



TESIS - KS142501

**PENDEKATAN SISTEM DINAMIK UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI DAN PRODUKTIVITAS TEBU DALAM RANGKA
MENDUKUNG KEBERLANJUTAN BUDIDAYA TEBU (STUDI
KASUS : JAWA TIMUR)**

HAWWIN MARDHIANA

NRP. 5215201206

SUPERVISOR:

ERMA SURYANI ST.,MT., Ph.D

NIP. 197004272005012001

PROGRAM MAGISTER

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018



TESIS - KS142501

INCREASING THE EFFICIENCY AND PRODUCTIVITY OF
SUGARCANE TO SUPPORT SUSTAINABLE CULTIVATION
USING DYNAMIC SYSTEMS APPROACH (CASE STUDY :
EAST JAVA)

HAWWIN MARDHIANA

NRP. 5215201206

SUPERVISOR:

ERMA SURYANI ST.,MT., Ph.D

NIP. 197004272005012001

PROGRAM MAGISTER

DEPARTEMEN SISTEM INFORMASI

FAKULTAS TEKNOLOGI INFORMASI DAN KOMUNIKASI

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2018

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Komputer (M.Kom)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Hawwin Mardhiana

NRP. 5215201206

Tanggal Ujian : 03 Januari 2018

Periode Wisuda : Maret 2018

Disetujui Oleh :

Erma Suryani, S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 197004272005012001


(Pembimbing)

Dr.Ir. Aris Tjahyanto, M.Kom.

NIP. 196503101991021001


(Penguji 1)

Ahmad Mukhlason, S.Kom., M.Sc., Ph.D

NIP. 198203022009121009


(Penguji 2)

Dekan

Fakultas Teknologi Informasi dan Komunikasi


Dr. Agus Zainal Arifin, S.Kom., M.Kom.

NIP. 19720809 199512 1 001



halaman ini sengaja dikosongkan

**PENDEKATAN SISTEM DINAMIK UNTUK MENINGKATKAN
EFISIENSI DAN PRODUKTIVITAS TEBU DALAM RANGKA
MENDUKUNG KEBERLANJUTAN BUDIDAYA TEBU
(STUDI KASUS: JAWA TIMUR)**

Nama Mahasiswa : Hawwin Mardhiana
NRP : 5215201206
Dosen Pembimbing : Erma Suryani S.T.,M.T.,Ph.D

ABSTRAK

Gula yang dihasilkan bahan baku tebu merupakan salah satu komoditi strategis dalam perekonomian dan industri gula di Indonesia yang sampai saat ini masih bergantung pada pasokan tebu. Gula menjadi salah satu kebutuhan pokok tertinggi setelah beras yang sampai saat ini masih menjadi masalah karena kekurangan produksi dalam negeri. Seiring dengan meningkatnya jumlah penduduk di Indonesia, maka konsumsi gula dan permintaan akan gula juga meningkat.

Untuk memenuhi kebutuhan pokok gula, pemerintah mempunyai tantangan dalam meningkatkan produktivitas tebu secara maksimal. Salah satu tantangan tersebut adalah cuaca yang tidak menentu sehingga menyebabkan tebu gampang terserang hama dan penyakit dan hal tersebut dapat menurunkan produktivitas tebu mencapai 30% untuk semua hama dan penyakit. Selain cuaca, luas lahan juga berpengaruh terhadap peningkatan produksi gula. Lahan yang berpotensi untuk tanaman tebu dapat dimanfaatkan untuk perkebunan tebu sehingga dapat meningkatkan produktivitas lahan dan produksi tebu secara berkelanjutan.

Dalam penelitian ini, peningkatan produktivitas tebu dimodelkan dengan menggunakan pendekatan sistem dinamis untuk menganalisa kondisi saat ini dan mengevaluasi permasalahan dengan memberikan alternatif skenario untuk meningkatkan produksi tebu. Hasil simulasi intensifikasi menunjukkan bahwa rata rata peningkatan produktivitas tebu sebesar 13.4 %. Hasil skenario ekstensifikasi dapat meningkatkan produksi tebu sebesar 14.10%. Sedangkan gabungan skenario intensifikasi dan ekstensifikasi dapat meningkatkan produksi gula sebesar 23.2%. Untuk sisa pemanfaatan hasil panen berupa silase pada tahun 2030 dapat menghasilkan 721,676 ton dan biobriket sebesar 414,107 ton setelah skenario intensifikasi dan ekstensifikasi. Pemanfaatan hasil panen silase dan biobriket dapat dijual dan bermanfaat untuk mengurangi biaya produksi tebu.

Kata Kunci : Sistem Dinamik, Produktivitas Tebu, Efisiensi, Pemanfaatan Sisa Produksi Tebu, Keberlanjutan budidaya tebu

halaman ini sengaja dikosongkan

ABSTRACT

Sugar produced by sugarcane is one of strategic commodities in sugar economy and industry in Indonesia which still depend on sugarcane supply. Sugar become the highest basic needs after rice and still a problem because of the shortage of domestic production. Over time with increasing population in Indonesia, the consumption of sugar and demand of sugar also increases.

To complete the basic needs of sugar, the government has a challenge to increasing sugarcane productivity in maximum. One of the challenge is the uncertain weather because sugarcane to be easily attacked by pest and deseases. In addition to weather, the land area of cultivation also affects to increase of sugar production.

In this study, increasing sugarcane productivity is modeled by using a dynamic system approach to analyze current condition and evaluate problems by providing alternative scenarios to increase sugarcane production. The intensification simulation results show that the average increase of sugarcane productivity by average 13.4%. The result of extensification scenario can increase sugar cane production by average 14.10%. While the combination of intensification and extensification scenarios can increase the production of sugar by average 23.2%. For utilization of harvest residue in year 2030 can produce 721,676 ton of silage and 414,107 ton of biobriquettes after intensification and extensification scenario. The utilization of sugar cane harvest can be sold with economic value and can reduce the sugarcane production cost.

Keywords: Dynamic System Approach, Sugarcane Productivity, Efficiency, Utilization of Sugar Cane Production, Sustainability of sugar cane cultivation

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Dengan memanjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT, karena dengan limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “Pendekatan Sistem Dinamik untuk meningkatkan Efisiensi dan Produktivitas Tebu dalam Rangka Mendukung Keberlanjutan Budidaya Tebu (Studi Kasus : Jawa Timur)” dengan baik. Tesis ini disusun untuk memenuhi syarat kelulusan dari Program Pascasarjana dari Departemen Sistem Informasi, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis menyadari bahwa dalam menyelesaikan tesis ini telah banyak mendapatkan bimbingan, bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Penulis menghaturkan terima kasih sedalam – dalamnya kepada berbagai pihak yang telah membantu penulis antara lain :

1. Ibu Erma Suryani, S.T., M.T.,Ph.D selaku dosen pembimbing yang dengan penuh kesabaran memberikan banyak masukan, pengetahuan dan wawasan yang baru dalam menyelesaikan tesis ini. Semoga ibu senantiasa diberikan kesehatan oleh Allah sehingga dapat terus memberikan ilmu yang bermanfaat bagi kami.
2. Orang tua penulis (Bapak Agus Abdul Rachman dan Ibu Tatik Rubiyati) yang telah mendoakan dan senantiasa selalu mendukung penulis, kakak penulis (Farouk) yang selalu mengarahkan kedalam kebaikan dan adik penulis (Nida Hanifa) yang selalu memberikan semangat.
3. Bapak Dr.Ir.Aris Tjahyanto, M.Kom., dan Bapak Ahmad Muchlason, S.Kom., M.Sc., Ph.D selaku dosen penguji dalam sidang tesis ini, terima kasih atas kritik dan saran yang membangun.
4. Bapak Dr.Apol Pribadi Subriadi., S.T., M.T selaku Ketua Program Studi S2 Sistem Informasi ITS yang memberikan motivasi dan dukungan
5. Rizky Arif Firmansyah, yang telah mendukung dan selalu memotivasi penulis agar segera lulus dan yang selalu memberikan masukan ketika penulis mengalami hambatan.

6. Amalia Mufidah dan Rafida Ziya serta seluruh keluarga penulis, yang selalu menemani penulis selama mengerjakan tesis. Semoga senantiasa diberikan kemudahan oleh Allah dalam segala hal.
7. Seluruh pihak PT.PTPN X Kota Surabaya yang terkait dan membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini
8. Seluruh teman teman S2 Sistem Informasi yang telah menemani suka dan duka penulis dalam menempuh pendidikan magister.
9. Mbak Vian dan seluruh Staff di Jurusan Sistem Informasi ITS terimakasih atas semua bantuannya.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis menerima adanya kritik dan saran yang membangun untuk perbaikan di masa mendatang dan bermanfaat untuk kemajuan pendidikan di Indonesia.

Surabaya, Januari 2018

Hawwin Mardhiana

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS.....	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	v
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	5
1.3. Tujuan Penelitian.....	5
1.4. Kontribusi Penelitian.....	6
1.4.1. Kontribusi Teoritis	6
1.4.2. Kontribusi Praktis	6
1.5. Batasan Penelitian	6
1.6. Sistematika Penulisan.....	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1. Budidaya Tebu	9
2.2. Rendemen Tebu.....	10
2.3. Konsep Pertanian Berkelanjutan	11
2.3.1. Konteks Lingkungan	12
2.3.2. Konteks Sosial	15
2.3.3. Konteks Ekonomi.....	15

2.3.4.	Indikator Keberlanjutan Pertanian	16
2.4.	Kajian Penelitian Terdahulu	17
2.4.1.	Penelitian dengan judul “ <i>Productivity and profitability of sugarcane production in Northern Bangladesh</i> ”	17
2.4.2.	Penelitian dengan Judul “ <i>Determinants of Technical Efficiency of Sugarcane Production among Small Holder Farmers in Lao PDR</i> ”	18
2.4.3.	Penelitian dengan Judul “ <i>Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling</i> ”	18
2.5.	Efisiensi Budidaya Tebu	20
2.6.	Pengukuran Indikator Efisiensi Produksi Tebu dan Produktivitas Tebu	20
2.7.	Agroindustri Gula dan Tebu	22
2.8.	Rantai Kegiatan Agroindustri Gula Tebu	23
2.9.	Definisi Produktivitas Tebu	23
2.10.	Faktor faktor yang mempengaruhi produktivitas lahan tebu	24
2.11.	Sistem, Pemodelan dan Simulasi	25
2.12.	Sistem Dinamik	26
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		29
3.1.	Identifikasi Masalah	30
3.2.	Tinjauan Pustaka	30
3.3.	Pengumpulan Data	30
3.4.	Identifikasi Faktor dan Variabel	30
3.5.	Pengembangan Konseptual Model	31
3.6.	Verifikasi dan Validasi	33
3.7.	Penyusunan Skenario	34
3.8.	Analisis Hasil Penelitian	34
3.9.	Analisis Produktivitas Tebu	35

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN	37
4.1. Pengumpulan Data	37
4.1.1. Data Perkembangan Luas Panen.....	37
4.1.2. Data perkembangan Produktivitas Tebu	38
4.1.3. Data Permintaan Gula	39
4.2. Pengembangan Model Penelitian	41
4.3. Sub Model Populasi dan Permintaan Gula.....	42
4.4. Sub Model Luas Lahan Tebu	46
4.5. Sub Model Produktivitas Tebu.....	49
4.6. Sub Model Irigasi	52
4.7. Sub Model Biaya Produksi.....	54
4.8. Sub Model Sisa Hasil Produksi Tebu.....	58
4.9. Validasi Model	58
4.7.1. Validasi Model Luas Lahan	59
4.7.2. Validasi Model Produktivitas Lahan Panen.....	62
4.7.3. Validasi Model Produksi Gula Hablur.....	65
4.7.4. Validasi Model biaya produksi	66
4.7.5. Validasi Model Rendemen Tebu.....	67
4.10. Evaluasi.....	68
4.11. Pengembangan Skenario.....	70
4.9.1. Skenario Intensifikasi Lahan.....	72
4.9.2. Skenario Ektensifikasi Lahan	76
4.9.3. Skenario Pengolahan Sisa Hasil Produksi	78
4.9.4. Analisis Perhitungan Produktivitas Tebu.....	82
Perhitungan produktivitas tebu tahun 2017	89
4.9.5. Analisis Hasil Produksi.....	92

4.9.6. Analisis Permintaan Gula dan Hasil Produksi.....	93
4.9.7. Simpulan Skenario.....	96
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	98
5.1. Kesimpulan.....	99
5.2. Saran.....	100
DAFTAR PUSTAKA.....	101
BIODATA PENULIS.....	104

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Causal Loop Diagram Model Penelitian (Walters et al., 2016)	19
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	29
Gambar 3.5 Variabel Yang berpengaruh terhadap Produksi Tebu (Reza et al., 2016)	31
Gambar 3.6 Variabel yang berpengaruh terhadap produksi Tebu(Supaporn, 2015)	31
Gambar 3.7 Causal Loop Diagram Konseptual Model.....	32
Gambar 4.1 Model Keseluruhan Penelitian	41
Gambar 4.2 Sub model permintaan gula dan populasi	42
Gambar 4.3 Grafik Peningkatan Populasi (ribu jiwa).....	43
Gambar 4.4 Grafik Konsumsi Gula Langsung.....	43
Gambar 4.5 Grafik Permintaan Gula Industri.....	44
Gambar 4.6 Grafik peningkatan permintaan gula	45
Gambar 4.7 Grafik Pertumbuhan total demand dan populasi.....	45
Gambar 4.8 Grafik perkiraan populasi dan permintaan gula	46
Gambar 4.9 Sub Model Luas Panen Perkebunan Rakyat	47
Gambar 4.10 Grafik luas panen berdasarkan area PR,PBN dan PBS.....	48
Gambar 4.11 Grafik Total Luas Panen di Jawa	49
Gambar 4.12 Sub model Produktivitas Tebu Perkebunan Rakyat.....	50
Gambar 4.13 Grafik produktivitas lahan perkebunan rakyat.....	51
Gambar 4.14 Grafik perbandingan produktivitas lahan.....	51
Gambar 4.15 Sub model Irigasi	52
Gambar 4.16 Sub model efisiensi irigasi	53
Gambar 4.17 Sub Model ketersediaan irigasi	54
Gambar 4.18 Sub model biaya produksi tebu	55

Gambar 4.19 Grafik total biaya produksi	56
Gambar 4.21 Sub Model Sisa Hasil Produksi Tebu	58
Gambar 4.22 Validasi luas panen perkebunan rakyat	60
Gambar 4.23 Validasi luas panen perkebunan besar negara	61
Gambar 4.24 Validasi luas lahan perkebunan besar swasta	62
Gambar 4.25 Validasi produktivitas perkebunan rakyat	63
Gambar 4.26 Validasi produktivitas PBN	64
Gambar 4.27 validasi produktivitas PBS	65
Gambar 4.28 Validasi Produksi Gula Hablur	66
Gambar 4.29 Validasi biaya produksi	67
Gambar 4.30 Grafik hasil validasi Rendemen Tebu.....	68
Gambar 4.31 Grafik perkiraan permintaan gula	70
Gambar 4.34 Hasil skenario produktivitas PR	73
Gambar 4.35 Hasil skenario hasil produksi tebu area PR	73
Gambar 4.36 Hasil skenario produktivitas lahan PBN	74
Gambar 4.37 Skenario produktivitas lahan PBS	75
Gambar 4.38 Skenario hasil panen tebu	75
Gambar 4.39 Hasil skenario produksi gula	76
Gambar 4.40 Model skenario Ektensifikasi Lahan	77
Gambar 4.41 Grafik hasil skenario perluasan lahan.....	77
Gambar 4.42 Sub model pemanfaatan tops leaves menjadi silase	78
Gambar 4.43 Hasil produksi silasi.....	79
Gambar 4.44 Model skenario pemanfaatan limbah daun tebu kering menjadi briket	80
Gambar 4.45 Hasil produksi biobriket	80
Gambar 4.46 Grafik Hasil produksi silase dan ekobiobriket.....	81

Gambar 4.48 Grafik curah hujan terhadap pertumbuhan produktivitas.....	86
Gambar 4.49 Grafik temperatur tebu terhadap pertumbuhan produktivitas	87
Gambar 4.50 Grafik serangan hama terhadap cuaca.....	89
Gambar 4.51 Grafik efisiensi produksi dan produktivitas tebu	93
Gambar 4.52 Grafik perkiraan permintaan gula dan hasil produksi gula	94
Gambar 4.53 Grafik hasil skenario produksi gula	94
Gambar 4.54 Grafik permintaan gula dan produksi gula	95

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perkembangan luar areal giling, produksi tebu, rendemen dan produksi gula tahun 2003-2013	1
Tabel 1.2 Rata rata rendemen dan produktivitas tebu tahun 1996 - 2003	2
Tabel 2.1 Indikator Keberlanjutan Pertanian	16
Tabel 2.2 Key Focus Area budidaya tebu	20
Tabel 2.3 Performance Indicator Efektifitas dan Efisiensi Produktivitas Tebu.....	22
Tabel 4.1 <i>Perkembangan Luas Panen Tebu Menurut Status Pengusahaan</i>	37
Tabel 4.2 <i>Data Perkembangan Produktivitas Tebu</i>	38
Tabel 4.3 Data Konsumsi Langsung	39
Tabel 4.4 Data permintaan Konsumsi Tak Langsung.....	40
Tabel 4.5 variabel dan persamaan sub model land area PR.....	47
Tabel 4.6 Tabel Keterangan Variabel Labor Harvesting	57
Tabel 4.7 Tabel Biaya Tenaga Kerja (<i>harvesting cost</i>)	57
Tabel 4.8 Hasil Validasi Luas Lahan Perkebunan Rakyat.....	59
Tabel 4.9 Hasil validasi luas lahan perkebunan besar negara.....	60
Tabel 4.10 hasil validasi luas lahan perkebunan besar swasta.....	61
Tabel 4.11 Hasil validasi produktivitas tebu perkebunan rakyat	62
Tabel 4.12 Hasil validasi produktivitas tebu perkebunan besar nasional	63
Tabel 4.13 Hasil validasi produktivitas tebu PBS	64
Tabel 4.14 Hasil validasi produksi gula hablur	65
Tabel 4.15 Validasi Biaya produksi	66
Tabel 4.16 Validasi rendemen tebu	67
Tabel 4.17 Variabel yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu	83
Tabel 4.18 Pengaruh benih unggul terhadap peningkatan produktivitas	84

