

ANALISIS KEBERLANJUTAN RANTAI PASOK APEL DI KABUPATEN MALANG MENGUNAKAN DINAMIKA SISTEM

ANALYSIS OF APPLE SUPPLY CHAIN SUSTAINABILITY IN MALANG DISTRICT USING SYSTEM DYNAMICS

Tiara Ariqoh Bawindaputri, Retno Astuti^{*}, dan Endah Rahayu Lestari

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya
Jalan Veteran, Malang 65145, Jawa Timur, Indonesia
^{*}Email korespondensi: retno_astuti@ub.ac.id

Makalah: Diterima 10 Maret 2022; Diperbaiki 20 Juli 2022; Disetujui 10 Agustus 2022

ABSTRACT

Apple production as a typical fruit of Malang Regency has decreased due to land degradation, land conversion, climate change, and old tree age. This can disrupt the apple supply chain sustainability in Malang Regency. This study aimed to produce simulations of several scenarios for the sustainable apple supply chain development and provide policy recommendations for the apple supply chain sustainability in Malang Regency. The model made consisted of 3 sub models, i.e. economic, social, and environmental. The respondents were 53 farmers, 3 collectors, and 20 retailers. The parameters measured were the profit of farmer, collectors, and retailers, employment, and the area of degraded land. Simulations were carried out in 3 scenarios from 2020 to 2030, i.e. the original conditions (scenario 1), controlling land (scenario 2), and increasing productivity and controlling land simultaneously (scenario 3). The best parameter values were obtained from the scenario 3 simulation results, i.e. adding land by 1.15%/year, reducing the conversion rate to 2.93%, and increasing productivity by 5%/year. This scenario showed that in 2030 yields 4,905,656 kg of apples with profits of farmer, collectors, and retailers were Rp 26,374,922,326, Rp 31,597,327,651, and Rp 27,996,576,448, respectively, employment of 22,349 people/hectare, and a degraded land area of 11.7 hectares. The scenario 3 implementation can reduce the decline in apple land area and productivity over the next 10 years. Policies that can be implemented include providing training and incentives for farmers, strengthening policies on apple commodities, restoring soil, and transitioning to organic farming.

Keywords: apple, supply chain, sustainability, system dynamics

ABSTRAK

Produksi apel sebagai buah khas Kabupaten Malang mengalami penurunan yang diakibatkan oleh degradasi lahan, konversi lahan, perubahan iklim, dan umur pohon yang tua. Hal tersebut dapat mengganggu keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Tujuan penelitian ini adalah menghasilkan simulasi beberapa skenario pengembangan rantai pasok buah apel yang berkelanjutan dan memberikan rekomendasi kebijakan untuk keberlanjutan rantai pasok buah apel di Kabupaten Malang. Model yang dibuat terdiri dari 3 sub model, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Responden penelitian ini adalah 53 petani, 3 pengepul, dan 20 orang pengecer. Parameter yang diukur adalah keuntungan petani, keuntungan pengepul, keuntungan pengecer, penyerapan tenaga kerja, dan luas lahan terdegradasi. Simulasi dilakukan pada 3 skenario dari tahun 2020 hingga 2030, yaitu tanpa perubahan dari kondisi riil, perubahan dilakukan dengan pengendalian lahan, serta perubahan dilakukan dengan meningkatkan produktivitas dan pengendalian lahan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa nilai parameter paling baik diperoleh dari hasil simulasi skenario 3, yaitu melakukan penambahan lahan sebesar 1,15%/tahun, menurunkan tingkat konversi menjadi 2,93%, dan meningkatkan produktivitas sebesar 5%/tahun. Skenario tersebut pada tahun 2030 memberikan hasil 4.905.656 kg apel dengan keuntungan petani Rp 26.374.922.326, keuntungan pengepul Rp 31.597.327.651, keuntungan pengecer Rp 27.996.576.448, penyerapan tenaga kerja 22.349 orang/hektar, dan luas lahan terdegradasi 11,7 hektar. Penerapan skenario 3 dapat menekan penurunan luas lahan apel dan penurunan produktivitas apel selama 10 tahun ke depan. Kebijakan yang dapat dilakukan antara lain memberikan pelatihan dan insentif bagi petani, penguatan kebijakan pada komoditas apel, melakukan pemulihan tanah, dan peralihan menuju pertanian organik.

Kata kunci: apel, dinamika sistem, keberlanjutan, rantai pasok

PENDAHULUAN

Buah apel telah menjadi komoditi khas yang terus dikembangkan di Kabupaten Malang. Produksi

buah apel di Kabupaten Malang pada tahun 2016 menempati posisi kedua setelah buah pisang, yaitu 1.231.483 kg. Kecamatan Poncokusumo menyumbang produksi buah apel terbanyak di

Kabupaten Malang, yaitu 1.009.499 kg (BPS Kabupaten Malang, 2017). Produktivitas apel di Kecamatan Poncokusumo mengalami penurunan karena degradasi lahan. Bahan kimia dan racun hama yang terkandung dalam pupuk dan pestisida dapat mengakibatkan kerusakan tanah (PEMDA, 2017). Umur pohon yang tua dan hama penyakit juga menurunkan produktivitas apel (Balitjestro, 2014). Faktor iklim, seperti kenaikan suhu, kekeringan, dan hujan ekstrim di Kabupaten Malang dapat menurunkan produksi buah apel dalam kuantitas dan kualitas (DAI, 2018).

Penurunan produksi apel dapat menyebabkan penurunan pendapatan petani. Penurunan pendapatan petani juga dapat terjadi karena pengurangan lahan apel akibat degradasi dan konversi lahan yang menyebabkan penurunan produktivitas apel (Anggara *et al.*, 2017). Penurunan produktivitas tersebut mengakibatkan jumlah buah apel tidak tersedia secara kontinyu sehingga mengganggu aliran rantai pasok buah apel. Penelitian mengenai rantai pasok di Indonesia telah banyak dilakukan sebelumnya pada industri makanan dan minuman (Astuti *et al.* 2018; Melly *et al.* 2019; Mustaniroh *et al.* 2019), komoditas hasil perikanan (Untsayain *et al.*, 2017; Malik *et al.*, 2021), komoditas hasil peternakan (Noerdyah *et al.*, 2020), komoditas hasil pertanian dan perkebunan (Slamet *et al.*, 2017; Amalia *et al.*, 2018; Astuti *et al.*, 2019; Dharmawati *et al.*, 2020; Dania *et al.*, 2021; Effendi *et al.*, 2021; Purnomo *et al.*, 2021; Susanto *et al.*, 2021; Kusumaningtyas *et al.*, 2022), komoditas hasil hutan (Saputra *et al.*, 2018), dan di bidang logistik (Pradita *et al.*, 2020). Penelitian tersebut belum meninjau keberlanjutan rantai pasok yang mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi, dan lingkungan. Penelitian tentang keberlanjutan rantai pasok juga pernah dilakukan oleh beberapa peneliti (Choirun *et al.*, 2020; Putri *et al.*, 2020), tetapi penelitian tersebut tidak berobjek komoditas yang merupakan komoditas spesifik daerah. Komoditas spesifik daerah perlu dipertahankan untuk menggerakkan perekonomian dan sebagai identitas daerah tersebut. Oleh karena itu, analisis keberlanjutan rantai pasok apel sebagai komoditas spesifik di Kabupaten Malang dilakukan pada penelitian ini.

Analisis keberlanjutan rantai pasok dilakukan menggunakan dinamika sistem. Dinamika sistem dapat mendeskripsikan dengan baik aliran bahan dan material dalam permasalahan rantai pasok. Dinamika sistem juga dapat melakukan simulasi keseluruhan rantai pasok untuk menemukan kebijakan yang optimal berdasarkan modifikasi model dan umpan balik informasi. Informasi tersebut dapat membantu pengambil keputusan untuk memahami hubungan beberapa faktor dengan tujuan yang ingin dicapai (Tan *et al.*, 2018; Rebs *et al.*, 2019; Song *et al.*, 2019). Keunggulan dinamika sistem adalah kemampuannya menyimulasikan umpan balik antar variabel dan mengidentifikasi waktu tunda pada hubungan antar

variabel (Jokar dan Mokhtar, 2018). Penggunaan dinamika sistem akan memberikan informasi yang dapat membantu pemerintah Kabupaten Malang dalam mengembangkan rantai pasok buah apel yang berkelanjutan.

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan simulasi beberapa skenario dan memberikan rekomendasi kebijakan untuk pengembangan keberlanjutan rantai pasok buah apel di Kabupaten Malang. Analisis keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang dilakukan dengan mengusulkan alternatif kebijakan yang dapat diterapkan kemudian merekomendasikan alternatif kebijakan terpilih sesuai dengan hasil simulasi sistem. Analisis keberlanjutan rantai pasok buah apel di Kabupaten Malang dilakukan dengan memperhatikan dimensi ekonomi, sosial, dan lingkungan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif. Aktor rantai pasok buah apel yang dianalisis pada penelitian ini terdiri dari petani, pengepul, dan pengecer. Aktor rantai pasok yang dipilih menjadi sampel hanya mencakup di Kabupaten Malang. Penelitian tidak membahas impor karena struktur informasi yang tidak jelas. Biaya yang dihitung pada penelitian ini adalah biaya variabel. Biaya investasi tidak dihitung dalam penelitian ini.

