario 2

Tahun	Penduduk Tapanuli Utara (Jiwa)	Tingkat Konsumsi Beras (Ton)	Ketersediaan di Tapanuli Utara (Ton)
2022	208.754	3.164.750	5.224.790
2023	209.124	3.170.330	5.224.930
2024	209.494	3.175.910	5.224.980
2025	209.864	3.181.490	5.224.990
2026	210.234	3.187.070	5.225.000
2027	210.604	3.192.650	5.225.000
2028	210.974	3.198.230	5.225.000
2029	211.344	3.203.810	5.225.000

2030	211.714	3.209.390	5.225.000
2031	212.084	3.214.970	5.225.000
2032	212.454	3.220.550	5.225.000



Gambar 5. Grafik Skenario 2

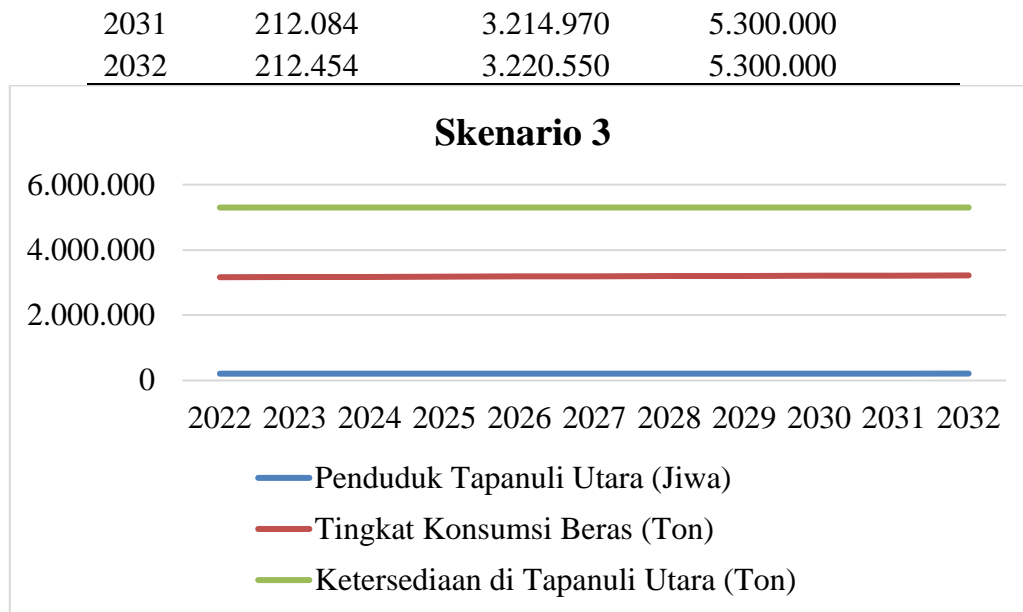
Hasil simulasi diatas menunjukkan bahwa dengan peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30%, total konsumsi beras di Tapanuli Utara mengalami kenaikan yang signifikan. Meskipun demikian, ketersediaan beras di Tapanuli Utara ini tetap mencukupi untuk memenuhi kebutuhan yang meningkat. Bahkan dengan skenario konsumsi yang lebih tinggi, Tapanuli Utara masih mampu mempertahankan kondisi surplus beras. Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan beras di Tapanuli Utara berada pada tingkat yang cukup aman, memberikan peluang untuk memanfaatkan surplus tersebut bagi kebutuhan lain, seperti cadangan pangan strategis atau distribusi ke wilayah yang membutuhkan.

Skenario 3

Pada skenario 3, simulasi dilakukan dengan mengasumsikan adanya peningkatan produktivitas beras sebesar 60% serta peningkatan tingkat konsumsi beras per kapita sebesar 30%. Skenario ini dirancang untuk menganalisis sejauh mana peningkatan produktivitas dapat mengimbangi peningkatan konsumsi, sehingga memastikan ketersediaan beras tetap mencukupi kebutuhan masyarakat di Tapanuli Utara. Simulasi ini juga memberikan gambaran mengenai ketahanan pangan Tapanuli Utara di tengah perubahan yang signifikan dalam pola konsumsi dan produktivitas, serta membantu dalam merumuskan strategi yang lebih tepat untuk menjaga stabilitas pasokan beras.