Tabel 4.19 Takaran penggunaan pupuk.....	84
Tabel 4.20 Pengaruh pupuk terhadap peningkatan produktivitas.....	85
Tabel 4.21 Tabel pengaruh curah hujan terhadap peningkatan produktivitas.....	85
Tabel 4.22 pengaruh temperatur terhadap peningkatan produktivitas tebu.....	86
Tabel 4.23 Pengaruh Irigasi terhadap produktivitas tebu	87
Tabel 4.24 pengaruh serangan hama terhadap produktivitas	88
Tabel 4.25 contoh perhitungan peningkatan dan penurunan produktivitas tebu...	89
Tabel 4.26 hasil simulasi luas lahan dan produktivitas tebu tahun 2007 sampai 2016	90
Tabel 4.27 hasil simulasi luas lahan dan produktivitas tebu tahun 2017 sampai 2030	91
Tabel 4.28 Tabel Produktivitas Tebu Private Land.....	91
Tabel 4.29 Efisiensi Produksi Gula	92
Tabel 4.30 Kesimpulan hasil skenario.....	96

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Gula yang dihasilkan oleh bahan baku tebu merupakan salah satu komoditas strategis dalam perekonomian dan industri gula di Indonesia yang sampai saat ini masih bergantung pada pasokan bahan baku tebu (Peraturan Menteri Pertanian RI, 2015). Gula juga merupakan salah satu kebutuhan pokok bagi masyarakat yang sampai saat ini masih menjadi masalah karena kekurangan produksi dalam negeri. Masalah yang dihadapi dalam pergulaan nasional adalah keterbatasan lahan, rendahnya kualitas bibit serta masalah terkait dengan petani tebu, dimana hal tersebut juga disampaikan oleh (Syakir et al, 2011) terkait penyebab rendahnya produksi gula nasional karena penurunan luas areal, produktivitas dan rendemen tebu. Penurunan produktivitas dan rendemen tebu tersebut berlangsung pada kurun waktu antara 1994 – 2003 dengan rata rata produktivitas tebu yang ditanam sekitar 95 ton/ha dan di lahan tegalan 75 ton/ha dengan rendemen gula 7,3-7,5% masih di bawah potensi yang ada. Perkembangan luas areal giling, produksi tebu, rendemen, dan produksi gula dari tahun 2003 – 2013 dapat dilihat pada tabel 1.1

Tabel 1.1 Perkembangan luar areal giling, produksi tebu, rendemen dan produksi gula tahun 2003-2013

No	Tahun	Luas (Ha)	Tebu		RENDEMEN (%)	Gula	
			Produksi (Ton)	Produktivitas (Ton/ha)		Produksi (Ton)	Produktivitas (Ton/ha)
1	2003	335.725	22.631.108	67.41	7.21	1,631.919	4,86
2	2004	344.793	26.743.179	77.56	7.67	2,051.644	5,95
3	2005	381.786	31.142.268	81.57	7.20	2,241.742	5,87
4	2006	396.440	29.179.399	73.60	7.90	2,303.758	5,81
5	2007	428.401	33.286.453	77.70	7.35	2,448.143	5,71
6	2008	436.517	32.960.164	75.51	8.10	2,668.428	6,11
7	2009	422.935	30.256.778	71.54	7.60	2,299.504	5,44
8	2010	432.714	35.458.159	81.94	6.08	2,290.117	5,29
9	2011	450.298	30.323.228	67.34	7.29	2,228.259	4,95
10	2012	451.191	31.888.927	72.10	8.13	2,591.687	5,86
11	2013	460.496	35.378.805	76.80	7.20	2,390.000	5,53

Sumber (Statistik Ditjen Perkebunan Tahun 2012 dan DGI Tahun 2013)

Berdasarkan tabel 1.1 dapat dilihat bahwa rata rata produktivitas tebu di Indonesia dalam 11 tahun terakhir adalah 74,82 ton/ha dan rata rata rendemen sebesar 7,43%. Sekretariat Dewan Ketahanan Pangan juga menyampaikan hal yang sama terkait rendahnya rendemen dan produktivitas tebu Indonesia dibandingkan dengan negara lain dari tahun 1996 -2003, rata rata rendemen dan produktivitas tebu dari tahun 1996 sampai 2003 dapat dilihat pada tabel 1.2

Tabel 1.2 Rata rata rendemen dan produktivitas tebu tahun 1996 - 2003

Negara	Rata-rata Produktivitas Tebu (ton/ha)	Rata Rata Rendemen (%)	Rata Rata Produktivitas Gula (ton/ha)
Japan	64,09	11,53	7,41
Thailand	56,76	10,97	6,24
China	59,17	11,84	7,00
India	69,33	10,90	7,56
Philipina	60,70	8,26	5,00
Indonesia	70,13	7,05	4,95
USA	78,44	11,61	9,11

Sumber (Sekretariat Dewan Pangan,2013)

Berdasarkan tabel 1.2 dapat dilihat bahwa hasil produksi tebu di Indonesia tergolong cukup tinggi dibandingkan negara lain, akan tetapi rata rata rendemen dan rata rata produktivitas gula pada tahun 1996-2003 negara Indonesia masih rendah dibandingkan dengan Jepang, Thailand, China, India, Philipina dan USA. Hal tersebut harus diperhatikan dari proses budidaya tebu sampai pemanenan tebu agar mendapatkan hasil rendemen yang maksimal.

Permintaan gula domestik menunjukkan peningkatan searah dengan jumlah penduduk, yaitu semakin bertambahnya kebutuhan kelompok konsumen rumah tangga dan industri maka semakin tinggi pula permintaan gula.

Sekitar 95% hasil panen tebu yang dihasilkan oleh petani tebu di Indonesia baik dari perkebunan rakyat, perkebunan besar negara dan swasta akan diproses sebagai bahan baku industri gula untuk memenuhi permintaan gula (Arief Bintoro Dibyoseputro, 2012). Berbagai upaya telah dilakukan untuk peningkatan produksi dan produktivitas tebu melalui program perluasan areal tebu (*plant cane*), rehabilitas tanaman, rawat ratoon (intensifikasi), penataan varietas dan benih

berdasarkan topologi masing masing daerah dan bebas hama, pelaksanaan tebang muat dan angkut serta berbagai cara untuk meningkatkan produktivitas. Namun upaya upaya tersebut masih belum maksimal dan mengalami berbagai kendala diantaranya adalah sumber daya manusia (pekebun) yang semakin berkurang dan tidak menerapkan teknis budidaya yang baik (sulaiman, 2015).

Dalam upaya peningkatan produksi tebu dengan nilai rendemen yang maksimal dapat dilakukan peningkatan melalui perbaikan tanah, benih, tenaga kerja, pupuk dan irigasi air. Produksi tebu merupakan proses yang kompleks dan tergantung pada penggunaan dan kombinasi input seperti tenaga kerja, tanah, benih atau varietas tebu yang digunakan, modal, dan beberapa faktor lain. Efisiensi teknis dalam produktivitas tebu dipengaruhi oleh penyerapan tenaga kerja, luas lahan, jenis tanah dan faktor lainnya dan variasi dalam kombinasi dari berbagai faktor tersebut mempengaruhi hasil panen tebu (Rien, 2013). Pada dekade 1990, penyebab menurunnya efisiensi dalam agroindustri gula tebu adalah terjadinya penurunan produktivitas tebu dan rendemen (Siagian, 1999). Dalam hasil penelitian yang sama penurunan produktivitas disebabkan karena pergeseran tanam dari areal sawah ke lahan, pergeseran lahan tanam dari areal sawah ke lahan kering dan meningkatnya biaya produksi khususnya di Jawa.

Dalam meningkatkan produktivitas lahan tebu, pengelolaan secara *on farm* sangat memerlukan pertimbangan yang matang bagi petani tebu dan industri pergulaan tebu, karena kesalahan dalam melakukan proses budidaya tebu dan pengolahan tebu akan mempengaruhi nilai rendemen tebu dan produktivitas lahan tebu. Dengan pengolahan dan budidaya tebu yang tepat maka juga akan mendapatkan manfaat yang maksimal untuk pemenuhan gula di Indonesia

Selain pada proses pengolahan dan budidaya tebu, hal yang wajib diperhatikan adalah sistem pertanian yang tidak berkelanjutan dimana dapat menyebabkan kerugian di masa mendatang. Apabila tidak memperhatikan hal tersebut maka dapat menyebabkan erosi tanah, kualitas tanah yang kurang baik, penipisan nutrisi dan jangka panjang akan berdampak pada siklus hidrologi dan kondisi cuaca.

Pada agroindustri tebu perubahan kompleksitas dinamis merupakan permasalahan yang mencakup semakin banyaknya peubah yang saling terkait, mengandung probabilitas sesuai dengan perubahan waktu. Salah satu contoh adalah resiko dinamika perubahan biaya, bila penyerapan biaya mengalami perubahan dinamis sehingga biaya mendekati nilai tambah yang diciptakan maka laba semakin tipis sehingga perusahaan berpotensi rugi dan menanggung konsekuensi yang buruk (Boehlje et al., 1999). Dalam rantai kegiatan agroindustri gula tebu dimulai dari kegiatan perkebunan yang menghasilkan produk bahan baku tebu yang selanjutnya diolah menjadi gula. Tiap tiap tahapan produksi menciptakan pasar input dan output masing masing, dengan kata lain setiap tahap kegiatan mengakibatkan fungsi permintaan input yang dapat diturunkan dari fungsi permintaan outputnya.

Dari berbagai masalah yang mengancam ketersediaan gula, perlu adanya upaya untuk mengatasi masalah tersebut untuk meningkatkan produksi gula. Salah satu cara untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan pendekatan sistem dinamis. Seiring dengan masalah kompleksitas, pendekatan sistem dinamis diakui oleh para peneliti dan praktisi sebagai metode yang mampu memberikan pemahaman dan membantu menyelesaikan masalah sistem yang kompleks dengan lebih baik (Richmond, 1993), dan dalam sistem yang kompleks biasanya ditandai dengan elemen yang saling berhubungan dan elemen yang saling bergantung, melalui proses ini perilaku tertentu sering muncul bertentangan dengan apa yang diharapkan (Serman, 2000). Dalam hal ini, karakteristik dalam agroindustri gula tebu memiliki unsur dinamika perubahan dan kompleksitas permasalahan yang tinggi di banyak sisi (Arief Bintoro Dibyoseputro, 2012). Karena permasalahan tersebut, maka penelitian ini menggunakan pendekatan sistem dinamik untuk membangun model. Sistem dinamik memiliki karakteristik dinamika sistem yang kompleks, non-linear, perubahan perilaku sistem terhadap waktu dan adanya umpan balik yang menggambarkan informasi baru tentang keadaan sistem, yang kemudian akan menghasilkan keputusan selanjutnya (Suryani, 2006). Model yang akan dikembangkan adalah model yang dapat meningkatkan produktivitas lahan tebu karena dalam mencapai nilai rendemen yang maksimal hal yang harus

diperhatikan pertama kali adalah proses budidaya tebu yang baik dan sesuai dengan peraturan pemerintah. Model simulasi dapat memberikan analisis yang rinci tentang faktor faktor yang dapat meningkatkan produktivitas tebu, biaya dan dampak dari keputusan mengenai sistem dan model sangat berguna untuk menganalisis masalah dan mencapai tujuan.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka permasalahan utama pada penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana mengidentifikasi variabel yang berpengaruh terhadap pengembangan model terkait budidaya tebu untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas lahan tebu?
2. Bagaimana menganalisis perilaku model dengan penerapan skenario, baik skenario parameter atau skenario terstruktur mengenai keberlanjutan budidaya tebu sehingga menghasilkan informasi awal dari berbagai kemungkinan terkait produktivitas dan efisiensi tebu?
3. Apakah pengembangan model sistem dinamik budidaya tebu secara berkelanjutan dapat meningkatkan produktivitas dan produksi tebu?

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisa sistem budidaya tebu berdasarkan kondisi saat ini dengan mempertimbangkan faktor intenal dan faktor eksternal.
2. Mengidentifikasi variabel variabel yang berpengaruh terhadap produktivitas dan efisiensi tebu
3. Melakukan verifikasi dan validasi terhadap model yang telah dihasilkan
4. Mengembangkan skenario untuk meningkatkan produktivitas tebu dan pemanfaatan sisa hasil panen tebu yang berkelanjutan
5. Meningkatkan produktivitas tebu
6. Meningkatkan efisiensi budidaya tebu

1.4. Kontribusi Penelitian

1.4.1. Kontribusi Teoritis

Kontribusi teoritis dari penelitian ini adalah menciptakan model yang dapat meningkatkan efektifitas dan efisiensi budidaya tebu dalam rangka mendukung keberlanjutan budidaya tebu dengan mempertimbangkan dinamika faktor internal dan eksternal

1.4.2. Kontribusi Praktis

Kontribusi praktis dari penelitian ini adalah pengembangan model mengenai budidaya tebu yang berkelanjutan sesuai dengan kondisi saat ini dan pengembangan skenario untuk meningkatkan produktivitas dan pemanfaatan sisa hasil panen tebu yang dapat digunakan bagi pemerintah khususnya PT.PTPN X dalam memenuhi kebutuhan gula.

1.5. Batasan Penelitian

Batasan dalam penelitian ini adalah :

1. Studi kasus dalam penelitian ini adalah PT.PTPN X Kota Surabaya yang mewakili area Jawa Timur
2. Data yang didapatkan terkait penelitian adalah data area Jawa Timur dan Pulau Jawa
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang mencakup wilayah Pulau Jawa.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan proposal penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bab 1 Pendahuluan

Bab ini terdiri dari latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan penelitian, kontribusi penelitian, batasan penelitian dan sistematika penulisan.

b. Bab 2 Kajian Pustaka

Bab ini berisi kajian terhadap teori dan penelitian-penelitian yang sudah ada sebelumnya.

c. Bab 3 Kerangka Konseptual

Bab ini mengulas tentang kerangka konseptual yang dikembangkan dalam penelitian ini, termasuk hipotesis penelitian dan deskripsi operasional.

d. Bab 4 Metode Penelitian

Bab ini membahas mengenai rancangan penelitian, lokasi dan tempat penelitian, dan juga tahapan-tahapan sistematis yang digunakan selama melakukan penelitian.

e. Daftar Pustaka

Berisi daftar referensi yang digunakan dalam penelitian ini, baik jurnal, buku maupun artikel.

halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dibahas beberapa literatur yang berkaitan langsung dengan penelitian serta penjelasan singkat tentang teori penunjang.

2.1. Budidaya Tebu

Budidaya tebu merupakan sebuah upaya untuk menghasilkan kondisi fisik lingkungan tanaman berdasarkan ketersediaan sumber daya lahan, alat dan tenaga yang memadai agar sesuai dengan kebutuhan pada setiap fase pertumbuhan sehingga dapat menghasilkan produktivitas tebu optimal mendekati potensi genetiknya (sulaiman, 2015). Budidaya tebu giling yang baik adalah dengan memperhatikan :

a. Penataan varietas

Penataan varietas dilakukan dengan menentukan varietas unggul yang akan ditanam sesuai dengan topologi lahan. Varietas yang digunakan merupakan varietas sesuai dengan standart teknis dan bersertifikat dari pemerintahan. Varietas yang unggul yaitu memiliki potensi produksi gula yang tinggi dilihat dari bobot tebu dan rendemen tebu, produktivitas yang stabil dan tahan terhadap hama dan penyakit.

b. Penetapan masa tanam

Penetapan masa tanam harus direncanakan berdasarkan pola giling pabrik gula, dengan ketentuan umum tebu layak giling minimal 11 bulan dengan memperhatikan kemasakan tebu dengan dua pola yaitu dilaksanakan di lahan berpengairan dan waktu penanaman April (awal musim kemarau) sampai Agustus dengan varietas kategori masak awal, awal tengah dan lambat dan pola kedua yaitu dilaksanakan di lahan tadah hujan dan penanaman waktu September (awal musim penghujan) sampai akhir bulan Nopember dengan varietas masak tengah dan masak tengah lambat.

c. Penetapan lahan

Penetapan lahan harus memenuhi standart budidaya tebu sesuai dengan kondisi agroklimat. Kondisi lahan yang baik adalah dengan curah hujan antara 1000-

2000 milimeter per tahun sekurang kurangnya 3 bulan kering, kelembaban udara yang sesuai, tanah tidak terkontaminasi dengan logam berat, residu pestisida dan bahan lainnya yang berbahaya, bukan lahan endemik organisme pengganggu.

d. Pengolahan tanah

Pengolahan tanah dilakukan untuk menciptakan lingkungan tumbuh yang sesuai bagi tanaman tebu mulai dari awal pertumbuhan sampai panen, sehingga diperoleh lahan yang optimal untuk pertumbuhan tebu. Pengolahan tanah dapat dilakukan dengan pengolahan secara manual, semi mekanisasi dan mekanisasi.

e. Persiapan benih

Benih tebu yang digunakan dari varietas tebu unggul yang berasal dari kebun sumber benih yang telah disertifikasi oleh pemerintah. Benih yang digunakan setek batang mata 2 atau 3.

f. Penanaman

Untuk mendapatkan pertumbuhan batang yang baik dan kadar gula atau rendemen yang tinggi diperlukan teknik penanaman yang baik. Teknik penanaman dapat dilakukan dengan sistem manual dan sistem mekanis.

g. Pemeliharaan

Pemeliharaan terdiri dari beberapa tahapan yaitu pengairan, pemupukan, pengaturan drainase, pengendalian gulma. Dan pemeliharaan tanaman dapat dilakukan dengan manual dan mekanis.

h. Panen (Tebang, Muat Angkut)

Panen dilakukan sesuai dengan pola giling pabrik gula dan pelaksanaan tebang muat angkut harus memenuhi kriteria tebang tanah, tebu dan tebu harus digiling kurang dari 24 jam untuk menjaga rendemen gula.