Variabel Penelitian

Variabel yang digunakan dalam penelitian saling mempengaruhi elemen-elemen dalam rantai pasok buah apel. Variabel dibagi berdasarkan 3 dimensi keberlanjutan, yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan. Variabel dan deskripsi operasional yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Populasi dan Sampel

Populasi pada penelitian ini adalah semua aktor rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Penentuan sampel dipilih dengan sengaja berdasarkan metode *purposive sampling*, yaitu memilih subjek berdasarkan kriteria spesifik yang ditetapkan oleh peneliti (Carter *et al.*, 2011). Pemilihan sampel pada penelitian ini berdasarkan pada arahan dari penyuluh petani di Kecamatan Poncokusumo, Kepala Seksi Perbenihan dan Perlindungan Hortikultura dari Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, serta sekretaris Badan Pengembangan Potensi Daerah Kabupaten Malang. Sampel pada penelitian ini terdiri dari 53 petani apel, 3 pengepul apel, dan 20 pengecer buah apel yang melakukan kegiatan di Kabupaten Malang. Responden pakar dilibatkan pada penelitian ini untuk memastikan bahwa struktur dan logika model sudah sesuai dengan sistem secara nyata. Daftar responden pakar yang terlibat dalam validasi konstruksi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 1. Variabel Penelitian

No.	Dimensi	Variabel	Satuan	Sumber
1.	Ekonomi	Produksi Apel	Kg	(Wibowo, 2016)
		Total permintaan apel	Kg	(Wibowo, 2016)
		Luas Panen	Ha.	(Aminudin <i>et al.</i> , 2014)
		Produktivitas	Kg/Ha	(Widodo <i>et al.</i> , 2010)
		Keuntungan petani	Rp	(Fatma, 2015)
		Biaya operasional petani	Rp	(Osly, 2015)
		Keuntungan pengepul	Rp	(Fatma, 2015)
		Biaya operasional pengepul	Rp	(Osly, 2015)
		Keuntungan pengecer	Rp	(Fatma, 2015)
		Biaya operasional pengecer	Rp	(Osly, 2015)
2.	Sosial	Luas tanam	Ha	(Muzayanah, 2017)
		Penambahan lahan	Ha	(Aminudin <i>et al.</i> , 2014)
		Konversi lahan	Ha	(Aminudin <i>et al.</i> , 2014)
		Penyerapan tenaga kerja	Orang/Ha	(Jokar and Mokhtar, 2018)
		Upah tenaga kerja	Rp/orang	(Jokar and Mokhtar, 2018)
3.	Lingkungan	Luas lahan terdegradasi	Ha	(Muzayanah, 2017)

Tabel 2. Pakar validasi konstruksi

No	Jabatan	Asal instansi
1	Ketua	Kelompok Tani Bumi Asri 2 Kecamatan Poncokusumo
2	Pengepul apel	Perwakilan pengepul apel di Kecamatan Poncokusumo
3	Pengecer apel	Perwakilan pengecer apel dari Kecamatan Poncokusumo
4	Penyuluh tani	Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang
5	Kepala Bidang Pembenihan dan Perlindungan Hortikultura	Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang
6	Sekertaris	Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Malang
7	Akademisi	Universitas Brawijaya
8	Akademisi	Universitas Brawijaya

Analisis Data

Analisis simulasi dilakukan dengan dinamika sistem. Analisis diawali dengan membuat *causal loop diagram* (CLD) menggunakan aplikasi *Vensim Personal Learning Edition (PLE)*. CLD berisi hubungan sebab akibat antar variabel yang mempengaruhi rantai pasok buah apel. CLD diterjemahkan lebih rinci dengan membuat *stock and flow diagram* (SFD) menggunakan aplikasi *Powersim Studio 10*. SFD berisi formulasi matematika yang akan digunakan untuk melengkapi logika sistem. Validasi dan verifikasi model kemudian dilakukan sebelum mensimulasikan beberapa skenario dalam penelitian ini. Jika model telah valid dan terverifikasi, maka simulasi model dapat dilakukan. Tahap analisis data dan pemodelan sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Verifikasi dan Validasi

Verifikasi model dilakukan untuk memastikan bahwa model yang dibuat sudah berjalan sesuai yang diinginkan. Verifikasi model dilakukan menggunakan *Powersim Studio 10* dengan cara *Check model* pada SFD. Menurut Fortunella *et al.* (2019), verifikasi model dapat dilakukan dengan memeriksa formulasi dan satuan tiap variabel pada

model. Jika tidak terdapat *error*, maka model telah terverifikasi.

Validasi konstruksi pada model bertujuan untuk memastikan bahwa struktur model sudah sesuai dengan konstruksi model pada sistem nyata. Jika hubungan sebab akibat pada model tidak sesuai dengan kenyataan, maka model simulasi tidak dapat menghasilkan rekomendasi (Kurnianingtyas *et al.*, 2020). Validasi konstruksi membutuhkan bantuan dari responden pakar yang memahami sistem secara nyata dan juga disesuaikan dengan teori yang telah ada.

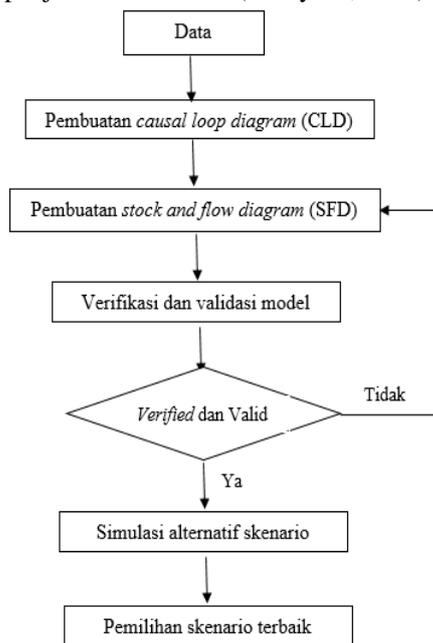
Validasi menggunakan uji *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) untuk mengetahui kesesuaian data hasil simulasi dengan data aktual. Perhitungan uji MAPE dilakukan menggunakan rumus (1).

$$MAPE = 1/n \sum | (X_m - X_d) / X_d | \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

- X_m = data hasil simulasi
- X_d = data aktual
- n = jumlah data

Kriteria ketepatan model adalah sangat tepat jika $MAPE < 5\%$, tepat jika $5\% < MAPE < 10\%$, dan tidak tepat jika $MAPE > 10\%$ (Ustriyana, 2014).

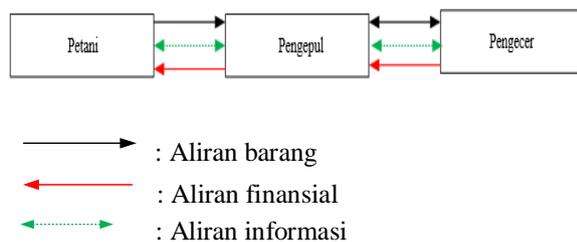


Gambar 1. Analisis data dan pemodelan sistem

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rantai Pasok Apel di Kabupaten Malang

Anggota primer pada rantai pasok apel di Kabupaten Malang adalah petani, pengepul, industri pengolahan apel, pengecer, dan konsumen akhir. Anggota rantai pasok sekunder pada rantai pasok apel di Kabupaten Malang adalah lembaga pemerintah dan lembaga keuangan. Anggota sekunder rantai pasok ini berperan mendukung secara teknis, finansial, dan kebijakan pada seluruh kegiatan rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Salah satu contoh peran anggota sekunder rantai pasok apel di Kabupaten Malang adalah pemberian contoh lapang secara rutin bagi petani apel dari Balai Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Malang dan hibah pohon cangkokan apel dari Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang. Penelitian ini hanya membahas anggota rantai pasok primer dengan aliran barang, finansial, dan informasi dari petani hingga pengecer. Aliran rantai pasok pada sampel penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Aliran rantai pasok pada sampel penelitian

Budidaya apel di Kabupaten Malang saat ini dilakukan di 5 kecamatan, yaitu Kecamatan Tumpang, Kecamatan Jabung, Kecamatan Pujon, Kecamatan Poncokusumo, dan Kecamatan Karangploso. Kecamatan Poncokusumo memiliki lahan apel terbanyak di Kabupaten Malang (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, 2019). Luas Kecamatan Poncokusumo sekitar 3,46 persen dari total luas Kabupaten Malang, yaitu sekitar 100,43 km² (BPS Kabupaten Malang, 2020).

Jenis apel yang dibudidayakan di Kecamatan Poncokusumo adalah apel manalagi, apel *anna*, dan apel *rome beauty*. Petani menanam pohon apel dengan jumlah dan jenis pohon apel sesuai keinginannya. Penanaman pohon apel tersebut tidak berdasarkan permintaan dari pengepul. Petani membutuhkan waktu 5-6 bulan untuk satu siklus tanam apel dari proses perompesan hingga panen sehingga petani dapat melakukan panen apel sebanyak 2 kali dalam satu tahun. Luas lahan tanam apel di Kecamatan Poncokusumo pada tahun 2018 tersisa 433 hektar dengan rata-rata produktivitas 11kg/pohon atau 20.000 kg/Ha/tahun (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, 2019).

Petani menginformasikan waktu panen apel kepada pengepul tiga hari sebelumnya. Pengepul kemudian melakukan panen dan membawa buah apel hasil panen tersebut dari tempat petani. Pembayaran dilakukan oleh pengepul secara mengangsur sesuai dengan harga dan waktu yang disepakati bersama antara petani dan pengepul. Pengepul kemudian melakukan sortasi buah apel di gudang milik pengepul. Ketersediaan buah apel diinformasikan oleh pengepul kepada pengecer. Pembayaran dilakukan oleh pengecer sesuai dengan harga yang disepakati bersama antara pengepul dan pengecer. Pengecer lokal Malang Raya dapat melakukan pembayaran secara *cash* atau transfer kepada pengepul. Pengecer dapat memilih sendiri buah apel yang akan dibeli di gudang pengepul atau meminta pengantaran buah apel oleh pengepul. Jika buah apel yang diantarkan pengepul tidak sesuai dengan permintaan pengecer, maka pengecer mengembalikannya dan pengepul mengganti dengan buah apel yang sesuai dengan permintaan pengecer.

Penyusunan Causal Loop Diagram (CLD)

CLD rantai pasok apel di Kabupaten Malang menunjukkan hubungan sebab akibat antar variabel. CLD rantai pasok apel di Kabupaten Malang yang ditunjukkan pada Gambar 3 dibuat berdasarkan tiga aspek keberlanjutan, yaitu aspek ekonomi, aspek sosial, dan aspek lingkungan. Asumsi dalam pembuatan CLD pada penelitian ini adalah harga apel yang digunakan dalam simulasi model dianggap tetap, upah tenaga kerja, biaya bahan bakar, harga pupuk, dan harga pestisida yang digunakan dalam model telah memperhatikan kenaikan harga

berdasarkan data masa lalu, serta lahan yang terdegradasi juga naik (dengan pola pertanian yang tetap) jika luas lahan naik.