Tabel 7. Skenario 3

Tahun	Penduduk Tapanuli Utara (Jiwa)	Tingkat Konsumsi Beras (Ton)	Ketersediaan di Tapanuli Utara (Ton)
2022	208.754	3.164.750	5.299.670
2023	209.124	3.170.330	5.299.890
2024	209.494	3.175.910	5.299.960
2025	209.864	3.181.490	5.299.990
2026	210.234	3.187.070	5.300.000
2027	210.604	3.192.650	5.300.000
2028	210.974	3.198.230	5.300.000
2029	211.344	3.203.810	5.300.000
2030	211.714	3.209.390	5.300.000



Gambar 6. Grafik Skenario 3

Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan asumsi peningkatan konsumsi per kapita sebesar 30% dan peningkatan produktivitas beras sebesar 60%, Tapanuli Utara masih dapat memenuhi kebutuhan konsumsi beras daerah hingga tahun 2032. Pada tahun 2026, tingkat konsumsi beras tercatat sebesar 3.187.070 ton, sementara ketersediaan beras mencapai 5.300.000 ton. Dengan demikian, Tapanuli Utara ini mengalami surplus beras sebesar 2.112.930 ton pada tahun tersebut.

Secara keseluruhan, berdasarkan data dari tahun 2022 hingga 2032, surplus beras tetap terjaga di kisaran lebih dari 2 juta ton setiap tahun. Hal ini menunjukkan bahwa upaya peningkatan produktivitas memberikan dampak positif dalam menjaga kestabilan ketersediaan pangan di Tapanuli Utara, meskipun terjadi peningkatan jumlah penduduk dan tingkat konsumsi. Stabilitas ini memberikan peluang bagi Tapanuli Utara untuk memperkuat cadangan pangan, mendukung kebutuhan ekspor, atau membantu wilayah lain yang kekurangan beras.

PENUTUP

Dari penelitian yang telah dilakukan terhadap perancangan sistem dinamik ketersediaan beras di Tapanuli Utara maka diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada perancangan sistem dinamik yang dirancang ini terdapat 2 key variabel yang diamati yaitu ketersediaan beras di Tapanuli Utara dan tingkat konsumsi beras di Tapanuli Utara.
2. Hasil uji validasi model simulasi Penduduk Tapanuli Utara dan Ketersediaan Beras di Tapanuli Utara menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan nilai MAPE masing-masing sebesar 6,59% dan 1,02%. Selain itu, model untuk Produksi Beras juga menunjukkan akurasi yang tinggi dengan nilai MAPE sebesar 4,78%. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa model yang dikembangkan mampu merepresentasikan kondisi nyata secara akurat.
3. Hasil simulais untuk masing-masing skenario sebagai berikut:
 - a. Simulasi kondisi dasar (*baseline scenario*)

Analisis menunjukkan bahwa wilayah dengan potensi produksi padi dapat dikembangkan lebih baik, sementara wilayah kurang potensial dapat fokus pada komoditas lain. Berdasarkan simulasi, meskipun pertumbuhan penduduk pada tahun 2026 diproyeksikan mencapai 210.604 jiwa dengan konsumsi beras 2.455.880 ton, ketersediaan beras tetap tinggi

di 5.225.000 ton, menunjukkan surplus yang diperkirakan berlanjut hingga 2032. Surplus ini membuka peluang ekspor atau cadangan strategis, meskipun tetap perlu mengantisipasi ancaman seperti perubahan iklim dan konversi lahan.

b. Skenario 1

Simulasi skenario 1 dengan peningkatan produktivitas pertanian sebesar 60% menunjukkan dampak signifikan terhadap ketersediaan beras di Tapanuli Utara. Pada tahun 2026, ketersediaan beras awal sebesar 5.225.000 ton meningkat menjadi 5.300.000 ton setelah peningkatan produktivitas. Hasil ini mengindikasikan bahwa peningkatan produktivitas dapat menjadi strategi efektif untuk memenuhi kebutuhan konsumsi yang terus bertambah dan menjaga ketahanan pangan di masa depan.