2.2. Rendemen Tebu

Rendemen tebu merupakan suatu tolok ukur sebagai perolehan gula (kandungan sukrosa) yang ditentukan berdasarkan periode pada saat penggilingan tebu, dapat digambarkan dengan perolehan setiap 100kg tebu yang digiling diperoleh 10kg sukrosa (Martin et al, 2016).

Menurut (Pusat Penelitian dan Pengembangan Perkebunan,2010), pengukuran rendemen tebu dibagi menjadi dua yaitu :

1. Rendemen Sementara (RS)

Rendemen sementara merupakan hasil perhitungan rendemen dengan sampel tebu untuk menganalisis kemasakan tebu. Selain untuk menganalisis kemasakan tebu, perhitungan rendemen sementara yang didapat dari nira hasil perahan tebu pertama digunakan untuk penentuan bagi hasil gula bagi petani secara cepat. Nilai rendemen sementara didapat dari :

$$RS = FR(\text{Faktor Rendemen}) \times NN(\text{Nilai Nira})$$

2. Rendemen Efektif (RE)

Rendemen efektif atau rendemen nyata merupakan perhitungan dari rumus sebagai berikut

$$RE = \frac{\text{Jumlah berat Gula yang dihasilkan}}{\text{Jumlah berat tebu yang digiling}} \times 100\%$$

Angka rendemen efektif ini digunakan sebagai nilai resmi yang didapat.

2.3. Konsep Pertanian Berkelanjutan

Pertanian berkelanjutan merupakan pertanian yang memproduksi hasil pangan tanpa mengotori lingkungan dan mengintegrasikan tiga tujuan pokok yaitu kesehatan lingkungan, keuntungan secara ekonomi dan persamaan sosial (Feensta, 1997) yang juga dikutip oleh (Sulvian, 2005). Sedangkan menurut (Gold, 1999) pertanian berkelanjutan (*sustainable agriculture*) memadukan tiga tujuan yang meliputi pengamanan lingkungan, pertanian yang menguntungkan dan kesejahteraan masyarakat petani. Pertanian berkelanjutan memiliki tujuan pokok yang sama yaitu lingkungan, ekonomi dan sosial, hal ini juga disampaikan oleh (Allen, 1991) bahwa pertanian berkelanjutan merupakan sebuah strategi manajemen yang bertujuan untuk mengurangi biaya input, meminimalkan kerusakan lingkungan dan menyediakan produksi dan keuntungan dari waktu ke waktu. Berikut ini adalah tiga tujuan pokok pertanian berkelanjutan :

2.3.1. Konteks Lingkungan

Pertanian berkelanjutan dalam konteks lingkungan adalah praktik pertanian yang dimulai dari pengembangan proyek irigasi hingga penggunaan bahan kimia pertanian yang harus mempertimbangkan keadaan lingkungan atau ekologi dalam jangka panjang. Dampak lingkungan yang harus diperhatikan adalah residu pestisida, erosi tanah dan dampak negatif lainnya yang dapat diselesaikan dengan pendekatan pertanian konvensional dan mengubah praktik produksi pertanian (Allen et al., 1991). Beberapa kegiatan yang diharapkan dapat menunjang dan memberikan kontribusi dalam meningkatkan pertanian dalam jangka panjang, meningkatkan kualitas lingkungan serta meningkatkan kualitas adalah sebagai berikut (Rija Sudirja, 2008):

1. Pengendalian Hama Terpadu

Pengendalian Hama Terpadu merupakan suatu pendekatan untuk mengendalikan hama yang dikombinasikan dengan metode-metode biologi, budaya, fisik dan kimia, dalam upaya untuk meminimalkan; biaya, kesehatan dan resiko-resiko lingkungan. Adapun caranya dapat melalui:

- a. Penggunaan insek, reptil atau binatang-binatang yang diseleksi untuk mengendalikan hama atau dikenal musuh alami hama, seperti *Tricogama* sp., sebagai musuh alami dari parasit telur dan parasit larva hama tanaman.
- b. Menggunakan tanaman-tanaman “penangkap” hama, yang berfungsi sebagai pemikat (atraktan), yang menjauhkan hama dari tanaman utama.
- c. Menggunakan drainase dan mulsa sebagai metode alami untuk menurunkan infeksi jamur, dalam upaya menurunkan kebutuhan terhadap fungisida sintetis.
- d. Melakukan rotasi tanaman untuk memutus populasi pertumbuhan hama setiap tahun .

2. Sistem Rotasi dan Budidaya Rumput

Sistem pengelolaan budidaya rumput intensif yang baru adalah dengan memberikan tempat bagi binatang ternak di luar areal pertanian pokok yang ditanami rumput berkualitas tinggi, dan secara tidak langsung dapat menurunkan

biaya pemberian pakan. Selain itu, rotasi dimaksudkan pula untuk memberikan waktu bagi pematangan pupuk organik. Areal peternakan yang dipadukan dengan rumput atau kebun buah-buahan dapat memiliki keuntungan ganda, antara lain ternak dapat menghasilkan pupuk kandang yang merupakan pupuk untuk areal pertanian

3. Konservasi Lahan

Beberapa metode konservasi lahan termasuk penanaman alur, mengurangi atau tidak melakukan pembajakan lahan, dan pencegahan tanah hilang baik oleh erosi angin maupun erosi air. Kegiatan konservasi lahan dapat meliputi:

- a. Menciptakan jalur-jalur konservasi.
- b. Menggunakan dam penahan erosi.
- c. Melakukan penterasan.
- d. Menggunakan pohon-pohon dan semak untuk menstabilkan tanah.

4. Menjaga kualitas Air / Lahan Basah

Konservasi dan perlindungan sumberdaya air telah menjadi bagian penting dalam pertanian. Banyak diantara kegiatan-kegiatan pertanian yang telah dilaksanakan tanpa memperhatikan kualitas air. Biasanya lahan basah berperan penting dalam melakukan penyaringan nutrisi (pupuk anorganik) dan pestisida. Adapun langkah-langkah yang ditujukan untuk menjaga kualitas air, antara lain;

- a. Mengurangi tambahan senyawa kimia sintetis ke dalam lapisan tanah bagian atas (top soil) yang dapat mencuci hingga muka air tanah (water table).
- b. Menggunakan irigasi tetes (drip irrigation).
- c. Menggunakan jalur-jalur konservasi sepanjang tepi saluran air.
- d. Melakukan penanaman rumput bagi binatang ternak untuk mencegah peningkatan racun akibat aliran air limbah pertanian yang terdapat pada peternakan intensif

5. Tanaman Pelindung

Penanaman tanaman-tanaman seperti gandum dan semanggi pada akhir musim panen tanaman sayuran atau sereal, dapat menyediakan beberapa manfaat

termasuk menekan pertumbuhan gulma (weed), pengendalian erosi, dan meningkatkan nutrisi dan kualitas tanah.

6. Diversifikasi Lahan dan Tanaman

Bertanam dengan memiliki varietas yang cukup banyak di lahan pertanian dapat mengurangi kondisi ekstrim dari cuaca, hama pengganggu tanaman, dan harga pasar. Peningkatan diversifikasi tanaman dan jenis tanaman lain seperti pohon-pohon dan rumput-rumputan, juga dapat memberikan kontribusi terhadap konservasi lahan, habitat binatang, dan meningkatkan populasi serangga yang bermanfaat. Beberapa langkah kegiatan yang dilakukan;

- a. Menciptakan sarana penyediaan air, yang menciptakan lingkungan bagi katak, burung dan binatang-binatang lainnya yang memakan serangga dan insek.
- b. Menanam tanaman-tanaman yang berbeda untuk meningkatkan pendapatan sepanjang tahun dan meminimalkan pengaruh dari kegagalan menanam sejenis tanaman saja

7. Pengelolaan nutrisi tanaman

Pengelolaan nutrisi tanaman dengan baik dapat meningkatkan kondisi tanah dan melindungi lingkungan tanah. Peningkatan penggunaan sumberdaya nutrisi di 5 lahan pertanian, seperti pupuk kandang dan tanaman kacang-kacangan (leguminosa) sebagai penutup tanah dapat mengurangi biaya pupuk anorganik yang harus dikeluarkan. Beberapa jenis pupuk organik yang bisa digunakan antara lain:

- a. Pengomposan
- b. Penggunaan kascing
- c. Penggunaan Pupuk Hijauan (dedaunan)
- d. Penambahan nutrisi pada tanah dengan emulsi ikan dan rumput laut.

8. Agroforestri

Agroforestri merupakan suatu sistem tata guna lahan yang permanen, dimana tanaman semusim maupun tanaman tahunan ditanam bersama atau dalam

rotasi membentuk suatu tajuk yang berlapis, sehingga sangat efektif untuk melindungi tanah dari hampasan air hujan. Sistem ini akan memberikan keuntungan baik secara ekologi maupun ekonomi. Beberapa keuntungan yang diperoleh dari pengelolaan lahan dengan sistem agroforestri ini antara lain:

- a. Dapat diperoleh secara berkesinambungan hasil tanaman-tanaman musiman dan tanaman-tanaman tahunan.
- b. Dapat dicegah terjadinya serangan hama secara total yang sering terjadi pada tanaman satu jenis (monokultur).
- c. Keanekaan jenis tanaman yang terdapat pada sistem agroforestri memungkinkan terbentuknya stratifikasi tajuk yang mengisi ruang secara berlapis ke arah vertikal. Adanya struktur stratifikasi tajuk seperti ini dapat melindungi tanah dari hampasan air hujan, karena energi kinetik air hujan setelah melalui lapisan tajuk yang berlapis-lapis menjadi semakin kecil daripada energi kinetik air hujan yang jatuh bebas.

2.3.2. Konteks Sosial

Pertanian berkelanjutan dalam konteks sosial adalah pertanian yang berorientasi pada kesejahteraan sosial. Partisipasi petani terhadap organisasi lokal yang mengarah pada berbagi informasi, pengetahuan, ketrampilan, pengalaman petani dalam melakukan kegiatan pertanian (Roy et al., 2011). Dalam komponen keberlanjutan pertanian secara sosial, parameter yang harus diperhatikan adalah level pendidikan, fasilitas, kesehatan pekerja dan anggota keluarga pekerja, pengambilan keputusan, peningkatan kualitas kondisi hidup pekerja, partisipasi dan ekuitas sosial (Hayati et al., 2010). Dalam dimensi sosial, kesejahteraan sosial, keadilan dalam akses dan kontrol lahan, modal, informasi tanpa membedakan status sosial merupakan tujuan utama khususnya bagi petani tebu di Indonesia.

2.3.3. Konteks Ekonomi

Pertanian berkelanjutan dalam konteks ekonomi adalah pertanian yang harus menguntungkan tanpa mengambil resiko ekonomi (Roy et al., 2011). Keuntungan yang dimaksud adalah input produktivitas yang mengacu pada output per unit dan produktivitas lahan yang diukur berdasarkan hasil panen secara fisik serta kecukupan arus kas mencakup biaya operasional yang tepat waktu. Dalam

hubungan timbal balik antara ekonomi dan pertanian sangat jelas karena industri pertanian adalah bagian yang signifikan dalam perekonomian suatu negara (allen et al., 1991). Secara ekonomi, petani dapat menghasilkan produksi tebu yang cukup dan stabil dan pada tingkat resiko yang masih bisa diterima.

2.3.4. Indikator Keberlanjutan Pertanian

Berikut ini adalah indikator yang digunakan dalam keberlanjutan pertanian yang mempengaruhi produktivitas tebu. Indikator akan dijelaskan pada tabel 2.1

Tabel 2.1 Indikator Keberlanjutan Pertanian

	<i>Dimension</i>	<i>Indikator</i>
<i>Agricultural Sustainability</i>	<i>Economic Dimension</i>	<i>Net farm return</i>
		<i>Land productivity</i>
		<i>Crop diversity</i>
		<i>Sufficiency of cash flow</i>
	<i>Social Dimension</i>	<i>Education</i>
		<i>Input self sufficiency</i>
		<i>Social involvement</i>
	<i>Ecological dimension</i>	<i>Integrated water management</i>
		<i>Integrated nutrient management</i>
		<i>Integrated pest management</i>
		<i>Soil quality status</i>
		<i>Soil fertily management</i>
		<i>Bio diversity</i>

Sumber: (Roy et al., 2011)

Pada tabel 2.1 dijelaskan bahwa indikator yang mempengaruhi ekonomi adalah balik modal pertanian, produktivitas lahan, keanekaragaman hasil panen dan kecukupan arus kas dalam semua kegiatan pertanian. Sedangkan indikator yang digunakan dalam indikator sosial adalah pendidikan petani tebu, kemampuan petani dalam memenuhi kebutuhan input pertanian dari sumber daya yang dimiliki (input self sufficiency) dan partisipasi petani terhadap organisasi lokal yang mengarah

pada informasi, pengetahuan, ketrampilan dan pengalaman. Indikator yang mempengaruhi dimensi lingkungan adalah pengelolaan unsur hara, pengelolaan hama, kualitas tanah, pengelolaan kesuburan tanah dan keanekaragaman hayati.

2.4. Kajian Penelitian Terdahulu

Pada bab ini akan dijelaskan beberapa penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang akan dilakukan.

2.4.1. Penelitian dengan judul “*Productivity and profitability of sugarcane production in Northern Bangladesh*”

(Reza et al., 2016) dalam penelitian yang berjudul “*Productivity and profitability of sugarcane production in Northern Bangladesh*” merupakan penelitian yang bertujuan untuk meningkatkan produksi tebu karena tebu merupakan bahan baku untuk gula yang mempunyai kesempatan yang tinggi untuk meningkatkan ekonomi. Masalah pada penelitian ini adalah tingginya biaya input dan rendahnya output sehingga mengurangi profit negara dan petani tidak dapat memproduksi tebu secara maksimal dikarenakan kultivasi, persiapan benih yang kurang, metode penanaman konvensional, panen yang terlambat atau terlalu cepat, resistensi lingkungan, hama, penyakit dan gulma. *Cost and return* digunakan untuk menganalisis profitabilitas, sedangkan analisis regresi linear digunakan untuk mengidentifikasi faktor penentu profitabilitas.

Penelitian ini menggunakan 90 sampel yang dikumpulkan dari beberapa kota bagian di Bangladesh dan beberapa daerah untuk menemukan profitabilitas dan produktivitas tebu. Penelitian ini menggunakan analisis regresi linear dan hasilnya menunjukkan bahwa petani mendapatkan keuntungan dari produksi tebu dan margin keuntungan meningkat jika petani melakukan tanam. Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menghiung *profit function* dan *resource productivity*. Seluruh biaya dihitung per hektar berdasarkan biaya masuk dan output yang dihasilkan dan selanjutnya adalah menghitung net return dari keseluruhan biaya. Tebu, pupuk, benih dan pestisida merupakan variabel yang secara signifikan mempengaruhi produksi tebu. Untuk meningkatkan produksi dan keuntungan tingkat tebu, pemerintah juga harus mendorong petani untuk melakukan

tumpangsari. Adapun variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah tenaga kerja, pupuk, benih, irigasi dan pestisida.

2.4.2. Penelitian dengan Judul “*Determinants of Technical Efficiency of Sugarcane Production among Small Holder Farmers in Lao PDR*”

(Supaporn, 2015) dalam penelitiannya yang berjudul “*Determinants of Technical Efficiency of Sugarcane Production among Small Holder Farmers in Lao PDR*” bertujuan untuk menguji efisiensi produksi tebu di Laos. Penelitian ini menjelaskan bahwa semua input memberikan kontribusi positif terhadap output tebu yang dihasilkan, dan dalam penelitian ini juga dijelaskan bahwa hanya 50% petani yang dapat meraih keuntungan produktif dalam budidaya tebu, selain itu produktivitas tebu menurun dari waktu ke waktu menjadi kurang dari 40 ton/ha.

Terdapat berbagai faktor yang menyebabkan produktivitas menurun, diantaranya adalah kurangnya pengalaman terkait produksi tebu, hama dan penyakit tebu serta tingginya tingkat kelembaban. Masalah lain yang dihadapi adalah faktor sosial ekonomi para pekerja. Metode pengambilan data pada penelitian ini adalah dengan sampling, memilih 10 petani secara acak dari setiap desa dan terkumpul 110 sampel petani yang nantinya akan digunakan untuk menganalisis faktor faktor yang mempengaruhi efisiensi produksi tebu. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah teknik analisis efisiensi dan hasil menunjukkan bahwa lahan, tenaga kerja dan modal merupakan variabel yang signifikan mempengaruhi produksi tebu. Dalam penelitian ini juga dijelaskan bahwa peningkatan efisiensi tebu dan produktivitas tebu dilakukan dengan edukasi dan penyuluhan terhadap petani. Edukasi dan penyuluhan terhadap petani juga merupakan variabel yang penting yang dapat digunakan oleh para pembuat kebijakan terkait produksi tebu. Karakteristik pada penelitian ini lebih megacu kepada sosial ekonomi dan variabel yang digunakan dalam penelitian ini adalah luas lahan, pupuk, tenaga kerja dan modal.