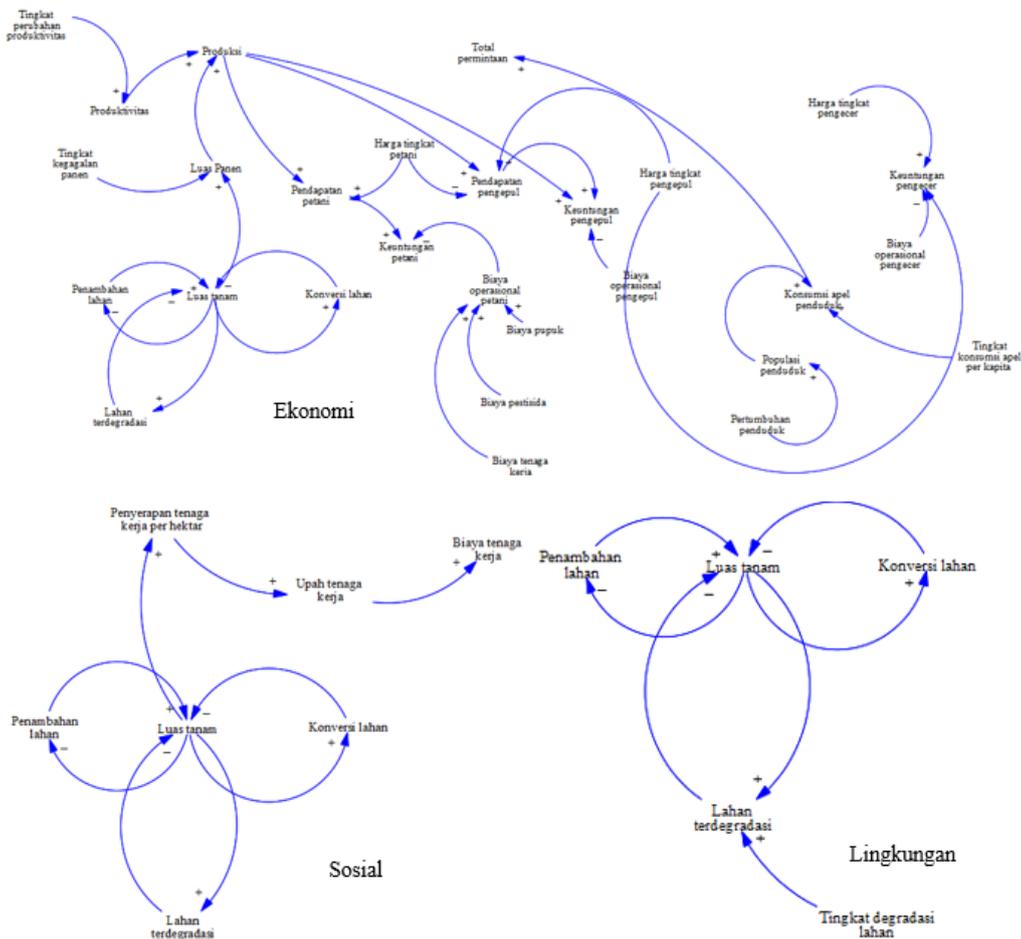
Pada sub model ekonomi, produksi dipengaruhi oleh luas panen dan produktivitas. Luas panen dipengaruhi oleh luas tanam dan tingkat kegagalan panen. Variabel produksi mempengaruhi pendapatan petani dan pendapatan pengepul. Keuntungan petani dipengaruhi oleh pendapatan petani, harga apel di tingkat petani, dan biaya operasional petani. Keuntungan pengepul dipengaruhi oleh pendapatan pengepul, harga apel di tingkat pengepul, dan biaya operasional pengepul. Keuntungan pengecer dipengaruhi oleh konsumsi apel penduduk, harga apel di tingkat pengecer, dan biaya operasional pengecer. Total permintaan adalah kuantitas konsumsi apel oleh penduduk yang dipengaruhi oleh populasi penduduk, pertumbuhan penduduk, dan tingkat konsumsi apel per kapita. Konstanta yang dijadikan input untuk model adalah perubahan produktivitas, tingkat kegagalan panen, penambahan lahan, lahan terdegradasi, biaya tenaga kerja, biaya pupuk, biaya pestisida, harga apel di tingkat petani, harga apel di tingkat

pengepul, harga apel di tingkat pengecer, tingkat konsumsi per kapita, dan pertumbuhan penduduk.

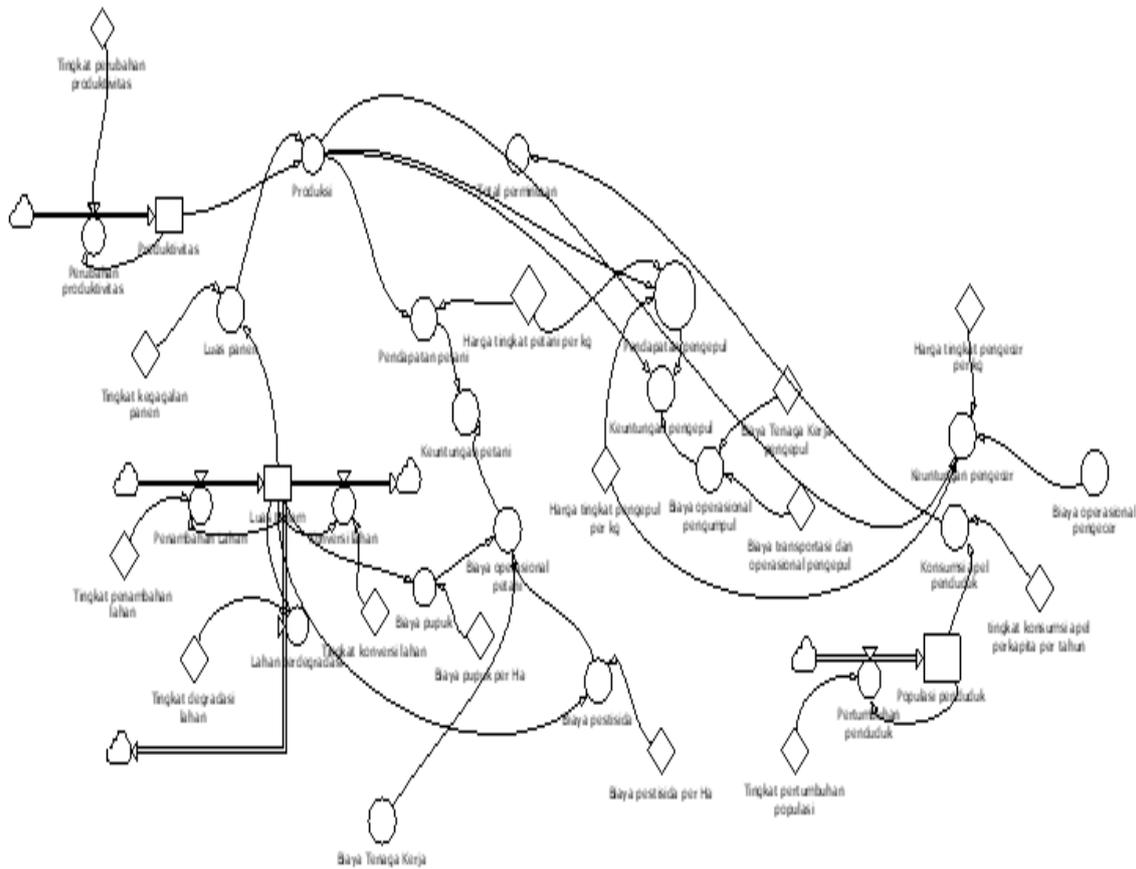
Sub model sosial terdiri dari variabel luas tanam, penambahan lahan, konversi lahan, lahan terdegradasi, penyerapan tenaga kerja per hektar, upah tenaga kerja, dan biaya tenaga kerja. Luas tanam dipengaruhi oleh penambahan lahan, konversi lahan, dan lahan terdegradasi. Luas tanam mempengaruhi penyerapan tenaga kerja per hektar, penentuan upah tenaga kerja, dan biaya tenaga kerja pada biaya operasional petani. Sub model lingkungan terdiri dari variabel luas tanam, penambahan lahan, konversi lahan, dan lahan terdegradasi. Lahan terdegradasi naik seiring dengan kenaikan luas tanam sesuai dengan asumsi yang digunakan pada penelitian ini.

Formulasi Model Stock and Flow Diagram (SFD)

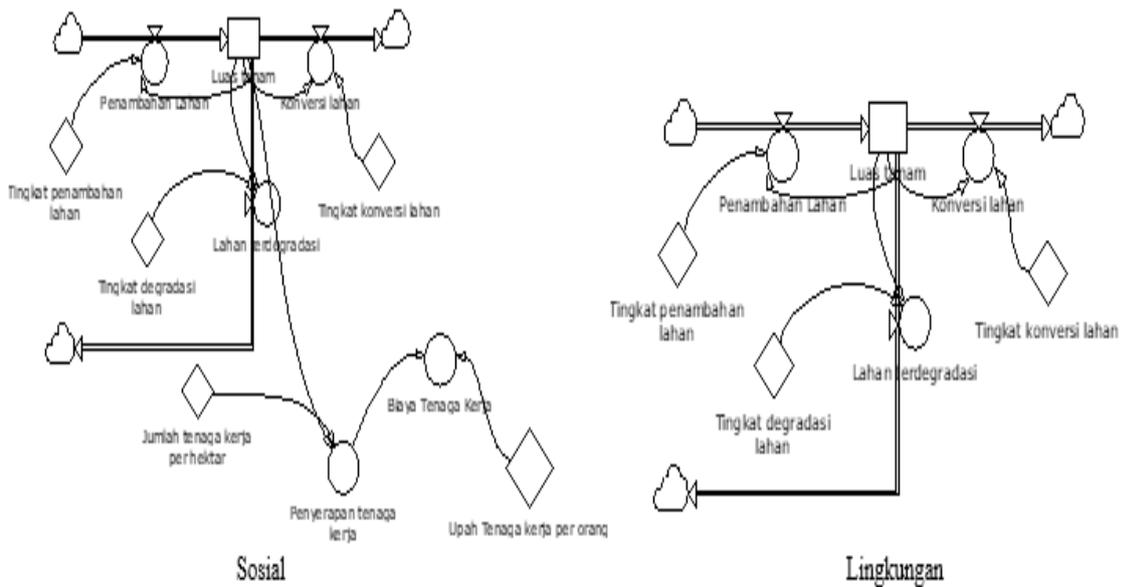
Pembuatan SFD rantai pasok apel di Kabupaten Malang bertujuan untuk melakukan simulasi perilaku model dinamika sistem. Simulasi dilakukan selama 10 tahun, yaitu tahun 2020 hingga 2030. SFD dibagi menjadi 3 sub model yaitu ekonomi, sosial, dan lingkungan, yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. CLD rantai pasok apel di Kabupaten Malang



Ekonomi



Sosial

Lingkungan

Gambar 4. SFD rantai pasok apel di Kabupaten Malang

Sub Model Ekonomi

Input data yang dimasukkan ke dalam sistem terdiri dari nilai beberapa variabel. Formulasi yang berkaitan dengan variabel permintaan dalam 1 tahun

dapat dilihat pada rumus (2), (3), dan (4). Total permintaan merupakan total konsumsi apel penduduk di Kabupaten Malang.