c. Skenario 2

Simulasi skenario 2 dengan peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30% menunjukkan peningkatan signifikan dalam total konsumsi beras di Tapanuli Utara. Meski demikian, ketersediaan beras tetap mencukupi, sehingga wilayah ini mampu mempertahankan surplus beras. Surplus tersebut dapat dimanfaatkan untuk cadangan pangan strategis atau distribusi ke wilayah lain, menunjukkan bahwa ketahanan pangan di Tapanuli Utara berada pada tingkat yang aman meskipun terjadi perubahan pola konsumsi.

d. Skenario 3

Simulasi skenario 3 menunjukkan bahwa meskipun terjadi peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30% dan produktivitas beras meningkat 60%, Tapanuli Utara tetap mampu memenuhi kebutuhan hingga 2032. Pada 2026, konsumsi beras mencapai 3.187.070 ton, sementara ketersediaannya mencapai 5.300.000 ton, menghasilkan surplus sebesar 2.112.930 ton. Hal ini menegaskan bahwa ketahanan pangan di Tapanuli Utara tetap terjaga meskipun ada perubahan signifikan dalam pola konsumsi dan produktivitas.

Berdasarkan hasil simulasi dari ketiga skenario, **skenario 3** adalah yang paling direkomendasikan. Skenario ini menggabungkan peningkatan produktivitas beras sebesar 60% dan peningkatan konsumsi beras per kapita sebesar 30%. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun konsumsi meningkat signifikan, Tapanuli Utara masih mampu memenuhi kebutuhan beras dengan surplus yang cukup besar, yaitu 2.112.930 ton pada tahun 2026.

DAFTAR PUSTAKA

- Adi, A., Rachmina, D., & Krisnamurthi, Y. B. (2021). Neraca Ketersediaan Beras Di Kalimantan Timur Sebagai Calon Ibukota Baru Indonesia Dengan Pendekatan Sistem Dinamik. *Analisis Kebijakan Pertanian*, 19(2), 207. <https://doi.org/10.21082/akp.v19n2.2021.207-218>
- Alfa, B. N., & Subagyo. (2018). Analysis of rice supply chain mechanism with simulation approach. *IPTEK Journal of Proceedings Series*, 0(3), 37. <https://doi.org/10.12962/j23546026.y2018i3.3704>
- Aminudin, M., Mahbubi, A., & Sari, R. A. P. (2014). Simulasi Model Sistem Dinamis Rantai Pasok Kentang Dalam Upaya Ketahanan Pangan Nasional. *Agribusiness Journal*, 8(1), 1–14. <https://doi.org/10.15408/aj.v8i1.5125>
- Asnuri, S., & Yuliana, R. (2023). Penyusunan Indeks Keberlanjutan Sistem Ketersediaan Beras di Indonesia Tahun 2021. *Seminar Nasional Official Statistics*, 2023(1), 675–686. <https://doi.org/10.34123/semnasoffstat.v2023i1.1766>
- Egea, J. A., García, M. R., & Vilas, C. (2023). Dynamic Modelling and Simulation of Food Systems: Recent Trends and Applications. *Foods*, 12(3), 1–5. <https://doi.org/10.3390/foods12030557>
- FAO. (2008). An Introduction to the Basic Concepts of Food Security I. *Social Indicators Research*, 95(1), 215–230. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21812205%5Cnhttp://jn.nutrition.org/content/1>