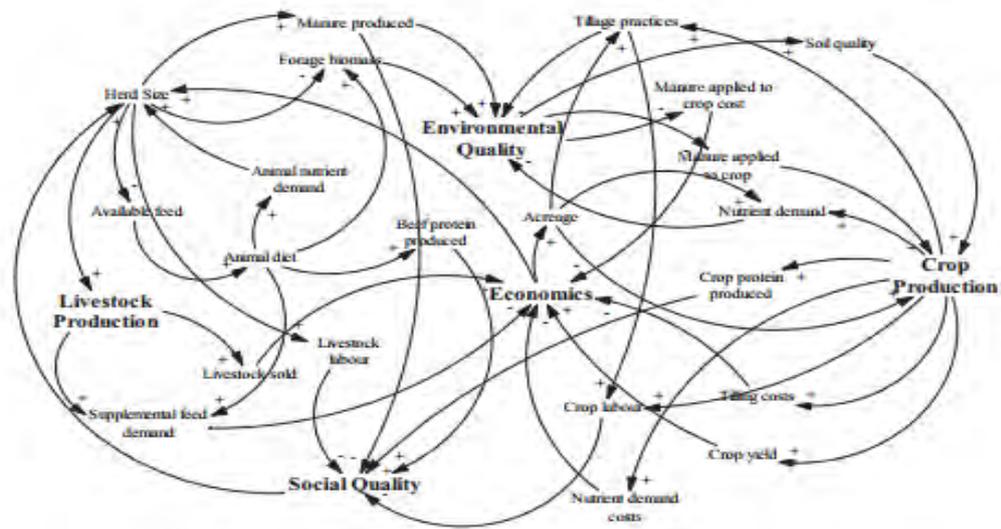
2.4.3. Penelitian dengan Judul “*Exploring agricultural production systems and their fundamental components with system dynamics modelling*”

Jeffery et al (2016) dalam penelitiannya yang berjudul “*Exploring agricultural production systems and their fundamentals components with system*

dynamic modelling” melakukan penelitian terkait produktivitas agriculture secara umum. Penelitian ini dilatarbelakangi oleh pergeseran yang cepat antar konsumen dan permintaan konsumen yang tinggi dengan tujuan efisiensi sumber daya secara *on farm*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis secara sistem dinamis interaksi variabel yang mempengaruhi produksi pertanian. Secara rinci tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :(Stermann, 2000)

1. Memasok kebutuhan
2. Meningkatkan kelestarian lingkungan dan sumber daya alam
3. Meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya alam
4. Meningkatkan ekonomi
5. Meningkatkan kualitas produsen dan masyarakat

Dalam penelitian ini, data diperoleh dengan wawancara dengan produsen pertanian dan petani. Dan berikut ini adalah causal loop diagram pada penelitian tersebut.



Gambar 2.1 Causal Loop Diagram Model Penelitian (Walters et al., 2016)

Hasil dari penelitian tersebut adalah driver (variabel utama) yang mempengaruhi *production sustainability*. Dalam Gambar 2.1 dijelaskan bagaimana peneliti mengeksplorasi interaksi variabel pada ketahanan ekonomi, sosial dan lingkungan. Penelitian ini menunjukkan pemodelan sistem pertanian dalam ketahanan ekonomi, sosial dan lingkungan.

2.5. Efisiensi Budidaya Tebu

Efisiensi merupakan suatu ukuran keberhasilan yang dapat dinilai dengan membandingkan besarnya sumber masukan (input) dan keluaran (output). Dapat dikatakan efisien apabila suatu sumber produksi atau biaya menghasilkan lebih banyak output dengan sejumlah input yang sama (Suryani,2016). Sedangkan budidaya tebu merupakan upaya menciptakan kondisi lingkungan tanaman tebu yang berdasarkan pada ketersediaan lahan, peralatan dan tenaga kerja yang memadai sesuai dengan kebutuhan untuk menghasilkan tebu sebagai bahan baku gula yang diharapkan.

Budidaya tebu yang efisien adalah pengelolaan tanaman tebu yang menyesuaikan lingkungan dengan karakteristik tertentu seperti iklim, temperatur, curah hujan dan kesuburan tanah dengan upaya mengoptimalkan kondisi tanaman untuk memperoleh hasil panen yang maksimal.

2.6. Pengukuran Indikator Efisiensi Produksi Tebu dan Produktivitas Tebu

Indikator kinerja merupakan ukuran kuantitatif dan atau kualitatif yang menggambarkan tingkat pencapaian suatu sasaran tujuan yang ditetapkan organisasi. Indikator kinerja merupakan suatu yang dapat diukur sebagai dasar untuk menilai kinerja. Ukuran keberhasilan dari suatu tujuan dan sasaran strategis tersebut disebut *key performance indicator*. Berikut ini adalah pelaksanaan dan penyampaian standart baku pengukuran indikator kinerja dari produktivitas tebu yang mengacu pada *strategic plan* perkebunan tebu di Asutralia, dalam mencapai produktivitas dan produksi tebu yang maksimal maka pelaksanaan kinerja dibedakan menjadi 5 *key focus area* terkait budidaya tebu (“Sugar Research Australia,” 2014), diantaranya adalah

Tabel 2.2 Key Focus Area budidaya tebu

No	Key Focus Area	Key Deliverable	Variabel
1	<i>Optimally adapted varieties, plant breeding and release</i>	-Adanya varietas atau benih lokal yang meningkatkan produktivitas dan dapat mengurangi biaya dan minim dari penyakit dan hama	<i>Sugarcane Productivity</i>

		<ul style="list-style-type: none"> -peningkatan dalam pengembangan varietas tebu -alat alat informasi yang membantu petani dalam memilih varietas -adanya jasa konsultasi untuk petani -peningkatan kerjasama penelitian 	
2	<i>Soil health and nutrient management</i>	<ul style="list-style-type: none"> -mengurangi input kimia (pupuk) -peningkatan nutrisi secara efisien dan menggunakan pupuk sesuai dosis -pengembangan teknologi screening kesehatan tanah 	<i>Efficiency Production</i>
3	<i>Pest, disease and weed management</i> (hama, penyakit dan manajemen gulma)	<ul style="list-style-type: none"> -pengembangan varietas tahan gulma -Pengembangan teknologi skrinning hama -mengurangi ketergantungan pestisida -teknologi untuk mempredisi gulma -Pengembangan strategi pengendalian gulma dengan daerah yang berbeda 	<i>Sugarcane productivity</i>
4	<i>Farming system and production management</i>	<ul style="list-style-type: none"> -Pelatihan sumber daya -Membuat pedoman dan informasi untuk membantu petani dalam pengambilan keputusan -perbaikan dalam pembentukan tanaman -Adanya uji coba model rantai panen 	<i>Sugarcane productivity</i>
5	<i>Milling efficiency and Technology</i>	<ul style="list-style-type: none"> -efisiensi biaya operasional untuk meningkatkan kualitas gula 	<i>Efficiency Production</i>

Sumber (Sugar Research Plan Australia, 2014)

Performance Indicator juga terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh (Narayan and Prasad, 2003) yang menganalisis kinerja industri dan meningkatkan efisiensi produksi tebu. Berikut ini adalah *strategic plan* sugar industri di Fiji

Tabel 2.3 Performance Indicator Efektifitas dan Efisiensi Produktivitas Tebu

Objectives	Performance Indicator	Variabel
<i>To Increase the efficiency, productivity and quality of sugarcane production in farms</i>	<i>Farm productivity raised by growing 20% additional cane per hectare</i>	<i>Efficiency, Efectiveness</i>
	<i>Controllable farm production cost lowered by 15%</i>	<i>Efficiency</i>
	<i>Cane burning banned by 2013</i>	<i>Efficiency, Efectiveness</i>
	Sewa lahan yang harus diperbarui	<i>Efficiency, Efectiveness</i>
	Adanya skema yang jelas untuk petani	<i>Efectiveness</i>
	Konservasi lahan dan melestarikan tanah sesuai dengan pedoman	<i>Efectiveness</i>

Pada pelaksanaan dalam indkator tersebut dipetakan berdasarkan variabel efektifitas dan efisiensi yang akan digunakan sebagai acuan dalam menentukan variabel variabel yang berpengaruh dalam pengembangan model. Efisiensi adalah skala untuk mendapatkan biaya yang rendah dengan memanfaatkan sumber daya yang tinggi untuk memproduksi volume yang maksimal (Forbord, n.d.). Sedangkan Efektivitas adalah pencapaian tujuan yang tepat dan lebih ke dalam kualitas produk atau layanan.

2.7. Agroindustri Gula dan Tebu

Pada zaman kolonial Belanda, industri gula pernah mencapai puncak produksi yang terjadi pada tahun 1929 sebesar 3 juta ton yang dihasilkan oleh 179 pabrik gula yang didukung dengan areal 200 ribu ha atau tingkat produktivitas gula 15 ton/ha yang menempatkan Indonesia menjadi negara pengekspor kedua dunia setelah Kuba (Rachmat and Nuryanti, 2009). Pada tahun 2010 luas lahan tanaman tebu mencapai 436.504 ha dan Produksi gula tebu nasional mencapai 2,56 juta

ton pada tahun yang sama, dan dari total produksi ini kontribusi pabrik gula BUMN mencapai 1,38 juta ton atau sekitar 54% dari total produksi. Produksi ini dihasilkan dari luas lahan pabrik gula BUMN sekitar 286,579 Ha atau sekitar 66% dari luas lahan total (Perkebunan, 2010). Hal tersebut menunjukkan bahawa terdapat perbedaan produktivitas yang signifikan antara pabrik gula BUMN dan pabrik gula swasta. Permasalahan kesenjangan produktivitas yang dialami pabrik gula BUMN secara umum disebabkan karena kesulitan pengembangan lahan tanam karena alih fungsi lahan atau penggunaan lahan oleh komoditas yang lain. Gambaran secara umum tersebut merupakan keadaan lapangan pada saat ini. Selain itu produksi tebu di Indonesia tinggi tetapi nilai rendemen masih rendah dibandingkan dengan negara lain juga harus diperhatikan. Pelaksanaan budidaya tebu dan pengolahan tebu sesuai dengan pedoman dan standart dapat meningkatkan produktivitas tebu dan rendemen. Karena hal tersebut penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan produktivitas tebu sebagai bahan baku gula yang berfokus pada budidaya tebu.

2.8. Rantai Kegiatan Agroindustri Gula Tebu

Kegiatan agroindustri gula tebu dimulai dari kegiatan perkebunan yang menghasilkan produk tebu sebagai bahan baku untuk pembuatan gula. Selanjutnya adalah pengolahan bahan baku tebu oleh pabrik gula menjadi gula dan proses berikutnya adalah pendistribusian gula ke pasar untuk memenuhi permintaan konsumen. Pelaku utama dalam rantai kegiatan agroindustri gula tebu adalah pabrik gula kristal putih yang terdiri dari 51 pabrik di bawah kepemilikan BUMN dan 9 pabrik swasta yang sebagian besar berada di pulau Jawa, Sulawesi Selatan, Gorontalo, Sumatra Utara, Sumatra Selatan dan Lampung.

2.9. Definisi Produktivitas Tebu

Dalam penelitiannya menyebutkan bahwa telah banyak definisi produktivitas yang telah dikembangkan. Beberapa definisi dari produktivitas adalah sebagai berikut. (Beruvides et al., 1988) menyatakan beberapa definisi produktivitas antara lain:

- a. Menurut Davis, produktivitas adalah perubahan dalam suatu produk yang dihasilkan dalam penggunaan sumber daya
- b. Menurut Kendrick dan Creamer, produktivitas merupakan definisi fungsional untuk produktivitas parsial, produktivitas total dan faktor total produktivitas
- c. Menurut siegel, produktivitas berkenaan dengan sekumpulan perbandingan antara output dengan input

Dari pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa produktivitas tebu merupakan wujud dari semua faktor baik lahan maupun non lahan yang berpengaruh terhadap hasil tanaman tebu. Adapun faktor tersebut adalah masukan berupa sistem pengelolaan, keluaran atau hasil tanaman dan media yaitu tanah (luas). Dengan begitu produktivitas merupakan pembagian dari nilai dari output (berupa hasil produksi tebu) dan input produksi berupa media tanah.

$$\text{Produktivitas Tebu} = \frac{\text{Hasil Produksi (ton)}}{\text{luas lahan (ha)}}$$

Adapun faktor faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas lahan tebu adalah :

- a. Luas Lahan tebu, luas lahan tebu akan mempengaruhi skala usaha dalam kegiatan pertanian tebu.
- b. Kondisi Irigasi, ketersediaan air sangat berperan penting dalam proses tanaman tebu untuk bertumbuh, apabila kekurangan air maka tanaman bisa gagal panen.
- c. Iklim, iklim merupakan faktor yang paling rentan dalam sektor pertanian karena akan mempengaruhi pola tanam, kualitas hasil tebu dan produksi tebu.
- d. Unsur hara tanah, tanaman membutuhkan unsur hara dengan perbandingan yang tepat dalam proses pertumbuhan dan produksi tebu.

2.10. Faktor faktor yang mempengaruhi produktivitas lahan tebu

Dalam melaksanakan budidaya tebu yang baik, terdapat faktor faktor yang perlu diperhatikan untuk meningkatkan efisiensi dan produktivitas lahan tebu.

Dengan tujuan memperbaiki teknis budidaya tebu giling yang berwawasan lingkungan, meningkatkan produksi gula, meningkatkan produktivitas lahan tebu dan mutu tebu giling dalam meningkatkan kesejahteraan pekebun tebu dan kebutuhan bahan baku gula, pemerintah menyusun pedoman dimana budidaya tebu yang baik mencakup penataan varietas, penetapan masa tanam, penetapan lahan, pengolahan tanah, persiapan benih, penanaman, pemeliharaan, panen (tebang, muat, angkut) dan tenaga kerja. Dari KPI produktivitas tebu, penelitian terdahulu dan wawancara dari PT.Perkebunan Nusantara X Surabaya bahwa faktor faktor yang mempengaruhi produktivitas lahan tebu adalah jenis benih dan varietas tebu yang digunakan, ketersediaan air (irigasi), cuaca, penanganan hama dan penyakit tebu, penggunaan pupuk kimia, penggunaan pupuk kompos, kesehatan tanah, luas lahan areal pertanian tebu, tenaga kerja dalam pengembangan budidaya tebu dan biaya operasional yang digunakan.

2.11. Sistem, Pemodelan dan Simulasi

Pendefinisian sistem terbagi dua pendekatan, dimana pendekatan pertama lebih menekankan pada prosedurnya, dan yang kedua lebih menekankan pada komponen atau elemennya. (Gerald,1981) mendefinisikan sistem adalah suatu jaringan kerja dan prosedur prosedur yang saling berhubungan, berkumpul bersama sama untuk melakukan suatu kegiatan atau untuk menyelesaikan sasaran tertentu. Pendekatan sistem yang lebih menekankan pada elemen atau komponennya mendefinisikan sistem sebagai kumpulan dari elemen elemen yang berinteraksi untuk mencapai tujuan tertentu.

Pendekatan sistem yang lebih banyak diterima karena pada kenyataannya suatu sistem dapat terdiri dari beberapa subsistem atau sistem sistem bagian, sehingga pendekatan pada elemen atau komponen akan lebih mudah mempelajari suatu sistem untuk tujuan analisis dan perancangannya. Jogiyanto (2005); suatu sistem mempunyai karakteristik yaitu mempunyai komponen komponen (*components*), batasan system (*boundary*), lingkungan luar sistem (*enviromtment*), penghubung (*interface*), masukan (*input*), keluaran (*output*), pengolah (*process*), dan sasaran (*objectives*) atau tujuan (*goal*).

Model adalah alat yang sangat berguna untuk menganalisis maupun merancang sistem. Sebagai alat komunikasi yang efisien, model dapat menunjukkan bagaimana suatu operasi bekerja dan mampu merangsang untuk berpikir bagaimana meningkatkan atau memperbaikinya. Kegunaan model sebagai alat prediksi terletak pada ketepatan dan ketelitian hasil prediksinya.

Tahapan pemodelan telah ditemukakan dalam banyak literatur (Stermann, 2000) menyarankan pemodelan sistem dilakukan dengan fase fase berikut :

1. Identifikasi isu atau masalah, tujuan dan batasan
2. Konseptualisasi model dengan menggunakan ragam metode seperti diagram kotak dan panah, diagram sebab akibat, diagram stok dan flow atau diagram sekuen
3. Formulasi model, merumuskan makna diagram, kuantifikasi dan atau kualifikasi komponen model jika perlu
4. Evaluasi model, mengamati kelogisan model dan membandingkan dengan dunia nyata atau model yang serupa jika ada
5. Penggunaan model, membuat skenario ke depan atau alternatif kebijakan tersebut dan pengembangan perencanaan dan agenda bersama.

Simulasi merupakan suatu teknik meniru operasi operasi atau proses proses yang terjadi dalam suatu sistem dengan bantuan perangkat computer dan dilandasi oleh beberapa asumsi tertentu sehingga sistem tersebut bisa dipelajari secara ilmiah (Law et al., 1991). Simulasi merupakan suatu alat yang digunakan ketika eksperimen untuk mencari komentar terbaik dari komponen komponen sistem. Karena apabila dijalankan secara nyata akan memerlukan biaya dan waktu yang lama sehingga dengan waktu yang singkat dapat ditentukan keputusan yang tepat serta dengan biaya yang tidak terlalu besar,

2.12. Sistem Dinamik

Sistem Dinamik merupakan pendekatan dengan bantuan komputer untuk menganalisa dan mendesain suatu kebijakan. Secara harfiah setiap sistem dinamik ditandai dengan ketergantungan, interaksi mutualisme, umpan balik informasi dan perputaran sebab akibat (Martinez- Moyano and Richardson, 2013). Pendekatan

sistem dinamik dimulai dari pendefinisian masalah secara dinamis dari waktu ke waktu, dilanjutkan dengan tahap pemetaan dan pemodelan variabel signifikan yang mempengaruhi. Setelah variabel dirasa cukup, tahap selanjutnya yaitu pengembangan *stock and flow diagram*. Pada tahap ini proses yang dilakukan yaitu identifikasi arus masuk atau akumulasi (level) dalam sistem dan arus keluar (rate). Tahap selanjutnya yaitu pengembangan model dan disimulasikan dengan bantuan computer lalu mengumpulkan pemahaman dan kebijakan yang berlaku dari model yang dihasilkan.