Total konsumsi apel penduduk (kg) = Populasi penduduk x Tingkat konsumsi apel	(2)
Populasi penduduk (jiwa) = Nilai populasi penduduk + Pertumbuhan penduduk	(3)
Pertumbuhan penduduk (jiwa) = Nilai populasi penduduk x Laju pertumbuhan penduduk	(4)
Produksi (kg) = (Luas panen x Produktivitas) x 2	(5)
Produktivitas (kg/Ha) = Produktivitas + Perubahan Produktivitas	(6)
Luas panen (Ha) = Luas tanam – (Tingkat kegagalan panen x Luas tanam)	(7)
Luas tanam (Ha) = Luas tanam awal + Penambahan lahan – Konversi lahan – Lahan terdegradasi	(8)
Pendapatan Petani (Rp) = Produksi x harga tingkat petani	(9)
Biaya operasional petani (Rp) = Total biaya pupuk + Total biaya pestisida + Biaya tenaga kerja	(10)
Total biaya pupuk (Rp) = (Biaya pupuk per hektar x luas tanam) x 2	(11)
Total biaya pestisida (Rp) = (Biaya pestisida per hektar x Luas tanam) x 2	(12)
Biaya tenaga kerja (Rp) = (Penyerapan TK x Upah TK per orang) x 2	(13)
Keuntungan petani (Rp) = Pendapatan petani – Biaya operasional petani	(14)
Keuntungan pengepul (Rp) = (Produksi x (Harga tingkat pengepul-Harga tingkat petani) – (Biaya transportasi+Biaya tenaga kerja)	(15)
Keuntungan pengecer (Rp) = (Produksi x (Harga tingkat pengecer-harga tingkat pengepul) - (Biaya transportasi x produksi)	(16)
Penambahan lahan (Ha) = Luas tanam x tingkat penambahan lahan	(17)
Konversi lahan (Ha) = Luas tanam x tingkat konversi lahan	(18)
Penyerapan TK (orang) = Luas tanam x Jumlah TK per hektar	(19)

Nilai populasi adalah jumlah penduduk Kabupaten Malang tahun 2019, yaitu 2.606.204 jiwa. Laju pertumbuhan penduduk adalah 0,62 % (BPS Kabupaten Malang, 2020). Pertumbuhan penduduk merupakan penambahan jumlah penduduk berdasarkan laju pertumbuhan penduduk. Tingkat konsumsi apel adalah 1,08 kg/kapita/tahun (BPS, 2020).

Produksi apel dipengaruhi oleh luas panen dan produktivitas. Luas panen dipengaruhi oleh luas tanam dan tingkat kegagalan panen. Formulasi variabel produksi dalam 1 tahun dapat dilihat pada rumus (5), (6), (7), dan (8). Panen apel dapat terjadi 2 kali dalam satu tahun. Produktivitas apel di Kabupaten Malang adalah 10.000 kg/Ha dengan perubahan produktivitas 0%/tahun. Luas tanam awal sebesar 433 hektar dengan tingkat kegagalan panen 5% (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, 2019).

Variabel utama pada sub model ekonomi adalah keuntungan petani, pengepul, dan pengecer. Keuntungan dipengaruhi oleh pendapatan dan biaya operasional. Rumus pendapatan petani, biaya operasional petani, total biaya pupuk, total biaya pestisida, biaya tenaga kerja, keuntungan petani, keuntungan pengepul, dan keuntungan pengecer dalam 1 tahun dapat dilihat pada rumus (9), (10), (11), (12), (13), (14), (15), dan (16).

Data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan petani adalah harga apel di tingkat petani Rp 6.850/kg, biaya pupuk Rp 2.826.000/Ha/siklus, biaya *antracol* Rp 6.851.600/Ha/siklus, biaya *confidor* Rp 1.200.000/Ha/siklus. Data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan pengepul adalah harga apel di tingkat pengepul Rp 13.500/kg, biaya transportasi Rp 117/kg, dan biaya tenaga kerja Rp 442/kg. Data yang

diperoleh dari hasil wawancara dengan pengecer adalah harga apel di tingkat pengecer Rp 20.300/kg dan biaya transportasi Rp 293/kg.

Sub Model Sosial

Formulasi pada sub model sosial terdiri dari formulasi untuk variabel penambahan lahan, konversi lahan, penyerapan tenaga kerja (TK), upah tenaga kerja, dan biaya tenaga kerja dalam 1 tahun. Formulasi pada sub sosial dapat dilihat pada rumus (17), (18), dan (19). Formulasi luas tanam menggunakan rumus (8) dan biaya tenaga kerja menggunakan rumus (13) pada sub ekonomi.

Data pada sub model sosial yang diperoleh dari hasil wawancara dengan sampel petani adalah jumlah tenaga kerja 116 orang/Ha dan upah tenaga kerja Rp 36.000/orang. Tingkat penambahan lahan 0%/tahun dan tingkat konversi lahan di Kabupaten Malang adalah 5,86%/tahun (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, 2019).

Sub Model Lingkungan

Data tingkat degradasi lahan pada sub model lingkungan diperoleh dari hasil wawancara dengan Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang (2019), yaitu 5,8%/tahun. Formulasi luas degradasi lahan dalam 1 tahun dapat dilihat pada rumus (20). Formulasi luas tanam menggunakan rumus (8) pada sub ekonomi.

$$\text{Lahan terdegradasi (Ha)} \\ = \text{Luas tanam} \times \text{tingkat degradasi lahan} \quad (20)$$

Hasil Verifikasi dan Validasi Model

Hasil *check model* pada SFD dengan aplikasi *Powersim Studio 10* menunjukkan bahwa pada model

tidak muncul simbol tanda tanya (?) berwarna merah dan simbol tagar (#) yang berwarna kuning di tiap variabel. Hal ini berarti tidak terdapat *error* pada formulasi dan satuan tiap variabel model sehingga model telah terverifikasi.

Validasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan validasi konstruksi berdasarkan hasil simulasi permintaan apel dan luas lahan apel. Konsumsi apel penduduk Kabupaten Malang pada tahun 2012 adalah 2.690.148 kg/tahun yang meningkat dari tahun 2011 dengan konsumsi sebanyak 2.669.749 kg/tahun (BPS, 2020). Hasil simulasi menunjukkan konsumsi apel penduduk Kabupaten Malang pada tahun 2012 sebanyak 2.782.675 kg/tahun meningkat dari sebelumnya, yaitu 2.765.529 kg/tahun. Perhitungan nilai MAPE pada hasil simulasi permintaan apel secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 3. Nilai MAPE pada hasil simulasi permintaan apel di Kabupaten Malang adalah 3,4619 yang berarti data hasil simulasi sangat tepat dengan data aktual.

Luas lahan apel di Kabupaten Malang pada tahun 2012 adalah 705 Ha. Luas lahan tersebut berkurang dibanding dengan tahun 2011, yaitu 724 hektar (Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang, 2019). Hasil simulasi menunjukkan bahwa luas lahan apel di Kabupaten Malang pada tahun 2012 adalah 753 hektar. Luas lahan tersebut berkurang dibanding dengan tahun 2011, yaitu 798 hektar. Perhitungan nilai MAPE pada hasil simulasi luas lahan secara lengkap dapat dilihat pada Tabel 4. Nilai MAPE pada hasil simulasi luas lahan di Kabupaten Malang adalah 5,034 yang berarti data hasil simulasi tepat dengan data aktual.

Pengembangan Skenario

Skenario 1: tanpa perubahan model

Skenario 1 tidak melakukan perubahan nilai variabel pada model. Skenario 1 menggambarkan kondisi yang sedang terjadi. Hasil dari skenario 1 menjadi perbandingan untuk skenario-skenario berikutnya. Hasil simulasi skenario 1 dapat dilihat pada Gambar 5 dengan hasil produksi pada bagian (a), keuntungan aktor rantai pasok pada bagian (b), penyerapan tenaga kerja pada bagian (c), dan luas lahan terdegradasi pada bagian (d). Sumbu X adalah tahun simulasi, yaitu 2020 hingga 2030, sedangkan sumbu Y adalah parameter yang diukur

Produksi apel di Kabupaten Malang pada skenario 1 turun hingga pada tahun ke 9 tidak dapat memenuhi permintaan. Produksi apel selama tahun 2020-2030 turun sebesar 71,05% dari 8.227.000 kg menjadi 2.381.307 kg. Hal tersebut disebabkan oleh luas panen yang semakin menurun. Konversi lahan terjadi sebesar 5,86%/tahun dan lahan terdegradasi sebesar 5,8%/tahun, sedangkan penambahan lahan tanam apel tidak ada. Menurut Yudichandra (2019), konversi lahan terjadi karena petani lebih tertarik

menanam komoditi lain yang perawatannya lebih mudah dan biaya lebih murah, seperti jeruk, cabai, dan sayuran.