- 40/1/153S.abstract%5Cnhttp://link.springer.com/10.1007/s11205-009-9455-4%5Cnhttp://www.fao.org/docrep/013/al936e/al936e00.pdf%5Cnwww.andes.info.ec/es/noticias/fao-ecuador-boli
- Ghafiqie, A. (2012). Pengembangan Model Sistem Dinamis Untuk Menganalisa Kontribusi MRT Jakarta Terhadap PAD DKI Jakarta. *Universitas Indonesia Library*, 1–82. <http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20309768-T31003 - Pengembangan model.pdf>
- Giraldo, D. P., Betancur, M. J., & Arango, S. (2008). Food Security in Development Countries : A systemic perspective. *Technology, 1*, 1–15.
- Martinez-Moyano, I. J. (2014). Documentation for model transparency. *System Dynamics Review, 30*(2), 206–231. <https://doi.org/10.1002/sdr>
- Monasterolo, I., Pasqualino, R., & Mollona, E. (2021). The role of System Dynamics Modelling to Understand Good Chain Complexity and Address Challenges for Sustainability Policies. ... *and the Food and Agriculture ...*, 1–15. http://www.fao.org/fileadmin/templates/ags/docs/MUFN/CALL_FILES_EXPERT_2015/CFP3-06_Full_Paper.pdf
- Mulyani, A., Kuncoro, D., Nursyamsi, D., & Agus, F. (2016). Analisis Konversi Lahan Sawah: Penggunaan Data Spasial Resolusi Tinggi Memperlihatkan Laju Konversi yang Mengkhawatirkan. *Jurnal Tanah Dan Iklim, 40*(2), 121–133.
- Pornphol, P., & Chittayasothorn, S. (2013). A Conceptual Schema of the System Dynamics Casual Loop Diagram. *Recent Advances in Knowledge Engineering and Systems Science: (Aiked '13), (Sepads '13)*, 86–91. <http://books.google.com.tw/books?id=kH1NmGEACAAJ>
- Rohman, A., Maharani, A. D., & Program. (2017). Proyeksi Kebutuhan Konsumsi Pangan Beras. *Caraka Tani: Journal of Sustainable Agriculture, 32*(1), 29–34.
- Setiadi, H., Mubassiran, & Hatmani, R. D. (2022). Perancangan Model Sistem Dinamik Ketersediaan Beras Dalam Upaya Mendukung Ketahanan Pangan Di Kabupaten Bandung. *Jurnal Logistik Bisnis, 12*(01), 56–59.
- Simatupang, I. L., Kernalis, E., & Lubis, A. (2018). Analisis Ketersediaan Beras Di Kabupaten Di Kabupaten Tanjung Jabung Timur. *Jurnal Ilmiah Sosio-Ekonomika Bisnis, 19*(2), 1. <https://doi.org/10.22437/jiseb.v19i2.5018>
- Sintiya, E. S. (2023). Analisis Ketersediaan Beras Menggunakan Sistem Dinamik Sebagai Pendukung Kebijakan Ketahanan Pangan. *Jurnal Tecnoscienza, 7*(2), 268–282. <https://doi.org/10.51158/tecnoscienza.v7i2.852>
- Subhan, Junaedi, & Darmawan. (2023). Potensi Ketersediaan dan Kebutuhan Beras dalam Kaitannya dengan Ketahanan Pangan di Kabupaten Mamuju. *Proper:Jurnal Penelitian Pertanian Terapan, 1*(2), 2023.
- Suprianto, J., & Suryani, E. (2014). Pengembangan Model Sistem Dinamik Pemenuhan Logistik Beras Untuk Menjaga Stabilitas Harga Beras (Studi Kasus: Provinsi Jawa Timur). *Sisfo, 05*(01), 9–14. <https://doi.org/10.24089/j.sisfo.2014.03.009>
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Mulyono, T., & Dewi, L. P. (2014). System dynamics model to support rice production and distribution for food security. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering), 68*(3), 45–51. <https://doi.org/10.11113/jt.v68.2928>
- Suryani, E., Hendrawan, R. A., Rahmawati, U. E., & Wicaksono, M. G. S. (2019). Model Sistem Dinamik Peningkatan Produktivitas Padi. *Sustainability (Switzerland), 11*(1), 1–14. http://scioteca.caf.com/bitstream/handle/123456789/1091/RED2017-Eng-8ene.pdf?sequence=12&isAllowed=y%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2008.06.005%0Ahttps://www.researchgate.net/publication/305320484_SISTEM_PEMBETUNGAN_TERPUSAT_STRATEGI_MELESTARI
- Wityasari, N., & STP. (2021). Pengertian Ketahanan Pangan Aspek, Tujuan dan Faktor yang Mempengaruhi. *Staf Dinas Ketahanan Pangan Kab Probolinggo, 1997*.

Zulfikar, T. E., Supriyadi, Rosihin, & Nalhadi, A. (2023). Pemodelan Sistem Persediaan Menggunakan Pendekatan Sistem Dinamik. *JiTEKH*, 11(2), 62–69. <https://doi.org/10.35447/jitekh.v11i2.783>