Langkah langkah yang terlibat dalam simulasi, (Sterman, 2000):

1. Pendefinisian sistem yang meliputi penentuan batasan sistem dan identifikasi variabel yang signifikan
2. Formulasi model : merumuskan hubungan antar komponen komponen model
3. Pengambilan data yang diperlukan sesuai dengan tujuan pembuatan model
4. Pengembangan Model
5. Verifikasi model terhadap error
6. Validasi model, apakah model yang divalidasi sudah sesuai dengan sistem nyata. Terdapat dua cara validasi yaitu :

- a. Perbandingan rata rata (*Means Comparison*)

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

Dimana :

\bar{S} = nilai rata rata hasil simulasi

\bar{A} = nilai rata rata data

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

- b. Perbandingan variasi amplitude (*Amplitude Variations Comparison*)

$$E2 = \left| \frac{Ss-Sa}{Sa} \right| \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

S = nilai rata-rata hasil simulasi

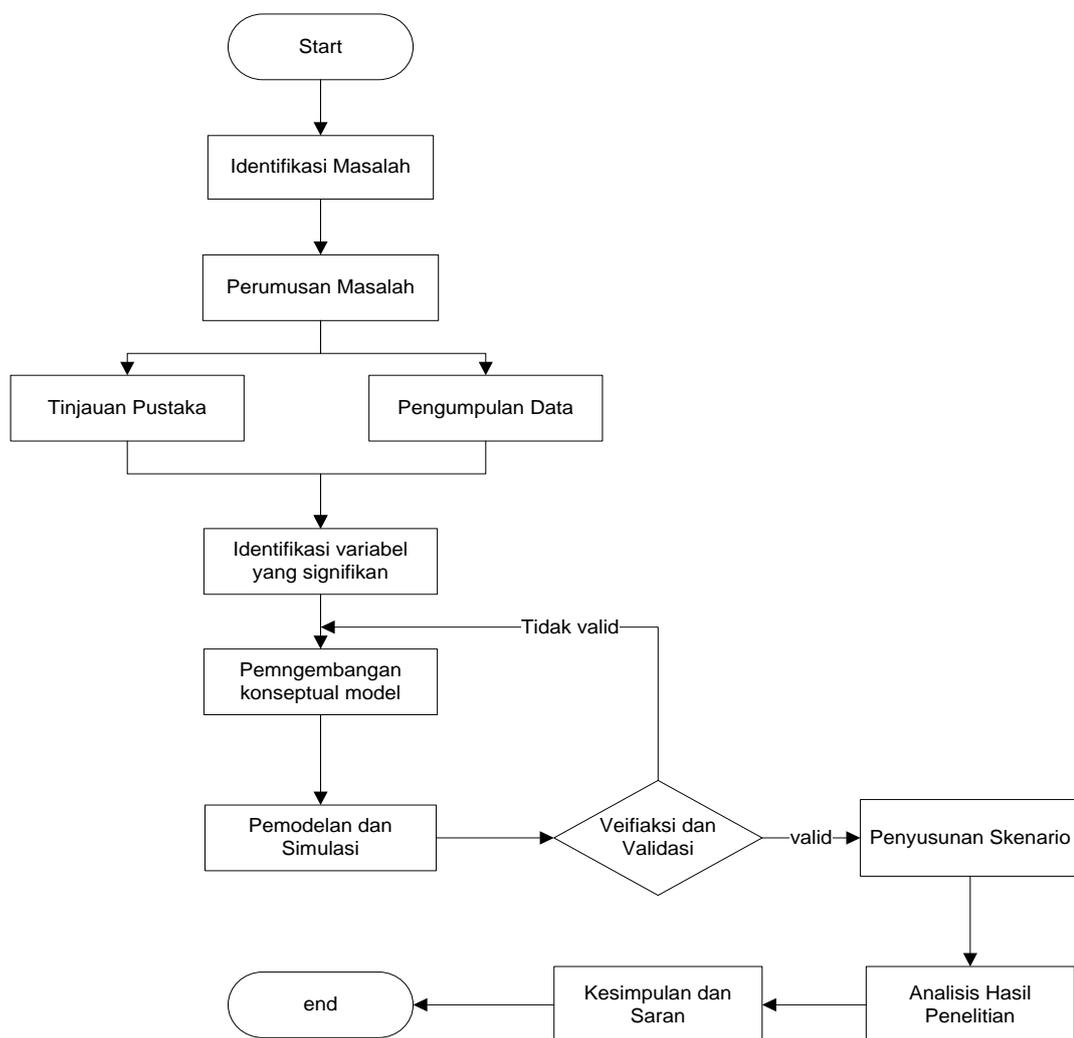
A = nilai rata rata data

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

7. Setelah model valid maka langkah selanjutnya adalah membuat beberapa skenario (eksperimen) untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan keinginan. Jenis Jenis skenario :
 - a. Skenario Parameter dilakukan dengan jalan mengubah nilai parameter model. Relative mudah dilakukan karena hanya melakukan perubahan terhadap nilai parameter dan dampaknya terhadap output model.
 - b. Skenario struktur dilakukan dengan jalan mengubah struktur model. Skenario ini memerlukan pengetahuan yang global agar struktur yang baru yang diusulkan dapat memperbaiki kinerja sistem.
8. Interpretasi model, proses ini merupakan penarikan kesimpulan dari hasil output model simulasi.
9. Implementasi, penerapan model pada sistem
10. Dokumentasi, merupakan proses penyimpanan hasil output model.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan tahapan yang akan dilakukan dalam melakukan pengembangan model sebagai alat simulasi produktivitas tebu. Model yang dihasilkan akan disimulasikan sesuai dengan keadaan nyata dan selanjutnya akan dilakukan analisa hasil simulasi untuk dapat meningkatkan efisiensi produksi tebu yang digambarkan pada gambar 3.1



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian

Penelitian dilakukan dengan tahap sesuai pada gambar 3.1. Adapun penjelasan tentang metode penelitian yang digunakan adalah sebagai berikut :

3.1. Identifikasi Masalah

Pengerjaan penelitian ini diawali dengan pemahaman kondisi agroindustri gula tebu dan pergulaan nasional beserta permasalahannya yang timbul dalam proses bisnis dari segi *on farm* sampai *off farm*. Pada tahap ini dilakukan identifikasi terhadap masalah khususnya dari segi *on farm* terkait budidaya tebu sehingga ditemukan rumusan masalah yang akan diangkat dalam penelitian.

3.2. Tinjauan Pustaka

Studi literatur dalam penelitian ini merupakan tahap pengumpulan pustaka yang digunakan untuk memperkuat dasar teori untuk mendukung pengerjaan dan penelitian tesis. Beberapa literatur yang mendukung penelitian ini lebih lengkap pada bab 2 pada tinjauan pustaka yang di dalamnya terdiri atas sumber sumber berupa buku, peraturan pemerintah, jurnal, website dan lain lain.

3.3. Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini data dipeoleh dari PT.PTPN X dengan observasi dan wawancara. Data berupa data produktivitas tebu dengan produksi gula mentah, data panen tebu, biaya tanam tebu, rendemen tebu, dan data lainnya terkait penelitian dari tahun 2011 sampai dengan tahun 2016. Data tersebut akan digunakan sebagai instrument validasi dan menguji komponen komponen dalam model yang sesuai dengan sistem nyata.

3.4. Identifikasi Faktor dan Variabel

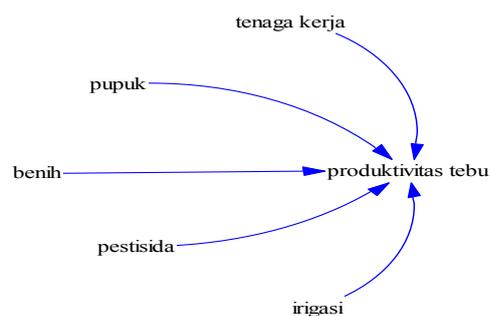
Landasan teoritis yang dirangkum akan membantu dalam mengidentifikasi faktor faktor dan variabel apa saja yang mempengaruhi sistem secara signifikan, baik pengaruhnya secara langsung maupun tidak langsung dalam peningkatan produktivitas lahan tebu. Elemen elemen yang dikemukakan dalam hasil penelitian harus dapat mewakili permasalahan permasalahan yang sering dikemukakan dalam sistem nyata.

3.5. Pengembangan Konseptual Model

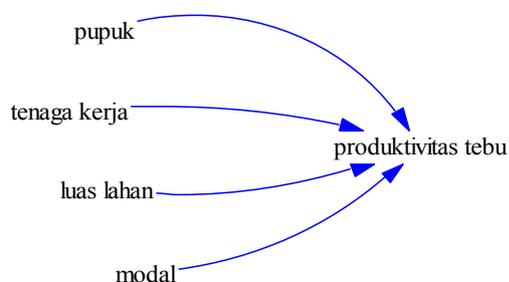
Setelah didapatkan variabel dan komponen terkait produktivitas tebu, maka selanjutnya adalah melakukan pengembangan model. Model yang akan dikembangkan dalam penelitian ini adalah model produktivitas tebu. *Causa loop diagram* peningkatan produktivitas tebu diperoleh melalui :

1. Interview dengan beberapa praktisi di dunia Industri (PT.PTPN X)
2. Kajian terhadap beberapa penelitian terdahulu

Berikut ini gambar 3.2 adalah variabel yang mempengaruhi produktivitas tebu. Produksi tebu dipengaruhi oleh tenaga kerja, pupuk, benih, pestisida dan irigasi (Reza et al., 2016).

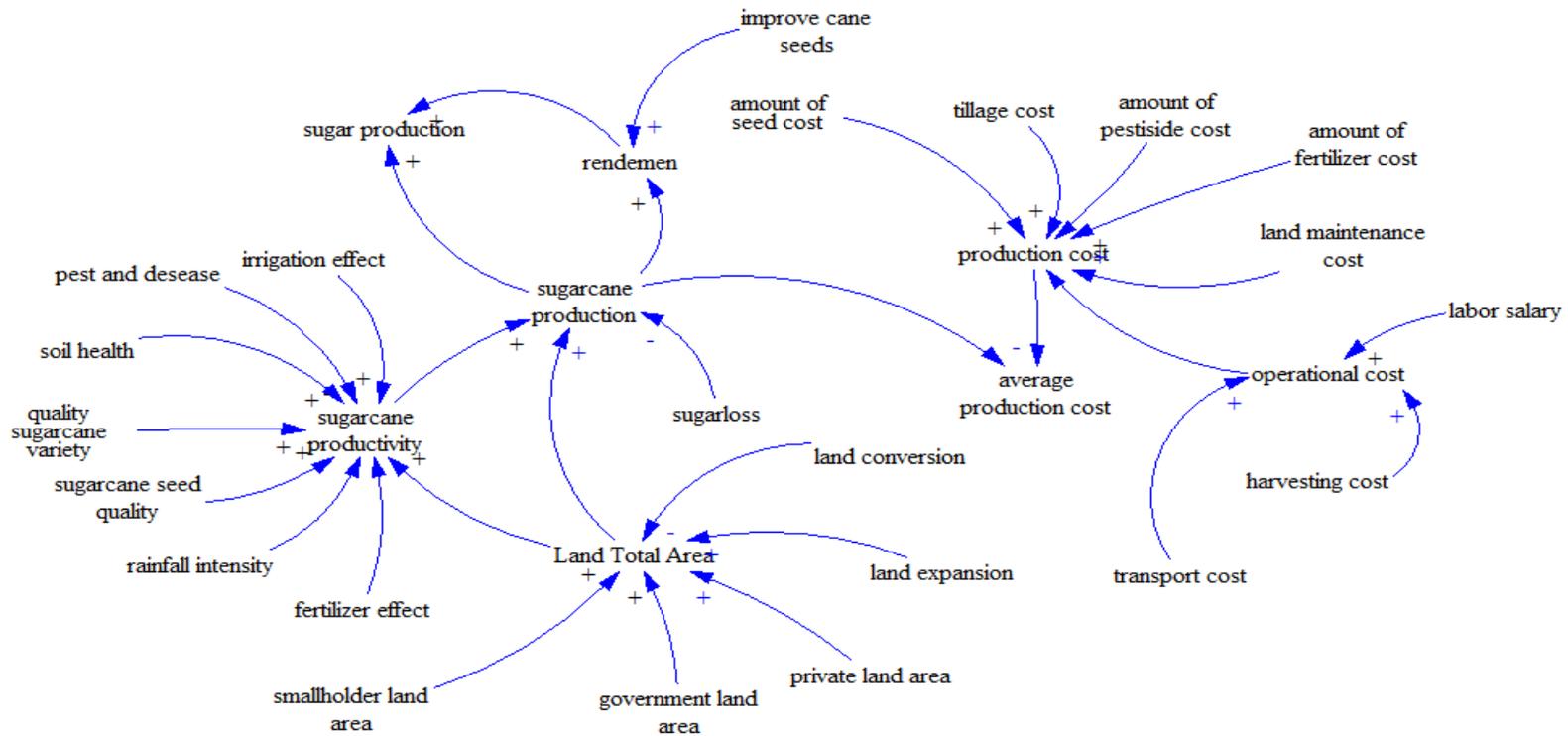


Gambar 3.5 Variabel Yang berpengaruh terhadap Produksi Tebu (Reza et al., 2016)



Gambar 3.6 Variabel yang berpengaruh terhadap produksi Tebu(Supaporn, 2015)

Perumusan hubungan dan keterkaitan antara variabel di dalam peningkatan Produktivitas Tebu digambarkan dalam *Causal Loop Diagram* (CLD) seperti pada gambar 3.4



Gambar 3.7 Causal Loop Diagram Konseptual Model

3.6. Verifikasi dan Validasi

Verifikasi adalah pemeriksaan model simulasi konseptual (diagram alur dan asumsi) ke dalam bahasa pemrograman secara benar (Kelton, 2000). Verifikasi model adalah proses pengecekan terhadap model apakah sudah bebas dari error. Hasil model yang telah dibuat selanjutnya adalah dilengkapi jika terdapat rumus atau formula khusus. Setelah formula dilengkapi, maka model model bisa divalidasi.

Validasi model adalah proses pengujian apakah model yang dibangun sudah sesuai dengan sistem nyata yang disimulasikan (Barlas, 1989). Validasi model dilakukan untuk menguji substansi model apakah sesuai dengan tujuan model yang ingin dicapai. Pada penelitian ini, cara yang digunakan untuk validasi adalah melalui *behavior validity test*, yaitu fungsi yang digunakan untuk memeriksa apakah model yang dibangun mampu menghasilkan tingkah laku (*behavior*) output yang diterima. Terdapat dua acara pengujian dalam validasi *behavior* (Barlas, 1989) yaitu sebagai berikut :

1. Perbandingan rata rata (Means Comparison)

$$E1 = \frac{[\bar{S}-\bar{A}]}{\bar{A}} \dots\dots\dots(iii)$$

Dimana :

\bar{S} = nilai rata rata hasil simulasi

\bar{A} = nilai rata rata data

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

2. Perbandingan variasi amplitude (Amplitude Variations Comparison)

$$E2 = \frac{S-A}{A} \dots\dots\dots(iv)$$

Dimana:

S = nilai rata-rata hasil simulasi

A = nilai rata rata data

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

3.7. Penyusunan Skenario

Penyusunan skenario dilakukan setelah model divalidasi, skenario dilakukan untuk memperbaiki kinerja sistem sesuai dengan yang diinginkan. Jenis skenario adalah sebagai berikut :

1. Skenario parameter

Skenario parameter dilakukan dengan mengubah nilai parameter model, nilai parameter yang diubah tersebut akan menyebabkan output model juga berubah. Perubahan pada model akan diamati dan dianalisis kembali karena terdapat informasi tentang perubahan yang akan terjadi terhadap sistem nyata jika perubahan itu benar benar dilakukan.

2. Skenario Struktur

Skenario struktur dilakukan dengan cara mengubah struktur dari model. Skenario ini memerlukan pengetahuan yang cukup mengenai sistem, atau harus menguasai sistem nyata secara global agar struktur baru dapat diusulkan untuk memperbaiki kinerja sistem. Langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah menambahkan atau mengurangi komponen komponen yang berkaitan dengan keberlanjutan pertanian aspek lingkungan yang mengacu pada *green agriculture*. Setelah penyusunan skenario maka selanjutnya adalah menganalisis hasil skenario baik skenario parameter maupun skenario struktur.

3.8. Analisis Hasil Penelitian

Dari hasil pengamatan langsung di PT.PTPN X dan penelitian sebelumnya terkait produktivitas tebu kemudian dipelajari secara mendalam, didapatkan informasi terkait topik yang akan diteliti. Informasi tersebut berupa variabel pendukung penelitian, kelebihan dan kelemahan penelitian yang nantinya akan dilengkapi pada penelitian ini sebagai kontribusi. Dalam mengidentifikasi variabel yang saling berhubungan dan terintegrasi pada masing masing penelitian dilakukan proses sebagai berikut :

1. Mendaftar semua variabel terkait produktivitas tebu dan menghitung produktivitas tebu

2. Menggali lebih jauh terkait variabel yang berpengaruh melalui penambahan penelitian dan dibandingkan dengan penelitian lain.
3. Melakukan pemetaan hubungan satu variabel dengan variabel yang lain sehingga terdapat keterkaitan antar komponen sebagai hubungan sebab akibat.

3.9. Analisis Produktivitas Tebu

Dari definisi mengenai produktivitas yang sudah disampaikan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa produktivitas tebu merupakan wujud dari semua faktor baik lahan maupun non lahan yang berpengaruh terhadap hasil tanaman tebu. Adapun faktor tersebut adalah masukan berupa sistem pengelolaan, keluaran atau hasil tanaman dan media yaitu tanah (luas), maka produktivitas tebu merupakan pembagian dari nilai dari output (berupa hasil produksi tebu) dan input produksi berupa media tanah atau luas lahan.

$$\text{Produktivitas Tebu} = \frac{\text{Jumlah Produksi (ton)}}{\text{Luas Lahan (ha)}}$$

Jumlah produksi merupakan hasil tanaman tebu berupa gula hablur dalam ton, sedangkan luas lahan merupakan jumlah lahan yang digunakan (ha).

Berikut ini adalah variabel yang mempengaruhi produktivitas tebu dimana masing masing variabel dapat berpengaruh positif dan berpengaruh negatif terhadap produksi tebu.