Tabel 3. Perhitungan nilai MAPE permintaan apel

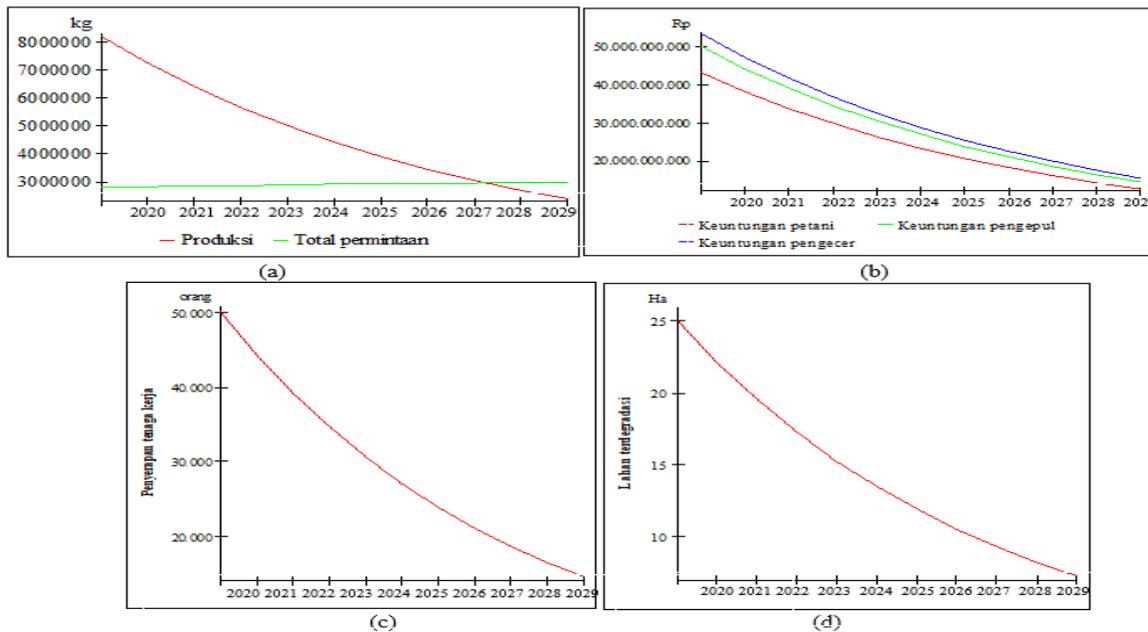
Tahun	Nilai aktual	Nilai simulasi	(Xm - Xd)/Xd
2011	2669749	2765529	-0.03587595
2012	2690148	2782675	-0.03439467
2013	2690148	2799927	-0.0408077
2014	2709394	2817287	-0.03982188
2015	2747860	2834754	-0.03162235
2016	2765529	2852330	-0.03138676
2017	2782724	2870014	-0.03136866
2018	2799139	2887808	-0.03167739
MAPE		3.4619	

Tabel 4. Perhitungan nilai MAPE luas lahan apel

Tahun	Nilai aktual	Nilai simulasi	(Xm - Xd)/Xd
2011	724	798	-0.10220994
2012	705	753	-0.06808511
2013	605	700	-0.15702479
2014	380	419	-0.10263158
2015	421	447	-0.06175772
2016	430	483	-0.12325581
2017	431	427	0.009280742
2018	473	377	0.202959831
MAPE		5.034	

Keuntungan petani pada tahun 2020-2030 mengalami penurunan dari Rp 44.552.582.400 menjadi Rp 12.895.756.714. Keuntungan pengepul mengalami penurunan dari Rp 52.990.107.000 menjadi Rp 15.338.000.443. Keuntungan pengecer mengalami penurunan dari Rp 46.951.489.000 menjadi Rp 13.590.120.862. Keuntungan aktor rantai pasok yang menurun dapat mengganggu keberlanjutan rantai pasok apel. Menurut Betts (2015), pertanian yang berkelanjutan harus layak secara ekonomi, yaitu menghasilkan keuntungan yang konsisten dari tahun ke tahun. Penyerapan tenaga kerja menurun selama tahun 2020-2030 dari 50.228 orang menjadi 14.439 orang. Hal tersebut disebabkan oleh penurunan luas tanam apel akibat konversi lahan dan lahan yang terdegradasi. Konversi lahan terjadi karena penggunaan lahan tanam apel menjadi lahan tanam komoditas lain (Yudichandra, 2019).

Luas lahan yang terdegradasi pada tahun 2020-2030 turun sebesar 71,05% dari 25,11 hektar menjadi 7,27 hektar. Penelitian (Simon *et al.*, 2011) mengemukakan bahwa pertanian organik dapat diterapkan secara bertahap untuk pemulihan tanah dengan menerapkan sistem *low input* terlebih dahulu, yaitu membatasi penggunaan pestisida kimia diimbangi dengan memulai penggunaan pupuk organik.



Gambar 5. Hasil simulasi skenario 1: (a) produksi, (b) keuntungan aktor rantai pasok, (c) penyerapan tenaga kerja, (d) luas lahan terdegradasi

Skenario 2: Penambahan Lahan dan Penurunan Konversi

Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengembangkan rantai pasok apel yang berkelanjutan adalah menanam pohon apel yang baru pada tanah yang masih sehat. Penambahan pohon harus diimbangi dengan penurunan tingkat konversi lahan. Menurut Kuntari dan Madiyanto (2019), salah satu masalah dalam pengembangan apel adalah konversi lahan apel menjadi lahan tanaman lain dengan komoditas yang paling banyak ditanam adalah sayuran. Tingkat penambahan lahan pada skenario 2 diubah dari 0%/tahun menjadi 1,15%/tahun, tingkat konversi turun menjadi 2,93%/tahun, dan lahan terdegradasi tetap 5,8%/tahun. Skenario 2 dikembangkan berdasarkan data dari Balitjestro (2018) yang menyebutkan bahwa pada tahun 2007-2017 terdapat penambahan lahan 2-5 hektar tiap tahun. Perubahan model pada SFD skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 6. Hasil simulasi skenario 2 dapat dilihat pada Gambar 7 dengan hasil produksi pada bagian (a), keuntungan aktor rantai pasok pada bagian (b), penyerapan tenaga kerja pada bagian (c), dan luas lahan terdegradasi pada bagian (d).

Penambahan rumus model di SFD dilakukan pada skenario 2, yaitu menggunakan fungsi *DELAY MATERIAL*. Fungsi *delay* digunakan karena pohon apel yang ditanam dari hasil cangkokan baru dapat berbuah setelah 4 tahun. Menurut Dulkamar dalam Oktavia (2019), pohon apel dapat produktif sejak berusia 4 tahun setelah ditanam. Penanaman pohon apel baru juga menambah biaya operasional yang dikeluarkan oleh petani yang disebut biaya benih

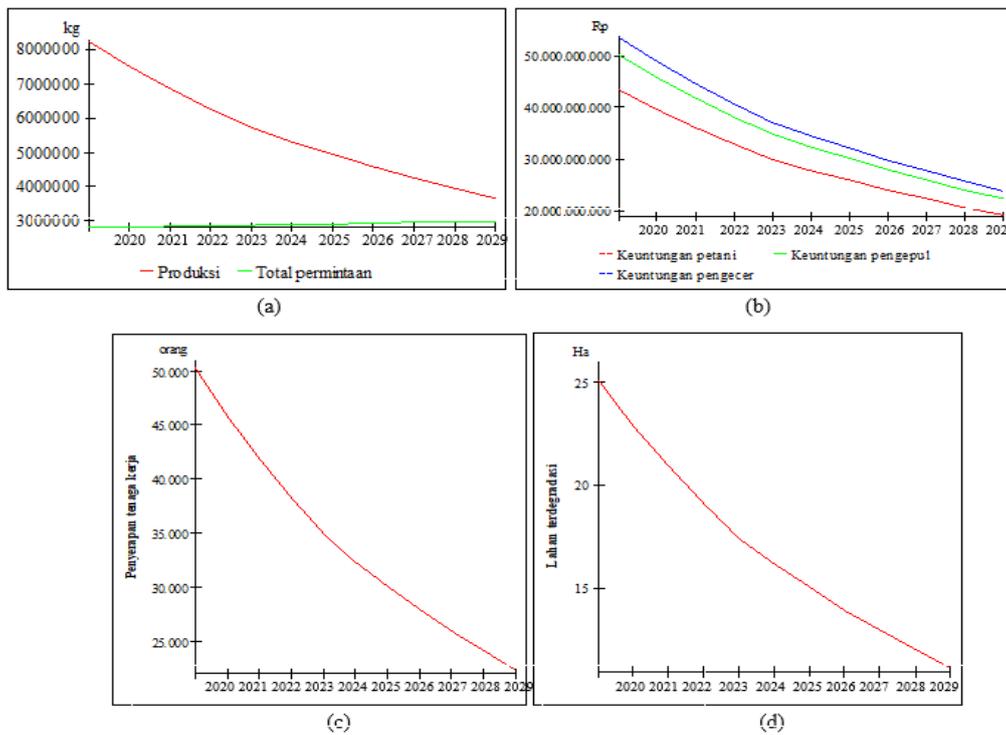
cangkokan pada penelitian ini. Formulasi tambahan pada skenario 2 dapat dilihat pada rumus (2), (22), dan (23). Harga benih cangkokan apel manalagi dan *anna* yang digunakan adalah Rp 28.500/buah.

$$\text{Penambahan lahan (Ha/tahun)} = \text{DELAYMTR}(\text{'Luas tanam'} * \text{Tingkat penambahan lahan}; \text{'Waktu delay'; 4; 0} \ll \text{Ha} \gg) \tag{21}$$