Tabel 3.1 Variabel yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu

variabel	Keterangan
Pupuk	Dosis penggunaan Nitrogen Dosis penggunaan Phospor Dosis penggunaan Kalium Pupuk organik
Curah Hujan	Pengaruh rata rata curah hujan per tahun
Temperature	Pengaruh rata rata temperatur per tahun
irigasi	Perhitungan kebutuhan air dan ketersediaan air per hektar

Pestisida	Penggunaan pestisida per hektar
Hama dan penyakit	Pengaruh hama dan penyakit terhadap penurunan produktivitas
Benih	Penggunaan benih unggul per hektar

Sumber : Hasil analisis

Pengembangan model produktivitas lahan dan skenario meningkatkan produktivitas lahan dapat dilihat pada bab 4 tentang pengembangan skenario intensifikasi dan ekstensifikasi untuk meningkatkan produktivitas lahan. Berikut ini adalah variabel yang digunakan dalam pengembangan model

Sugarcane productivity = (effect of increasing sugarcane productivity) – (decreasing productivity effect)

Increasing sugarcane productivity = presentase dari pengaruh penggunaan pupuk, penggunaan irigasi, kualitas benih, jumlah curah hujan, rata rata temperatur terhadap hasil produktivitas tebu.

Decreasing productivity effect = presentase pengaruh serangan hama dan penyakit terhadap penurunan produktivitas tebu

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini akan membahas mengenai pengembangan model produktivitas tebu di Pulau Jawa. Pengembangan model dalam penelitian ini dimulai dengan menganalisa kondisi saat ini dan mengumpulkan data untuk identifikasi variabel variabel yang signifikan. Adapun cakupan dalam penelitian ini adalah kondisi umum di Pulau Jawa yang mencakup Perkebunan Rakyat (PR), Perkebunan Besar Negara (PBS) dan Perkebunan Besar Swasta (PBS). Masing masing perkebunan memiliki luas lahan dan produktivitas tebu yang berbeda sehingga berpengaruh terhadap produksi tebu di Indonesia.

4.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan wawancara di PT.PTPN X dan data historis yang diambil dari dokumentasi seperti laporan tahunan. Periode data yang diambil dalam pembangunan model ini adalah tahun 2007 sampai tahun 2016 .

4.1.1. Data Perkembangan Luas Panen

Data luas panen dibagi menjadi 3 bagian yaitu luas area perkebunan rakyat (PR), Perkebunan Besar Nasional (PBN) dan Perkebunan Besar Swasta (PBS). Menurut (Sekretariat Jendral Kementrian Pertanian, 2016) luas areal tebu paling tinggi di Indonesia adalah perkebunan rakyat. Perkembangan luas panen tebu menurut status perusahaan yang bersumber dari Direktorat Jendral Perkebunan, yang diolah pusdatin (pusat data dan informasi) dapat dilihat pada tabel 4.1

Tabel 4.1 *Perkembangan Luas Panen Tebu Menurut Status Perusahaan*

Tahun	Luas Areal Tebu (ha)		
	PR	PBN	PBS
2007	249487	81655	96657
2008	252783	82222	101500
2009	243219	74185	105549
2010	261665	68141	102909
2011	278698	67020	105115

Tahun	Luas areal tebu (ton/ha)		
2012	265233	77690	106225
2013	289279	67285	110077
2014	289988	77497	109638
2015	261476	66715	117459
2016	260643	66631	116946

Sumber : Direktorat Jendral Perkebunan, diolah Pusdatin

4.1.2. Data perkembangan Produktivitas Tebu

Data perkembangan produktivitas tebu dari tahun 2007 sampai dengan tahun 2016 mengalami perubahan naik turun, dimana rata rata produktivitas tebu paling tinggi adalah PBS tetapi PBS memiliki luas area yang paling sedikit. Data perkembangan produktivitas tebu dapat dilihat pada tabel 4.2

Tabel 4.2 Data Perkembangan Produktivitas Tebu

Tahun	Produktivitas Tebu (Ton/ha)		
	PR	PBN	PBS
2007	5.12	4.81	7.72
2008	5.36	4.83	8.24
2009	5.12	4.81	7.72
2010	4.69	4.63	6.17
2011	4.81	4.21	5.46
2012	5.82	4.33	6.7
2013	5.47	4.37	6.32
2014	5.23	4.58	6.46
2015	5.72	4.76	6.19
2016	6.01	4.72	5.77

Sumber : Direktorat Jendral Perkebunan, dioleh Pusdatin

Wujud Produksi : Gula Hablur

4.1.3. Data Permintaan Gula

Permintaan gula terdiri dari atas penggunaan untuk konsumsi rumah tangga dan bahan baku industri pangan. Konsumsi rumah tangga dapat dibedakan menjadi dua yaitu konsumsi gula langsung dan konsumsi gula tidak langsung. Konsumsi gula langsung merupakan konsumsi gula oleh rumah tangga dalam wujud gula asli untuk keperluan makanan dan minuman, sedangkan konsumsi gula tak langsung adalah konsumsi gula oleh rumah tangga melalui makanan dan minuman yang mengandung gula (Dewan Gula Indonesia, 2004). Jumlah total konsumsi 3,8 ton per tahun, sekitar 72% gula dikonsumsi langsung oleh rumah tangga dan sisanya adalah permintaan gula industri sebagai bahan baku makanan.

a. Data Konsumsi Langsung

Data konsumsi langsung dipengaruhi oleh dua hal yaitu konsumsi perkapita penduduk Indonesia dan pertumbuhan penduduk Indonesia. Berikut ini adalah data pertumbuhan jumlah penduduk dan konsumsi perkapita penduduk dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Data Konsumsi Langsung

Tahun	Konsumsi Perkapita Mingguan (ons)	Jumlah Penduduk (ribu jiwa)	Konsumsi Gula Rumah Tangga (ton)
2007	8.624	227579	2,794,231
2008	8.432	230980	2,801,055
2009	7.905	234432	2,809,082
2010	7.691	237641	2,941,186
2011	7.383	241991	3,002,468
2012	6.476	245425	3,059,563
2013	6.648	248818	3,014,625
2014	6.409	252165	3,199,109
2015	6.805	255462	3,283,308
2016	7.315	258705	3,327,929

Sumber : Badan Pusat Statistika dan Litbang Pertanian

b. Data Konsumsi Tak Langsung

Konsumsi gula tak langsung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, adapun data mengenai konsumsi tak langsung dapat dilihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Data permintaan Konsumsi Tak Langsung

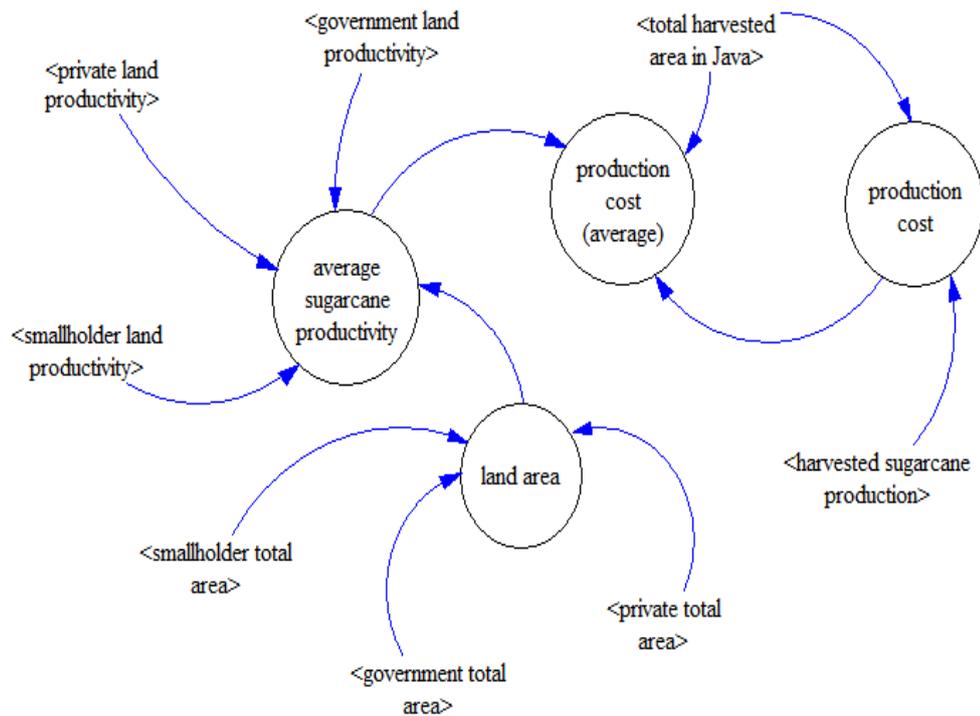
Tahun	Produk Domestik Bruto (PDB dalam miliar)	Harga Gula Impor (Rp/kg)	Nilai Tukar Rupiah Terhadap Dolar Amerika (Rupiah)	Angka Pertumbuhan Investasi Makanan dan Minuman (persen%)	Konsumsi Gula Untuk Industri
2007	3,950,893	3295.76	9419	5.05	6653358020
2008	4,948,688	3921.58	10950	2.34	8113486900
2009	5,606,203	3880.61	9400	3.66	8168017880
2010	6,864,133	5222.91	8991	2.78	9858364806
2011	7,831,726	6266.73	9068	9.19	10624963818
2012	8,615,705	5703.46	9670	10.33	12433636056
2013	9,524,736	6307.71	12189	4.07	16075542501
2014	10,542,693	5566.04	12440	9.49	16305317875
2015	11,154,531	5135.24	13795	7.54	16712682740
2016	12,406,809	5902.85	13303	8.16	18366008056

Sumber : Badan Pusat Statistika dan Litbang Pertanian

Dari data konsumsi langsung dan konsumsi tak langsung dapat diketahui bahwa permintaan gula setiap tahun meningkat dan membuat pemerintah harus impor gula dari berbagai negara untuk memenuhi kebutuhan permintaan gula.

4.2. Pengembangan Model Penelitian

Model utama dalam penelitian ini yaitu gabungan dari sub model yang digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil produksi tebu sebagai bahan baku gula. Base model dalam penelitian ini adalah permintaan gula yang mencakup kebutuhan gula konsumsi dan kebutuhan gula industri. Karena permintaan meningkat yang disebabkan oleh peningkatan populasi, dan hasil gula masih belum maksimal maka model produktivitas tebu yang berpengaruh terhadap biaya merupakan faktor penting dalam penelitian ini. Berikut ini adalah gambar model utama yang diambil dari sub model.

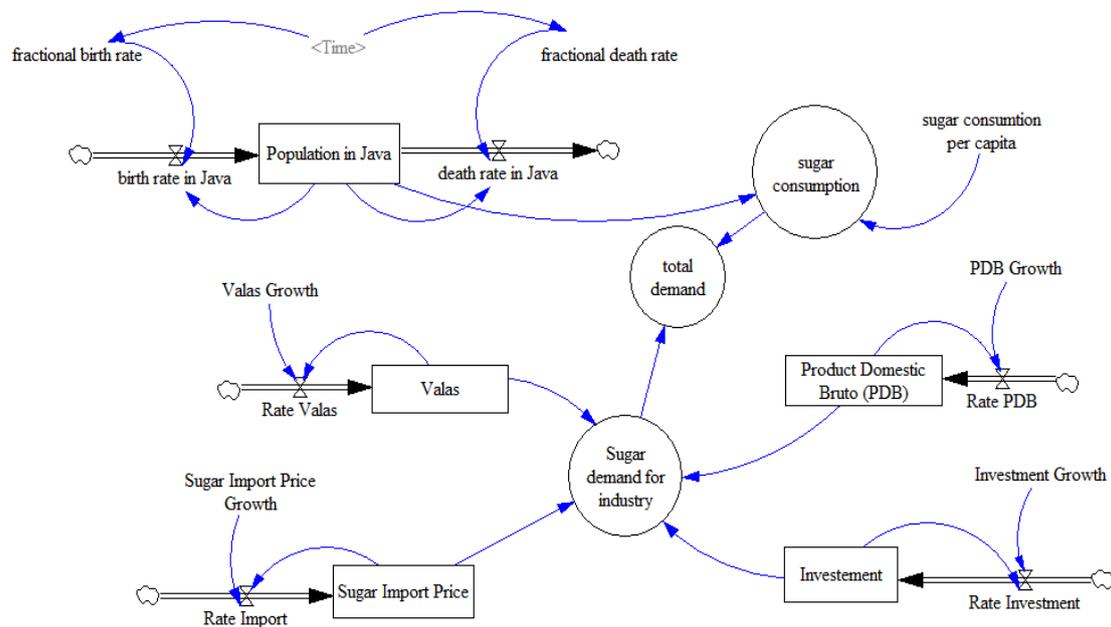


Gambar 4.1 Model Keseluruhan Penelitian

Model utama dalam gambar tersebut terdiri dari beberapa sub model yaitu sub model produktivitas lahan, sub model biaya produksi, sub model irigasi, sub model poplasi dan permintaan serta sub model sisa pengolahan hasil tanaman tebu.

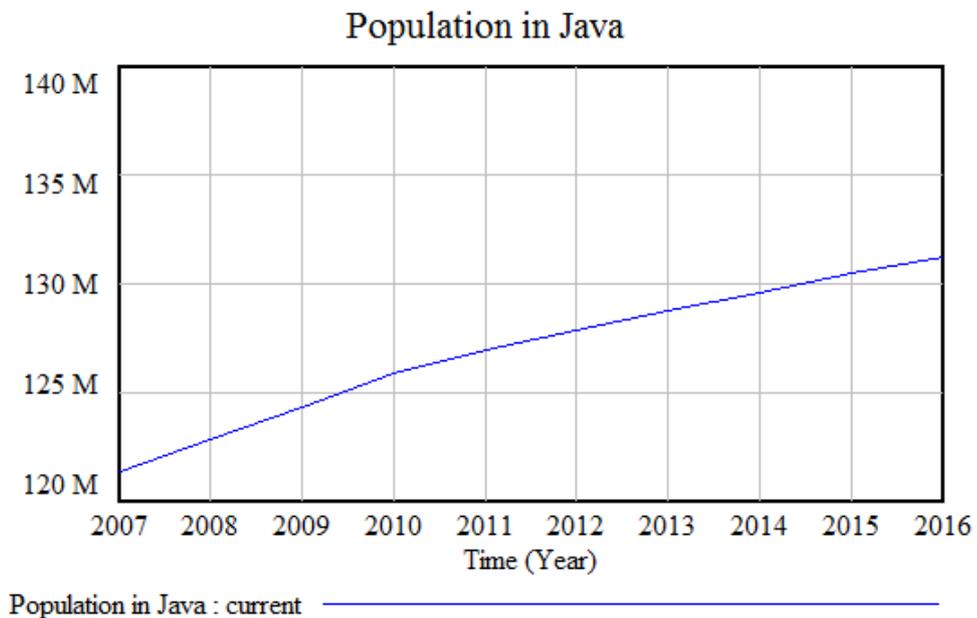
4.3. Sub Model Populasi dan Permintaan Gula

Sub model populasi dan permintaan gula digunakan untuk memperkirakan konsumsi langsung dan konsumsi tidak langsung gula nasional. Variabel yang mempengaruhi konsumsi langsung adalah konsumsi gula perkapita dan jumlah penduduk di Indonesia. Sedangkan variabel yang berpengaruh terhadap konsumsi tidak langsung adalah perkembangan nilai tukar rupiah, penggunaan gula pada sektor industri dan *Product Domestic Bruto* (PDB) dan harga gula import. Pengembangan model konsumsi langsung dan tidak langsung dapat dilihat pada Gambar.4.2



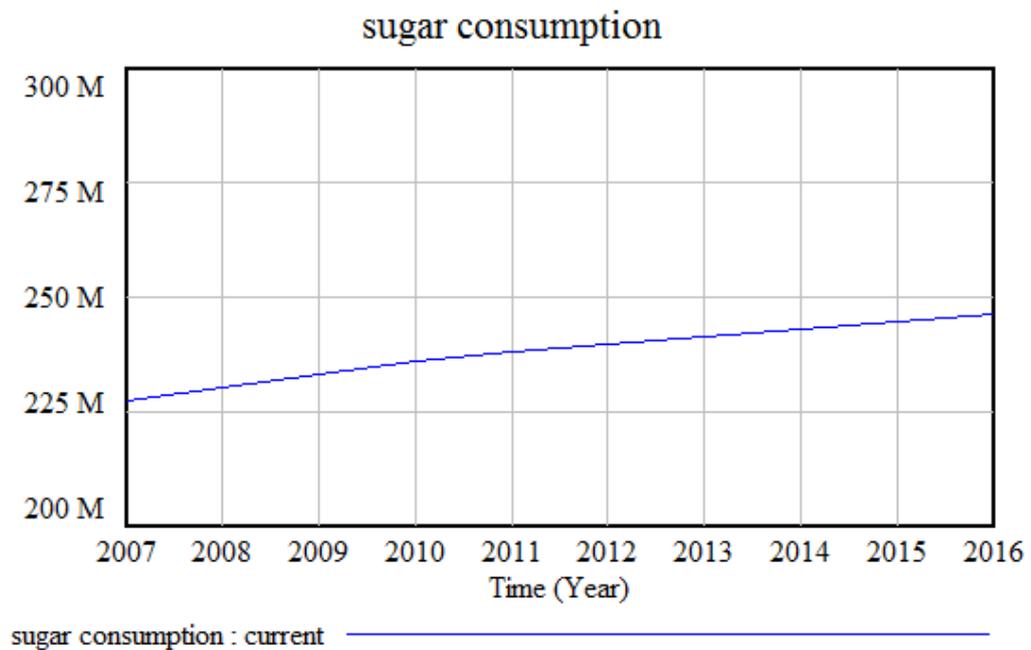
Gambar 4.2 Sub model permintaan gula dan populasi

Dari model yang telah dikembangkan, dapat diketahui besaran permintaan gula yang nantinya akan berpengaruh terhadap besarnya import gula yang dilakukan oleh pemerintah. Permintaan gula merupakan penjumlahan dari konsumsi gula langsung dan konsumsi gula untuk industri. Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan permintaan gula langsung, permintaan gula tidak langsung, total permintaan dan populasi.