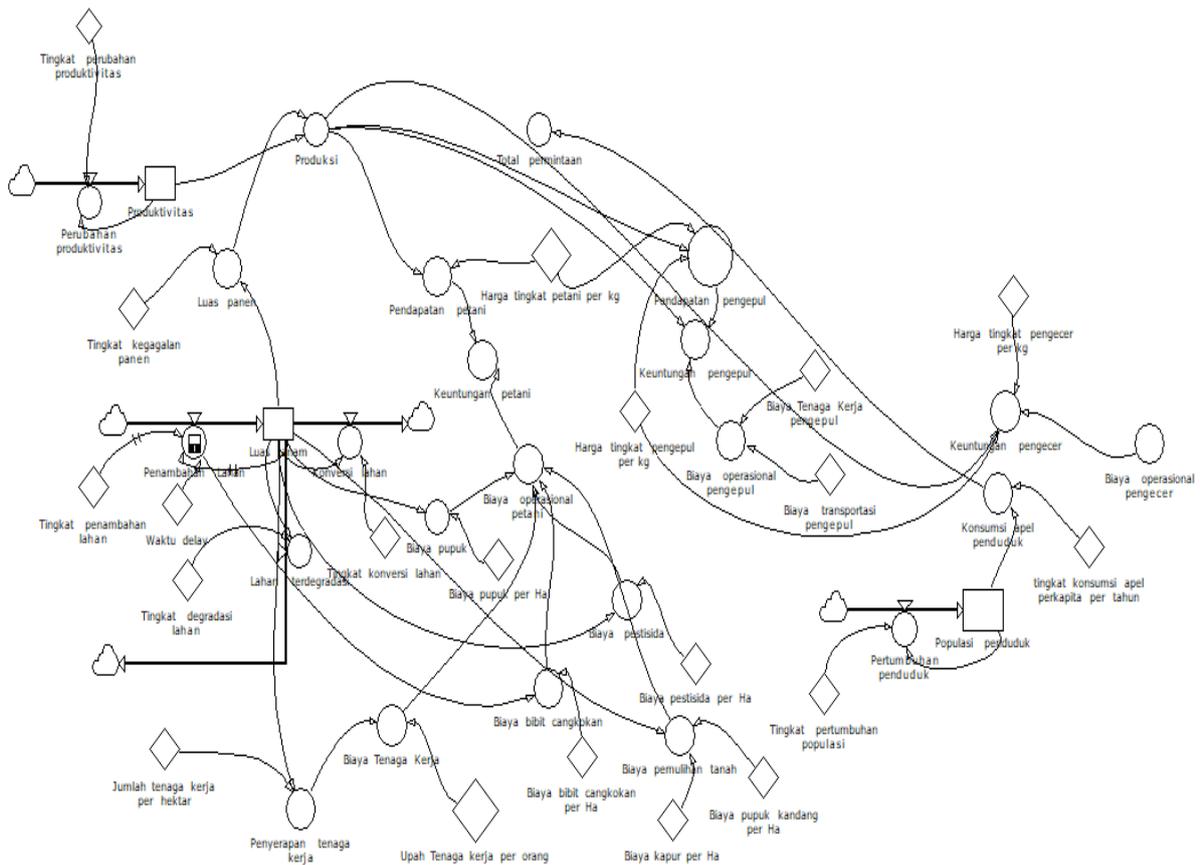
$$\text{Biaya bibit cangkokan (Rp/Ha)} = 28.500 \times 800 = 22.800.000 \tag{22}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya operasional petani (Rp/tahun)} = \\ \text{Biaya tenaga kerja} + \text{biaya pupuk} + \text{biaya pestisida} \\ + \text{biaya bibit cangkokan} \end{aligned} \tag{23}$$

Hasil simulasi menunjukkan bahwa produksi masih menurun pada skenario 2, namun produksi tersebut dapat memenuhi permintaan hingga tahun 2030. Penurunan produksi terjadi sebesar 55,5% pada tahun 2020-2030 dari 8.227.000 kg menjadi 3.660.676 kg. Produksi apel tahun 2030 pada skenario 2 lebih banyak dibandingkan dengan skenario 1. Hal ini disebabkan oleh peningkatan luas tanam sebagai hasil penambahan lahan dan penurunan konversi lahan. Menurut Saputra dan Wardana (2018), lahan merupakan salah satu faktor produksi sebagai tempat menghasilkan produk pertanian. Keuntungan petani, pengepul, dan pengecer selama tahun 2020-2030 masih turun. Keuntungan petani turun dari Rp 43.319.052.000 menjadi Rp 19.207.180.485. Keuntungan pengepul turun dari Rp 50.110.657.000 menjadi Rp 22.297.175.880. Keuntungan pengecer juga turun dari Rp 53.533.089.000 menjadi Rp 23.820.016.



Gambar 7. Hasil simulasi skenario 2 (a) Produksi (b) Keuntungan aktor rantai pasok (c) penyerapan tenaga kerja (d) luas lahan terdegradasi



Gambar 8. Penambahan produktivitas maksimal dan biaya pemulihan lahan pada SFD skenario 3

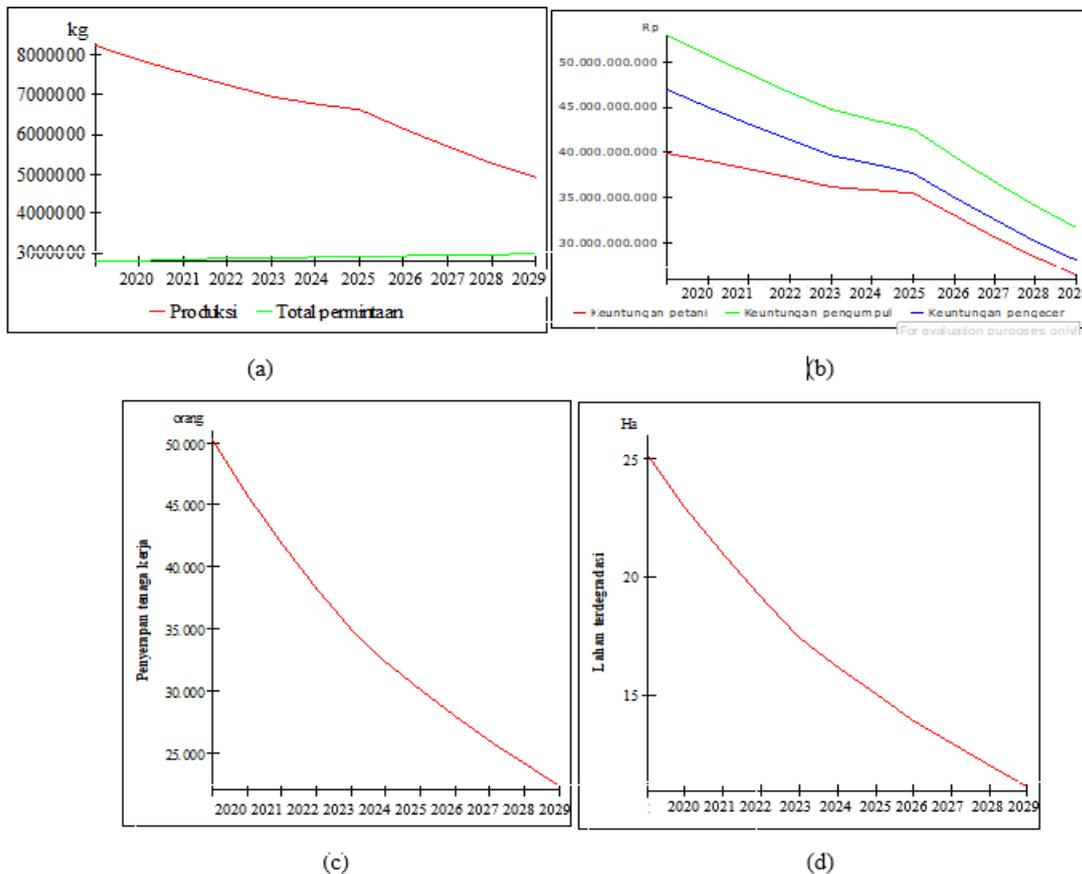
Skenario 3: Penambahan Lahan, Penurunan Konversi, dan Peningkatan Produktivitas

Penambahan lahan sebesar 1,15% dan penurunan konversi menjadi 2,93% dapat memberikan hasil yang lebih baik dari skenario 1. Tingkat produktivitas pada skenario 3 dinaikkan sebesar 5% per tahun dengan produktivitas apel 12,6kg/pohon dan produktivitas maksimal adalah 16kg/pohon. Jika produktivitas telah mencapai angka maksimal, maka produktivitas tidak dapat bertambah lagi. Produktivitas mencapai angka maksimal karena umur pohon apel di Kabupaten Malang telah berusia lebih dari 30 tahun. (Anggara *et al.*, 2017) mengemukakan bahwa produksi apel menurun jika umur pohon semakin tua. Penurunan produksi terjadi pada pohon apel yang berumur 30 tahun ke atas. Hasil penelitian menemukan bahwa rata-rata produktivitas pohon apel yang berusia 40 tahun ke atas adalah 15,11kg/pohon. Perubahan model pada skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 8.

Upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan produktivitas adalah pemulihan tanah

menggunakan bahan organik bersama dengan penggunaan bahan kimia yang sesuai dosis. Usaha pemulihan lahan dari Bappeda Kabupaten Malang (2018) antara lain pemupukan optimal bagi tanaman apel, yaitu 10-20 kg pupuk organik serta NPK 3kg per pohon, yang dilakukan satu bulan sebelum panen. Penambahan kapur 1 tahun sekali pada tanaman apel dengan dosis 2 kg per pohon juga bermanfaat untuk mengurangi keasaman tanah. Hasil simulasi skenario 3 dapat dilihat pada Gambar 9 dengan hasil produksi pada bagian (a), keuntungan aktor rantai pasok pada bagian (b), penyerapan tenaga kerja pada bagian (c), dan luas lahan terdegradasi pada bagian (d). Pembahasan pada skenario 3 hanya dilakukan pada sub ekonomi karena sub sosial dan lingkungan tidak ada perubahan nilai variabel atau sama dengan skenario 2.

Biaya tambahan terdapat pada skenario 3, yaitu biaya pemulihan tanah yang terdiri dari biaya pupuk kandang dan biaya kapur pertanian. Formulasi biaya pemulihan tanah dapat dilihat pada rumus (24), (25), (26) dan (27).



Gambar 9. Hasil simulasi skenario 3 (a) Produksi (b) Keuntungan aktor rantai pasok (c) penyerapan tenaga kerja (d) luas lahan terdegradasi

- Perubahan produktivitas (Ha/tahun) = IF(Produktivitas<='12.800<<kg/Ha>>'; 'Tingkat perubahan produktivitas'*Produktivitas;'0') (24)
- Biaya pupuk kandang (Rp/Ha) = 10.400.000 (25)
- Biaya kapur pertanian (Rp/ Ha) = 480.000 (26)
- Biaya operasional petani (Rp/ Ha) =
- Biaya tenaga kerja + biaya pupuk + biaya pestisida + biaya bibit cangkokan+ biaya pemulihan tanah (27)

Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada tahun pada tahun 2020-2025 terjadi peningkatan produktivitas sebesar 5% per tahun dengan luas panen yang tetap. Penambahan luas panen yang menghasilkan apel juga terjadi mulai tahun 2024. Oleh karena itu, penurunan produksi apel dari tahun 2020-2030 memiliki angka lebih kecil dibandingkan dengan skenario yang lain.

Hasil produksi apel dapat memenuhi permintaan dari tahun pertama sehingga permintaan dari luar Kabupaten Malang dapat terpenuhi. Menurut Widiyanto (2020), produksi apel selama ini dikirim ke pasar di Surabaya, Semarang, Yogyakarta, dan Jakarta. Apel jenis manalagi dan *rome beauty* sering digunakan pada acara keagamaan di Bali, antara lain Galungan dan Kuningan. Hasil simulasi skenario 3 pada aspek ekonomi menunjukkan bahwa keuntungan petani, pengepul, dan pengecer mengalami penurunan sebanyak 33,8%. Keuntungan petani, pengepul, dan pengecer turun paling sedikit pada tahun 2024-2025 dibandingkan dengan tahun lain dalam periode simulasi.

Rekomendasi Kebijakan

Pengembangan komoditas apel di Kabupaten Malang telah menjadi perhatian pemerintah Kabupaten Malang. Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura pada tahun 2008 telah membuat *Masterplan* Agropolitan yang berisi rencana pengembangan komoditas apel di Kecamatan Poncokusumo dan Kecamatan Pujon. Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang pada tahun 2016 juga membuat *Road Map* Penguatan Sistem Inovasi Daerah untuk upaya pemulihan komoditas apel di Kabupaten Malang. Usaha yang telah dilakukan mencakup pemberian pelatihan dan penyuluhan kepada petani, pemberian hibah pohon apel, dan percontohan pemulihan lahan apel di Kecamatan Poncokusumo. Upaya-upaya tersebut di lapang belum memberikan hasil yang maksimal karena beberapa hal, seperti konversi lahan yang masih dilakukan oleh petani, iklim yang berubah, serta kemunculan hama dan penyakit dengan varietas baru. Penentuan skenario pada penelitian ini

juga mempertimbangkan realitas di lapang sehingga seluruh parameter pada hasil simulasi tidak ada yang mengalami kenaikan, namun mempertahankan kondisi yang ada sebaik mungkin dengan persentase penurunan parameter yang lebih kecil.

Skenario yang direkomendasikan untuk keberlanjutan rantai pasok apel berdasarkan hasil simulasi adalah skenario 3. Rangkuman hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 5. Penambahan lahan sebesar 1,15%/tahun, menurunkan konversi lahan menjadi 2,93%/tahun, dan meningkatkan produktivitas sebanyak 5%/tahun dilakukan pada skenario 3. Hasil skenario 3 menunjukkan penurunan paling sedikit pada produksi apel, keuntungan petani, keuntungan pengepul, dan keuntungan pengecer. Luas lahan terdegradasi pada skenario 3 lebih besar daripada skenario lainnya karena luas tanamnya juga lebih besar. Persentase luas lahan terdegradasi adalah 5,8%/tahun. Hasil simulasi skenario 3 telah memberikan hasil yang lebih baik berdasarkan realitas di lapang.

Pengendalian lahan dan peningkatan produktivitas berdasarkan hasil simulasi memberikan hasil yang lebih baik pada keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Menurut Mockshell and Villarino (2018), produktivitas dan luas lahan saling berhubungan dan mempengaruhi produksi komoditas pertanian. Jika menambah atau mempertahankan lahan pertanian akibat tingkat konversi yang semakin tinggi tidak dapat dilakukan, maka optimalisasi penggunaan lahan untuk meningkatkan produktivitas dapat dilakukan.

Upaya penambahan lahan dapat dilakukan melalui pelatihan secara teori dan praktek secara langsung di lapang. Pelatihan memberikan hasil yang positif bagi petani. Petani memiliki pengetahuan baru dan muncul keinginan untuk menanam apel kembali (Kuntari dan Madiyanto, 2019). Menurut Jin *et al.* (2022), upaya pemberian fasilitas budidaya apel yang berkelanjutan memerlukan kebijakan yang mendorong petani dapat mengadopsi inovasi dan teknologi baru yang menghasilkan manfaat sosial dan lingkungan, serta membantu petani mengurangi risiko kerugian finansial dalam produksi.

Tabel 5. Rangkuman hasil simulasi 3 skenario

No. Skenario	Tahun	Parameter					Luas lahan terdegradasi (Ha)
		Produksi (kg)	Keuntungan petani (Rp)	Keuntungan Pengepul (Rp)	Keuntungan pengecer (Rp)	Penyerapan tenaga kerja (orang)	
1	2020	8.227.000	43.319.052.000	50.110.657.000	53.533.089.000	50.228	25,11
	2030	2.381.307	12.895.907.113	15.338.000.432	13.590.120.861	14.539	7,27
2	2020	8.227.000	43.319.052.000	50.110.657.000	53.533.089.000	50.228	25,11
	2030	3.660.676	19.207.180.485	22.297.175.880	23.820.016.984	22.349	11,17
3	2020	8.227.000	39.842.062.000	52.990.107.000	46.951.489.000	50.228	25,11
	2030	4.905.656	26.374.922.326	31.597.327.651	27.996.576.448	22.349	11,17

Upaya yang dapat dilakukan untuk mengendalikan konversi lahan antara lain pemberian bantuan dan insentif bagi petani atau pelaku di sektor pertanian, peningkatan kapasitas sumber daya alam di bidang pertanian, dan penguatan kebijakan pada sektor pertanian (Firmansyah *et al.*, 2021). Peningkatan produktivitas pada apel dapat dilakukan dengan berbagai cara, antara lain pemulihan tanah dan tanaman, penggunaan teknologi yang ramah lingkungan, mencegah konversi lahan (Ruminta, 2015). Solusi lain untuk meningkatkan produktivitas apel sehingga keberlanjutan rantai pasok dapat tercapai adalah mulai menerapkan pertanian organik. Menurut Kuntari dan Madiyanto (2019), pertanian organik dapat memberikan manfaat, antara lain menghasilkan produk bersih dan sehat serta dapat meningkatkan produksi apel.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Produksi apel yang terus menurun akibat degradasi lahan, konversi lahan, perubahan iklim, dan umur pohon yang tua dapat mengganggu keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Penelitian ini melakukan simulasi model rantai pasok apel berdasarkan beberapa skenario yang memperhatikan realitas di lapang. Pengembangan keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang dapat dilakukan berdasarkan simulasi menggunakan dinamika sistem. Skenario dengan penurunan nilai parameter terkecil adalah skenario 3, yaitu 40,37% untuk produksi, 33,8 % untuk keuntungan petani, pengumpul dan pengecer, 55,5% % untuk penyerapan tenaga kerja dan 53,4 % untuk luas lahan terdegradasi. Hasil tersebut lebih baik jika dibandingkan dengan penurunan tiap parameter pada kondisi saat ini, yaitu 71,05%.

Skenario terbaik yang dapat disarankan dari penelitian ini adalah penambahan lahan apel sebesar 1,15%/tahun, konversi maksimal 2,93%/tahun dan peningkatan produktivitas 5%/tahun. Pengendalian lahan dan peningkatan produktivitas dapat menjaga ketersediaan apel dalam 10 tahun, yang selanjutnya dapat menjaga keberlanjutan rantai pasok apel di Kabupaten Malang. Kebijakan yang dapat dilakukan antara lain memberikan pelatihan dan pendampingan bagi petani, memberikan insentif bagi petani, penguatan kebijakan pada komoditas apel, melakukan pemulihan tanah, dan peralihan menuju pertanian organik.

Saran

Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk melengkapi variabel yang dapat mengukur lebih lengkap dari aspek ekonomi (memperhatikan fluktuasi harga dan biaya), sosial (kesejahteraan tenaga kerja), dan lingkungan (limbah yang dihasilkan dari budidaya apel). Model penelitian

perlu disempurnakan dengan kualitas dan kuantitas data yang lebih lengkap.

DAFTAR PUSTAKA

- Amalia RR, Hairiyah N, Nuryati N. 2018. Analysis of mechanical damage and shelf life on dragon fruit supply chain in tanah laut regency. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 7(2):107–115. doi:10.21776/ub.industria.2018.007.02.5.
- Aminudin M, Mahbubi A, Puspita Sari RA. 2014. Simulasi model sistem dinamis rantai pasok kentang dalam upaya ketahanan pangan nasional. *Agribus Jurnal* 8(1):1–14. doi:10.15408/aj.v8i1.5125.
- Anggara DS, Suryanto A, dan Ainurrajjid. 2017. Kendala produksi apel (*Malus sylvestris* Mill) var. manalagi di desa Poncokusumo Kabupaten Malang. *Jurnal Produksi Tanam*. 5(2):198–207.
- Astuti R, Dewi IA, dan Levitasari N. 2019. Risk in the supply chain of organic rice: an example from Mojokerto Regency, Indonesia. *Advances Economics, Business and Management Research* 100 Icoi:98–102. doi:10.2991/icoi-19.2019.18.
- Astuti R, Prastiani T, dan Sucipto. 2020. *Supply Chain Analysis of Local Beef in Malang*, Indonesia.
- Astuti R, Purbianita T, dan Setiyawan D. 2018. Pengaruh supply chain management terhadap kinerja usaha: studi empiris pada umkm brom padat di kabupaten madiun. *Pros Semin Nas Agrol 40 Peluang dan Tantangan di Era Digit Sekol Pascasarj IPB dan Kongr ke-2 ISLL*., siap terbit.
- Balitjestro. 2014. Permasalahan apel di kota Batu. *Kementerian Pertan.*, siap terbit. [diakses 2020 Nov 11]. <http://balitjestro.litbang.pertanian.go.id/permasalahan-apel-di-kota-batu/>.
- Balitjestro. 2018. *Perkembangan Apel Di Poncokusumo*. Malang: Badan Penelitian Tanaman Jeruk dan Buah Subtropika.
- Betts N. 2015. Introduction to Sustainable Agriculture. *Minist Agric Food Rural Aff Ontario.*, siap terbit. <http://www.omafra.gov.on.ca/english/busdev/facts/15-023.htm>.
- BPS Kabupaten Malang. 2017. *Produksi Buah-buahan Menurut Kecamatan dan Jenis Buah Di Kabupaten Malang, 2016*. Malang: Badan Pusat Statistik Kabupaten Malang.
- BPS Kabupaten Malang. 2020. *Penduduk, Luas Wilayah dan Kepadatan Penduduk Menurut Kecamatan, Tahun 2015-2020*.
- Carter RE, Lubinsky J, dan Domholdt E. 2011. *Rehabilitation research: principles and applications*. USA: St. Louis, Mo.: Elsevier