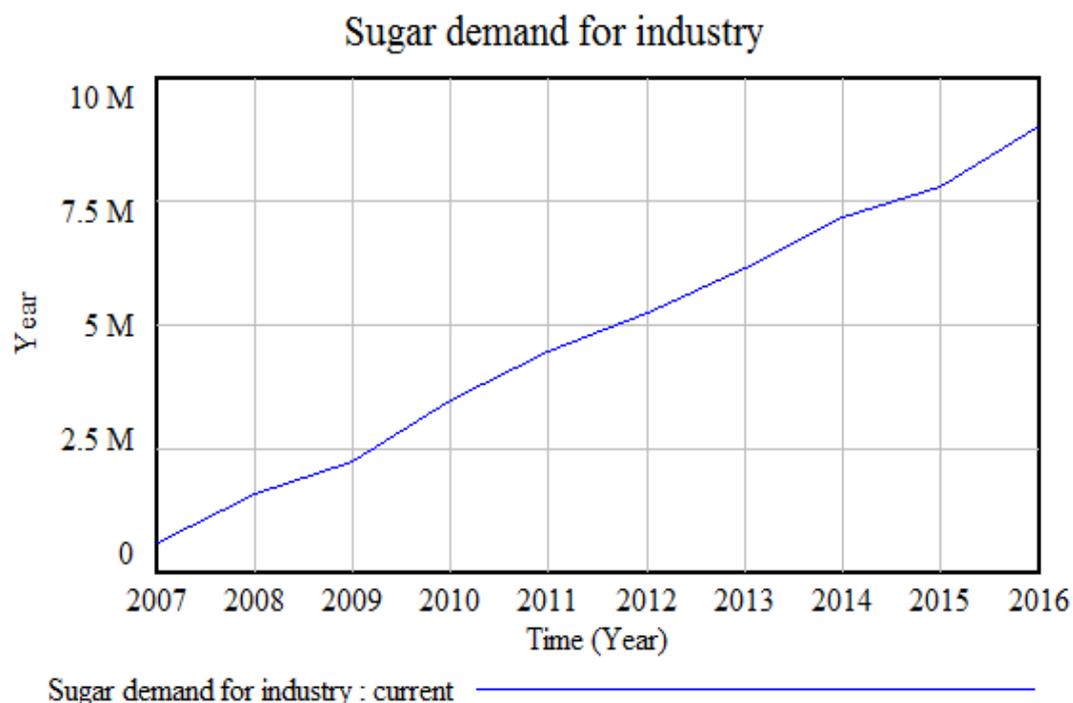
Gambar 4.3 Grafik Peningkatan Populasi (ribu jiwa)

Dari gambar 4.3 dapat diketahui bahwa dari tahun ke tahun jumlah penduduk Indonesia mengaami peningkatan rata rata 1% per tahun. Berikut ini adalah grafik konsumsi gula langsung.



Gambar 4.4 Grafik Konsumsi Gula Langsung

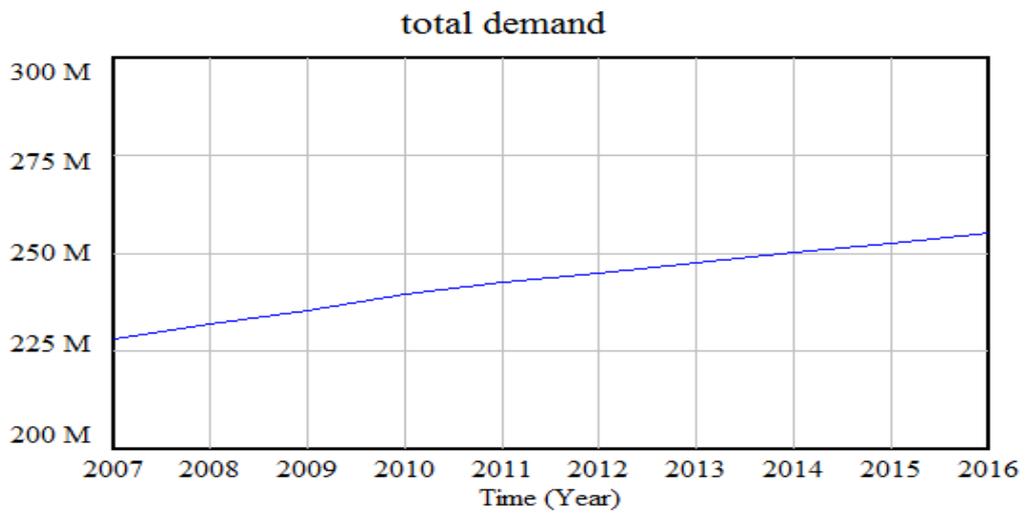
Gambar 4.4 menggambarkan bahwa konsumsi perkapita mengalami fluktuasi tergantung pada keadaan ekonomi negara Indonesia. Dan berdasarkan grafik tersebut permintaan gula untuk konsumsi langsung mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Berikut ini adalah grafik permintaan gula tak langsung



Gambar 4.5 Grafik Permintaan Gula Industri

Dari gambar 4.5 dapat diketahui bahwa permintaan gula untuk industri yang dipengaruhi oleh PDB, jumlah import gula dan nilai tukar rupiah mengalami kenaikan dari tahun 2007 sampai dengan tahun 2016.

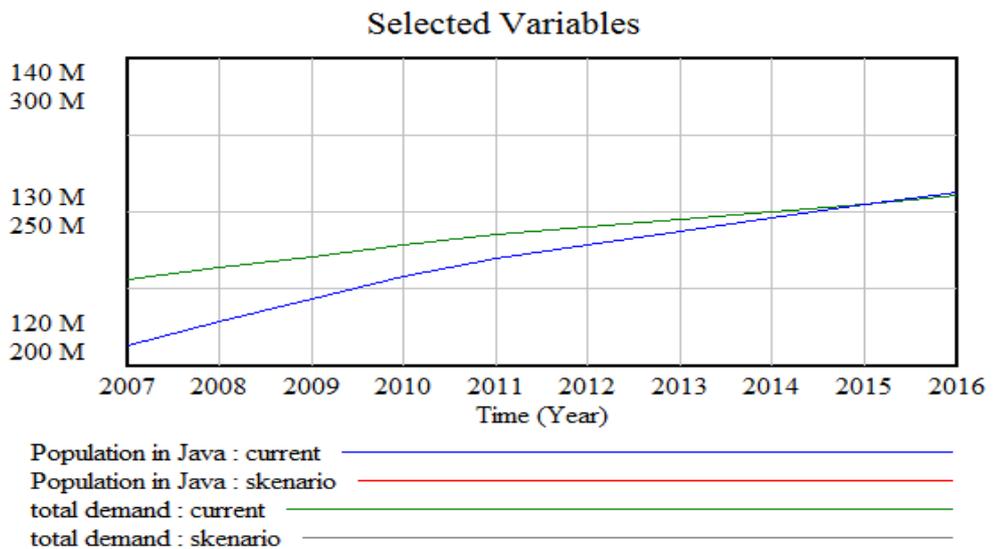
Dari jumlah permintaan gula langsung dan permintaan gula tak langsung selanjutnya akan membentuk total jumlah permintaan sekarang dan perkiraan di masa mendatang untuk memperkirakan jumlah permintaan dan upaya pemerintah dalam meningkatkan produktivitas tebu sebagai bahan baku gula. Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan total permintaan baik langsung maupun tak langsung.



Gambar 4.6 Grafik peningkatan permintaan gula

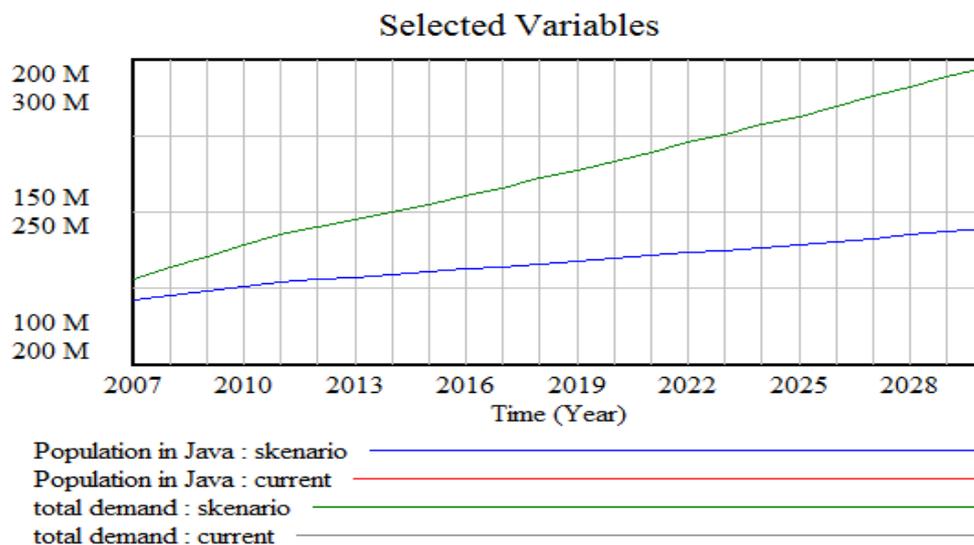
Jumlah dari konsumsi gula langsung dan tak langsung dalam gambar 4.6 cenderung mengalami kenaikan dari tahun ke tahun, dan hasil perkiraan permintaan gula akan digunakan pemerintah sebagai informasi dan salah satu acuan dalam swasembada gula dan memproduksi gula.

Berikut ini adalah grafik grafik permintaan gula dan populasi gula, dimana dari tahun 2007 sampai dengan 2016 mengalami peningkatan dimana populasi mengalami trend kenaikan.



Gambar 4.7 Grafik Pertumbuhan total demand dan populasi

Berikut ini adalah grafik perkiraan dari jumlah penduduk dan permintaan dimana dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2018 mempunyai trend meningkat.



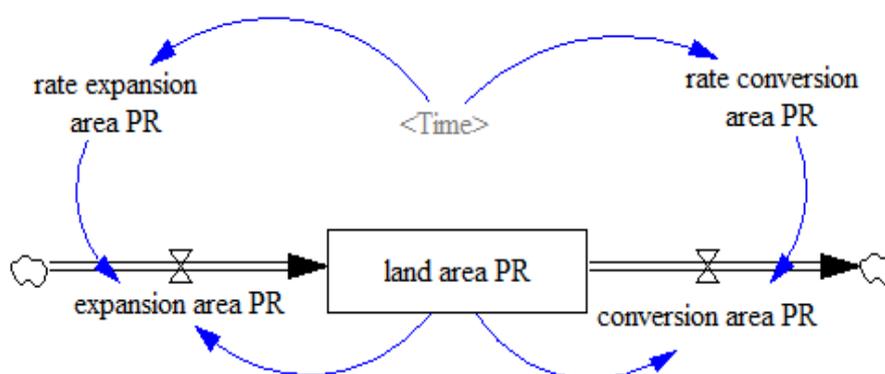
Gambar 4.8 Grafik perkiraan populasi dan permintaan gula

Dari grafik pada gambar 4.8 dapat diketahui bahwa perkiraan permintaan gula dan populasi mengalami peningkatan. Pertumbuhan penduduk rata rata meningkat 1% per tahun. Untuk permintaan gula nasional menggunakan persamaan matematis dari konsumsi gula langsung dan konsumsi gula tak langsung. Dari hasil perkiraan menandakan bahwa perlu peningkatan produksi gula untuk memenuhi kebutuhan permintaan gula di Indonesia. Grafik pada gambar 4.8 perkiraan peningkatan produksi gula sekitar 21% dari skenario pesimistik dan skenario optimistik.

4.4. Sub Model Luas Lahan Tebu

Luas areal panen tebu merupakan luas lahan yang dipanen hasilnya setelah tanaman tebu sudah cukup umur dan luas areal panen tebu merupakan salah satu faktor yang sangat penting dalam penelitian ini. Dengan mengetahui informasi jumlah luas panen tebu, maka dapat diketahui pula hasil produksi tebu pada setiap area. Pulau Jawa merupakan pulau yang mempunyai luas areal lahan tebu tertinggi di Indonesia dibandingkan dengan pulau yang lain baik pekebunan rakyat, perkebunan besar negara maupun perkebunan besar swasta. Sub model luas lahan panen tebu dipengaruhi oleh laju pertambahan lahan atau ekspansi lahan dan konversi lahan sawah.

Luas panen tebu dipengaruhi oleh ekstensifikasi atau perluasan lahan tanaman pangan dan konversi atau perubahan alih fungsi lahan tebu menjadi pemukiman, jalan atau fungsi yang lain. Penurunan luas panen juga disebabkan karena gagal panen. Gagal panen biasanya dipengaruhi oleh anomali cuaca yang tidak menentu seperti kemarau yang berkepanjangan atau curah hujan yang tinggi. Selain itu gagal panen juga dipengaruhi oleh serangan hama atau penyakit pada tanaman tebu dan apabila hal tersebut tidak ditangani dengan baik akan menyebabkan gagal panen dan mengurangi produksi tebu. Sub model luas panen perkebunan rakyat dapat dilihat pada gambar 4.9



Gambar 4.9 Sub Model Luas Panen Perkebunan Rakyat

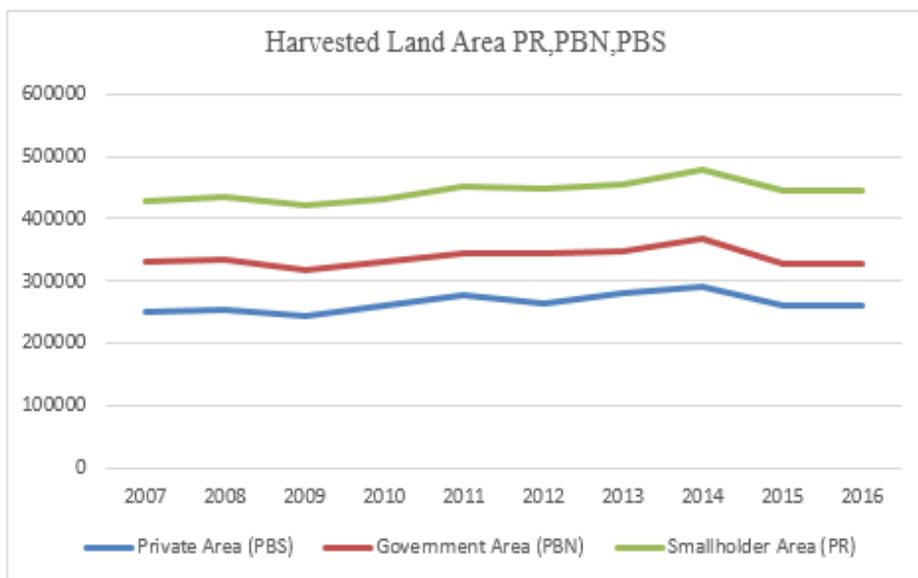
Dalam memasukkan data dalam model, maka dibutuhkan data berupa data luas lahan, data ekspansi lahan dan data konversi lahan pada periode 2007-2016. Selanjutnya adalah menghitung pertumbuhan ekspansi lahan dan konversi lahan setiap tahunnya dalam bentuk persen. Adapun persamaan dari variabel pada gambar 4.7 adalah sebagai berikut :

Tabel 4.5 variabel dan persamaan sub model land area PR

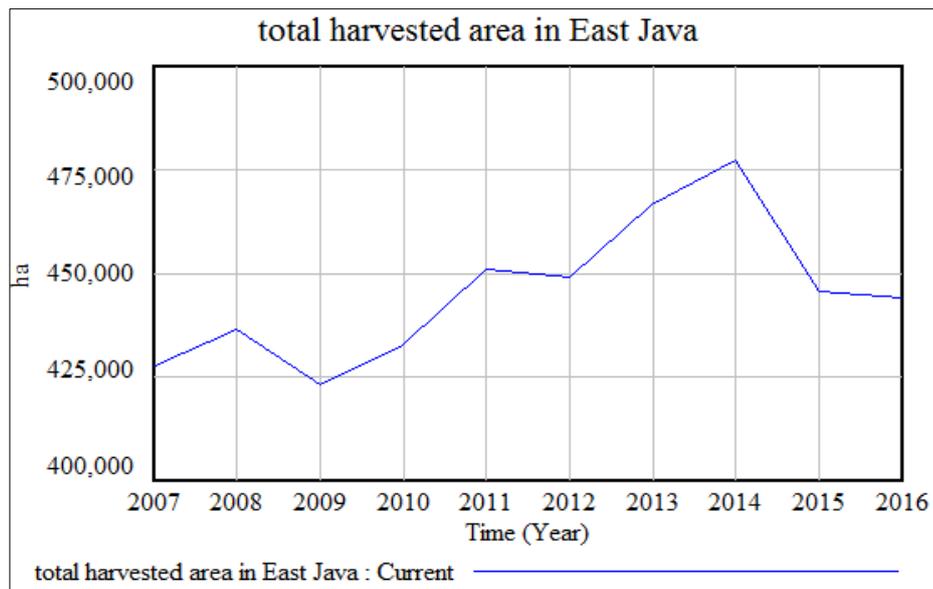
Variabel	Persamaan
<i>Land area PR</i>	<i>Expansion area PR – conversion area PR</i> <i>Initial value : 249487 (luas lahan pada tahun 2007).</i>
<i>Expansion area PR</i>	<i>Rate expansion area PR x land area PR</i>
<i>Conversion area PR</i>	<i>Rate conversion area PR x land area PR</i>

<i>Rate expansion area PR (time)</i>	Pertumbuhan ekspansi lahan dari tahun 2007 sampai dengan 2016 (dalam persen)
<i>Rate concersion area PR</i>	Pertumbuhan ekspansi lahan dari tahun 2007 sampai dengan 2016 (dalam persen)

Sub model luas panen pada gambar 4.9 juga berlaku terhadap area perkebunan besar negara dan perkebunan besar swasta. Laju perkembangan luas panen tebu dipengaruhi oleh peningkatan luas panen (ekspansi lahan) dikurangi laju pengurangan luas panen (konversi lahan). Berikut ini adalah hasil simulasi sub model luas panen lahan tebu dari semua area. Pada tahun 2009 sampai 2014 luas area tebu cenderung meningkat.