- Saunders.
- Choirun A, Santoso I, dan Astuti R. 2020. Sustainability risk management in the agri-food supply chain: Literature review. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 475(1). doi:10.1088/1755-1315/475/1/012050.
- DAI. 2018. Laporan Kajian Kerentanan dan Risiko Iklim Provinsi Jawa Timur. *USAID Clim Chang Adapt Resil.*, siap terbit.
- Dania WAP, Nurfitriani EA, dan Septifani R. 2021. Value Chain Analysis of Jackfruit Chips in Green Supply Chain Management Perspective Using the Value Chain Operations Reference Method. *Indonesia Jurnal Teknol dan Manaj Agroindustri.* 10(2):125–134. doi:10.21776/ub.industria.2021.010.02.4.
- Dharmawati MS, Guritno AD, dan Yulianto H. 2020. Penyusunan Strategi Rantai Pasok Komoditas Sayur Menggunakan Analisis Struktur Biaya Logistik. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri* 9(3):217–227. doi:10.21776/ub.industria.2020.009.03.6.
- Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang. 2019. *Data Tanaman Apel Kecamatan Poncokusumo 2011-2017.* Malang: Dinas Tanaman Pangan dan Hortikultura Kabupaten Malang.
- Effendi M, Sitorus A, Astuti R, Santoso I. 2021. Malang coffee value chain analysis: A case study of Taji arabica coffee. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 733(1). doi:10.1088/1755-1315/733/1/012063.
- Fatma E. 2015. Development of Sustainable Tuna Processing Industry using System Dynamics Simulation. *Procedia Manuf.* 4 Iess:107–114. doi:10.1016/j.promfg.2015.11.020.
- Firmansyah F, Yusuf M, dan Argarini TO. 2021. Strategi pengendalian alih fungsi lahan sawah di Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Penataan Ruang.* 16(1):47. doi:10.12962/j2716179x.v16i1.8726.
- Fortunella A, Tama IP, dan Eunike A. 2019. Model simulasi sistem produksi dengan sistem dinamik guna membantu perencanaan kapasitas produksi. *Jurnal Rekayasa dan Manajemen Sistem Industri.* 3(2):256–267.
- Jin S, Li W, Cao Y, Jones G, Chen J, Li Z, Chang Q, Yang G, Frewer LJ. 2022. Identifying barriers to sustainable apple production: A stakeholder perspective. *Journal Environment Management.* 302 PB:114082. doi:10.1016/j.jenvman.2021.114082.
- Jokar Z dan Mokhtar A. 2018. Policy making in the cement industry for CO2 mitigation on the pathway of sustainable development- A system dynamics approach. *Journal Cleaner Production.* 201:142–155. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.286.
- Kuntari YB, Madiyanto R. 2019. Pemulihan tanaman apel di desa Gubugklakah, Poncokusumo sebagai implementasi sistem inovasi daerah (SIDa) Kabupaten Malang. *Karta Raharja.* 1(1):47–55.
- Kurnianingtyas D, Santosa B, Siswanto N. 2020. Structural and behavioral validity using a system dynamic simulation approach: the Indonesian national health insurance system problem. *Int Conf Ind Technol.* Iconit 2019:36–45. doi:10.5220/0009404300360045.
- Kusumaningtyas OW, Mustaniroh SA, Astuti R, Sucipto. 2022. Risk Identification in Potato Chips Production using Supply Chain Operation Model (SCOR). *Proc Int Conf Innov Technol (ICIT 2021).* 212 Icit:27–33. doi:10.2991/aer.k.211221.004.
- Malang BK. 2018. *Roadmap Sistem Inovasi Daerah (SIDA) Kabupaten Malang.* Malang: Balai Penelitian dan Pengembangan Daerah Kabupaten Malang.
- Malik AA, Sahabuddin S, Khairuddin K, Adawiyah R Al. 2021. Determination of clove extract anesthetic dosage in transportation activities of carp (*Cyprinus carpio*) supply chain. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri* 10(1):50–58. doi:10.21776/ub.industria.2021.010.01.6.
- Melly S, Hadiguna RA, Santosa S, Nofialdi N. 2019. Manajemen risiko rantai pasok agroindustri gula merah tebu di kabupaten Agam, Provinsi Sumatera Barat. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri.* 8(2):133–144. doi:10.21776/ub.industria.2019.008.02.6.
- Mockshell J dan Villarino MEJ. 2018. Agroecological intensification: Potential and limitations to achieving food security and sustainability. *Encycl Food Secur Sustain.* September 2018:64–70. doi:10.1016/B978-0-08-100596-5.22211-7.
- Mustaniroh SA, Kurniawan ZAF, dan Deoranto P. 2019. Evaluasi kinerja pada green supply chain management susu pasteurisasi di Koperasi Agro Niaga Jabung. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri.* 8(1):57–66. doi:10.21776/ub.industria.2019.008.01.7.
- Muzayanah FN. 2017. Model Dinamik manajemen rantai pasok berkelanjutan pada produksi kelapa sawit Indonesia. Institut Pertanian Bogor.
- Noerdyah PS, Astuti R, dan Sucipto. 2020. Keamanan rantai pasok industri daging ayam broiler skala menengah. *Livest Anim Res.* 18(3):311–325.
- Oktavia H. 2019. Ini Penyebab Produktivitas buah apel di Kota Batu Menurun. *RRI Malang.*, siap terbit. [diakses 2022 Jan 10]. <https://rri.co.id/malang/kabar-malang->

- raya/731940/ini-penyebab-produktivitas-buah-apel-di-kota-batu-menurun.
- Osly PJ. 2015. Planning model for sustainable agriculture plantation (Case Study : East Seram Regency, Maluku Province). Institut Pertanian Bogor.
- PEMDA. 2017. *Laporan Penyelenggaraan Pemerintah Daerah (LPPD) Kabupaten Malang Tahun 2016*. Malang: Pemerintah Daerah Kabupaten Malang. <https://malangkab.go.id/uploads/dokumen/malangkab-ILPPD-2017.pdf>.
- Pradita SP, Ongkunaruk P, Leingpibul T. 2020. The use of supply chain risk management process (SCRMP) in third-party logistics industry: a case study in Indonesia. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 9(1):1–10. doi:10.21776/ub.industria.2020.009.01.1.
- Purnomo BH, Suryadharma B, dan Al-hakim RG. 2021. Risk mitigation analysis in a supply chain of coffee using house of risk method. *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 10(2):111–124. doi:10.21776/ub.industria.2021.010.02.3.
- Putri RA, Astuti R, dan Argo BD. 2020. Economics Sustainability of Soybean Supply Chain: Empirical Evidence of System Dynamics Malang Regency. *TEST Eng Manag*. 82 January-February 2020:6925–6939.
- Rebs T, Brandenburg M, dan Seuring S. 2019. System dynamics modeling for sustainable supply chain management: A literature review and systems thinking approach. *Journal Cleaner Production*. 208:1265–1280. doi:10.1016/j.jclepro.2018.10.100.
- Ruminta R. 2015. Dampak perubahan iklim pada produksi apel di Batu Malang Impacts of climate change on production of apple in Batu Malang. *Kultivasi*. 14(2):42–48. doi:10.24198/kultivasi.v14i2.12064.
- Saputra H, Nazir N, dan Yenrina R. 2018. Nilai Tambah yang adil pada pelaku rantai pasok gambir di Sumatera Barat. *Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 7(3):170–180.
- Saputra NAF dan Wardana G. 2018. Pengaruh luas lahan, alokasi waktu, dan produksi petani pendapatan. *E-jurnal EP Unud*. 7(9):205402055.
- Simon S, Brun L, Guinaudeau J, Sauphanor B. 2011. Pesticide use in current and innovative apple orchard systems. *Agron Sustain Dev*. 31(3):541–555. doi:10.1007/s13593-011-0003-7.
- Slamet AS, Nakayasu A, Astuti R, Rachman NM. 2017. Risk assessment of papaya supply chain: an indonesia case study. *Int Bussness Manag*. 11(2):508–521.
- Song M, Cui X, dan Wang S. 2019. Simulation of land green supply chain based on system dynamics and policy optimization. *International Journal Production Economics*. 217 March 2017:317–327. doi:10.1016/j.ijpe.2018.08.021.
- Statistik BP. 2020. Rata-rata Konsumsi Perkapita Seminggu Menurut Kelompok Buah-Buahan Per Kabupaten/kota (Satuan Komoditas), 2020. [diakses 2020 Jul 7]. <https://www.bps.go.id/indicator/5/2102/2/rata-rata-konsumsi-perkapita-seminggu-menurut-kelompok-buah-buahan-per-kabupaten-kota.html>.
- Susanto S, Santoso I, Wijana S, Astuti R. 2021. Development of supply chain models of natural rubber products by considering quantity-discounts and environmental factors. *IOP Conf Ser Earth Environ Science*. 733(1). doi:10.1088/1755-1315/733/1/012036.
- Tan Y, Jiao L, Shuai C, Shen L. 2018. A system dynamics model for simulating urban sustainability performance: A China case study. *Journal Cleaner Production*. 199:1107–1115. doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.154.
- Untsayain AM, Mu'tamar MFF, Fakhry M. 2017. Analysis of Shrimp Supply in Sidoarjo Regency (Case Study: UD Ali Ridho Group). *Indonesia Jurnal Teknologi dan Manajemen Agroindustri*. 6(3):119–125. doi:10.21776/ub.industria.2017.006.03.2.
- Ustriyana ING. 2014. *Dinamika Sistem Perberasan di Bali*. Bali: Udayana University Press.
- Wibowo AD. 2016. Dinamika ketersediaan beras : sebuah studi kasus di Kalimantan Selatan. *Ziraa'ah Maj Ilm Pertan*. 41(2):242–249.
- Widianto E. 2020. Apel Malang, Nasibmu Kini. *Mongabay Situs Ber Lingkungan*, siap terbit. [diakses 2022 Feb 2]. <https://www.mongabay.co.id/2020/04/30/apel-malang-nasibmu-kini/>.
- Widodo K., Abdullah A, dan Arbita KPD. 2010. Sistem supply chain crude-palm-oil indonesia dengan mempertimbangkan aspek economical revenue, social welfare dan environment. *Jurnal Teknik Industri*. 12(1):47–54. <http://puslit2.petra.ac.id/ejournal/index.php/ind/article/view/17945>.
- Yudichandra FK. 2019. Perencanaan Penggunaan lahan untuk pengembangan dan konservasi kebun apel di kota Batu, Jawa Timur. *RepositoryIpbAcId*, siap terbit. <https://repository.ipb.ac.id/handle/123456789/101334>.