Gambar 4.10 Grafik luas panen berdasarkan area PR,PBN dan PBS



Gambar 4.11 Grafik Total Luas Panen di Jawa

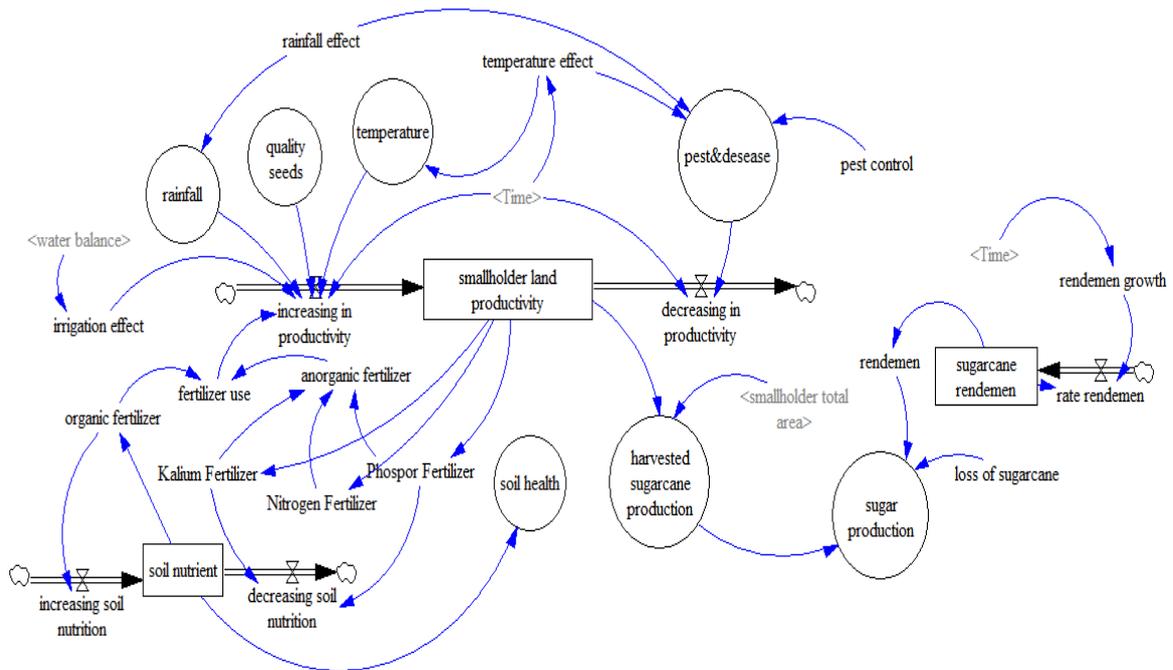
Secara umum luas lahan panen tebu paling tinggi adalah perkebunan rakyat dibandingkan dengan perkebunan besar negara dan perkebunan besar swasta. Luas lahan panen tebu secara keseluruhan mengalami peningkatan pada tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 dan luas panen tertinggi adalah 477.123 ha pada tahun 2014.

Dari gambar 4.11 dapat diketahui bahwa rata rata kontribusi dalam memproduksi tebu yang paling tinggi adalah perkebunan rakyat yang nilainya mencapai 50% dibandingkan dengan perkebunan besar negara dan perkebunan besar swasta. Secara umum luas panen tebu di Pulau Jawa meningkat dari tahun 2009 sampai dengan tahun 2014 dengan kenaikan 0,94% per tahun. Setelah tahun 2014 luas lahan mengalami penurunan sampai tahun 2016.

4.5. Sub Model Produktivitas Tebu

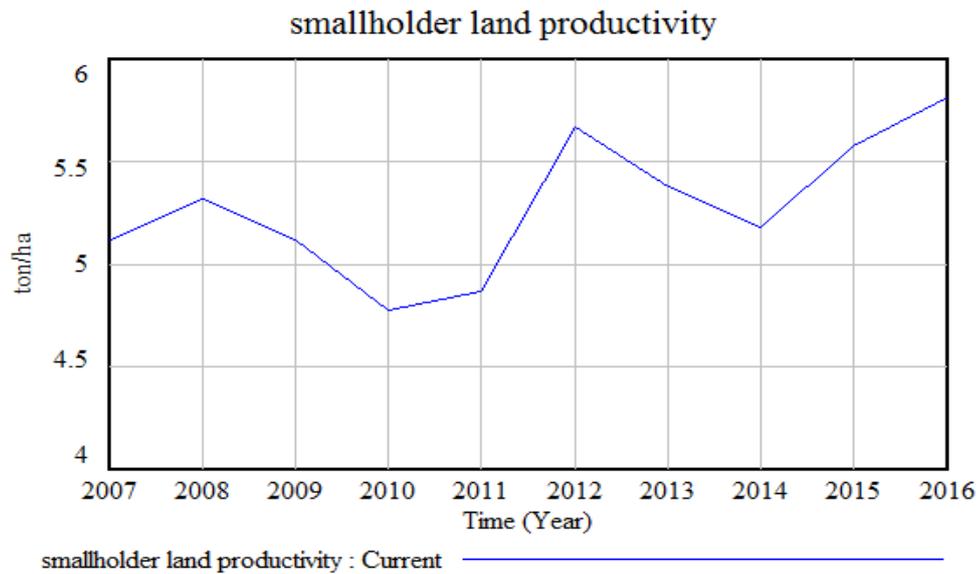
Produktivitas lahan tebu dipengaruhi oleh banyak faktor dan salah satu penyebab produksi tebu yang tidak maksimal adalah teknis budidaya tebu yang meliputi penggunaan bibit atau varietas tebu sesuai dengan lokasi tanam dan tahan dari serangan hama dan penyakit. Hal tersebut juga disampaikan oleh (Mariska and Rahayu, 2011) bahwa dalam mencapai sasaran swasembada gula, salah satu faktor penting adalah dengan perluasan lahan baik perkebunan rakyat maupun perkebunan

besar dan penggunaan varietas tebu unggul yang dianjurkan oleh pemerintah. Benih unggul dapat meningkatkan produksi tanaman tebu yang mempunyai rendemen tinggi, tahan terhadap hama dan penyakit serta dapat bertahan dalam perubahan iklim global. Sub model produktivitas tebu dapat dilihat pada gambar 4.12



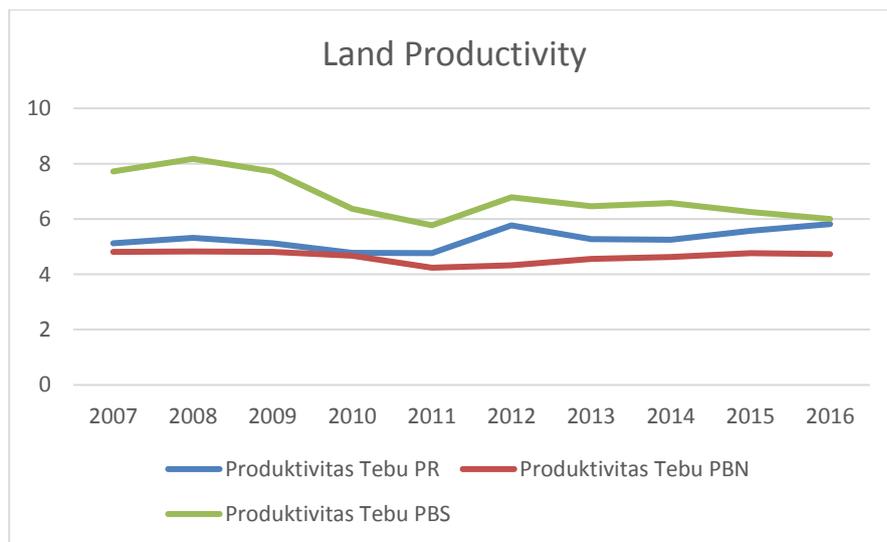
Gambar 4.12 Sub model Produktivitas Tebu Perkebunan Rakyat

Gambar sub model produktivitas tebu pada area perkebunan rakyat tersebut juga berlaku pada area perkebunan besar nasional dan perkebunan besar swasta dengan karakteristik cuaca dan temperatur yang sama. Faktor yang membedakan dari ketiganya adalah luas area perkebunan tebu dan nilai produktivitas yang berbeda. Berikut ini adalah grafik produktivitas lahan PR



Gambar 4.13 grafik produktivitas lahan perkebunan rakyat

Dari Gambar 4.13 dapat diketahui bahwa nilai produktivitas tebu dengan produksi gula hablur pada perkebunan rakyat (PR) paling tinggi adalah 6.01 ton/ha pada tahun 2016. Sub model produktivitas lahan tebu perkebunan rakyat tersebut juga berlaku pada PBN dan PBS. Berikut ini adalah grafik perbandingan produktivitas lahan tebu PR,PBN dan PBS.

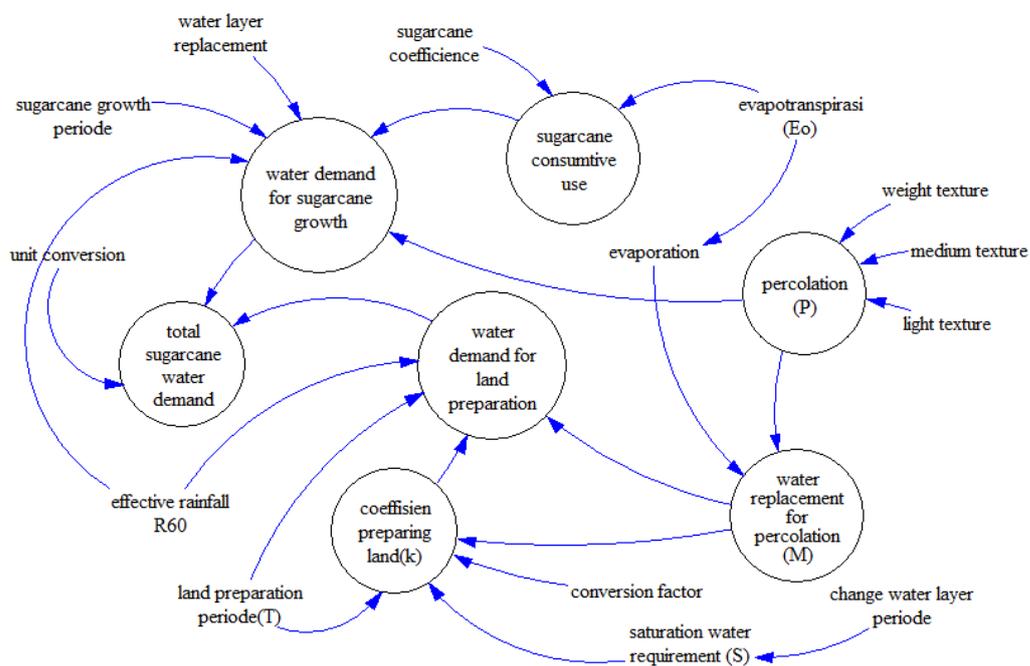


Gambar 4.14 Grafik perbandingan produktivitas lahan

Dari gambar 4.14 dapat diketahui bahwa rata rata produktivitas paling tinggi adalah perkebunan besar swasta (PBS) dimana rata rata produktivitas mencapai 6.67 ton/ha dengan nilai produktivitas paling tinggi adalah 8,24% pda tahun 2008. Dari evaluasi sub model luas lahan, PBS memiliki lahan panen tebu yang paling rendah dibandingkan PBN dan PBS tetapi memiliki nilai produktivitas tebu yang paling tinggi diantara keduanya. Produktivitas lahan PBN memiliki rata rata 4,6 ton/ha jika dibandingkan dengan PR dan PBS adalah yang paling rendah.

4.6. Sub Model Irigasi

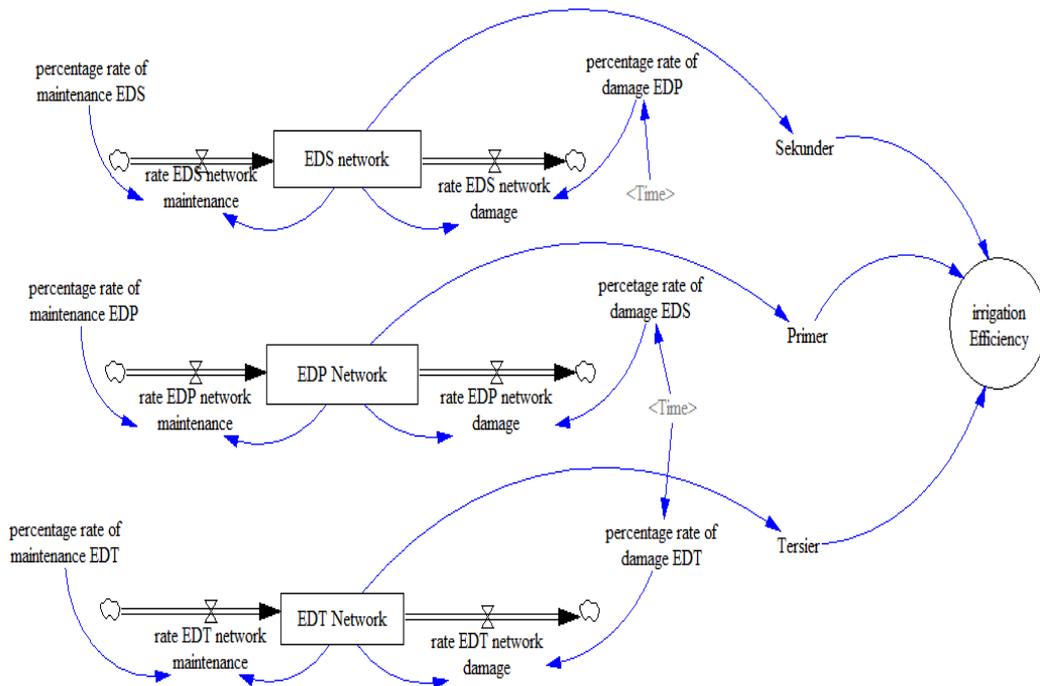
Irigasi merupakan salah satu faktor penting dalam keberhasilan dalam peningkatan produksi tebu. Irigasi merupakan pemberian air pada tanah untuk pertumbuhan tanaman dengan tujuan kecukupan kebutuhan air pada waktu yang diperlukan tanaman. Irigasi bertujuan untuk menampung dan mengambil dari sumbernya lalu dialirkan ke areal tanaman. Berikut ini adalah sub model kebutuhan air untuk tanaman tebu.



Gambar 4.15 Sub model Irigasi

Dari gambar 4.15 dapat dijelaskan bahwa kebutuhan air dalam budidaya tebu adalah kebutuhan air untuk persiapan lahan, kebutuhan masa tanam tebu dan pada kinerja irigasi dipengaruhi oleh rembesan yang terjadi pada saat distribusi air. Kinerja irigasi tersebut dipengaruhi oleh efisiensi irigasi. Efisiensi irigasi merupakan perbandingan jumlah air yang dibutuhkan dalam masa penanaman tebu dan jumlah air yang dialirkan dari pintu utama pengambilan air.

Dalam efisiensi irigasi diasumsikan bahwa air yang mengalir untuk kebutuhan tanaman mengalami kehilangan akibat rembesan, evaporasi, perkolasi dan kebocoran. Berikut ini adalah gambar mengenai efisiensi irigasi jaringan irigasi tersier, sekunder dan primer.

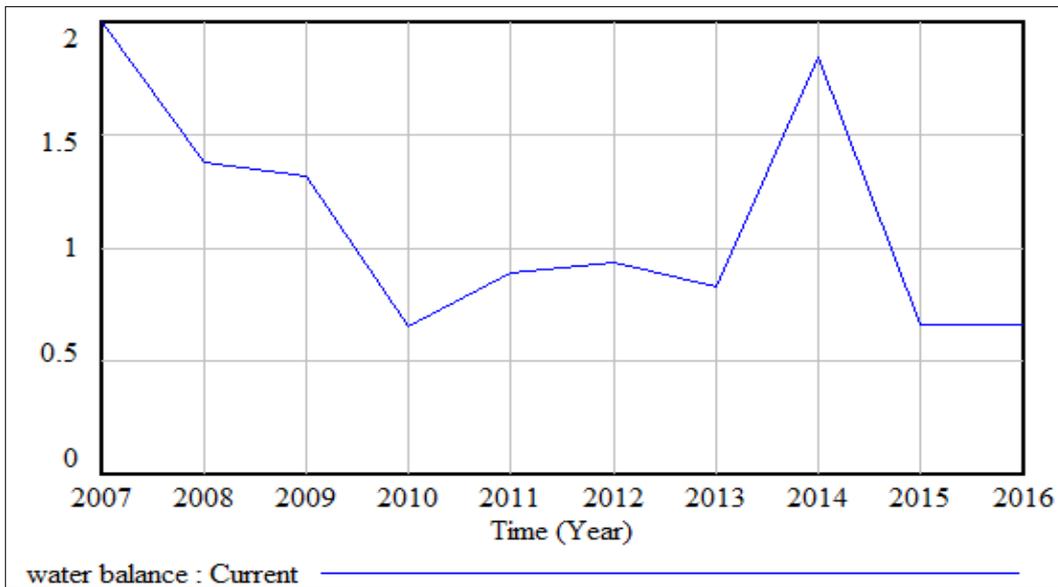


Gambar 4.16 Sub model efisiensi irigasi

Dalam gambar 4.16 EDS Network merupakan jaringan irigasi sekunder yang merupakan bagian dari jaringan irigasi dari saluran sekunder, saluran pembuangannya, bangunan bagi dan pelengkapannya. Sedangkan EDP merupakan jaringan irigasi primer atau bangunan utama (saluran induk) dalam jaringan. EDT

merupakan jaringan irigasi tersier atau jaringan irigasi yang mempunyai fungsi dalam prasarana pelayanan air irigasi. (Peraturan Menteri Pekerjaan Umum, 2015)

Dari gambar 4.16 dapat diketahui bahwa masing masing jaringan irigasi baik primer, sekunder dan tersier terdapat variabel perbaikan dan kerusakan yang terjadi pada jaringan untuk efisiensi irigasi. Grafik mengenai ketersediaan irigasi dapat dilihat pada gambar 4.17



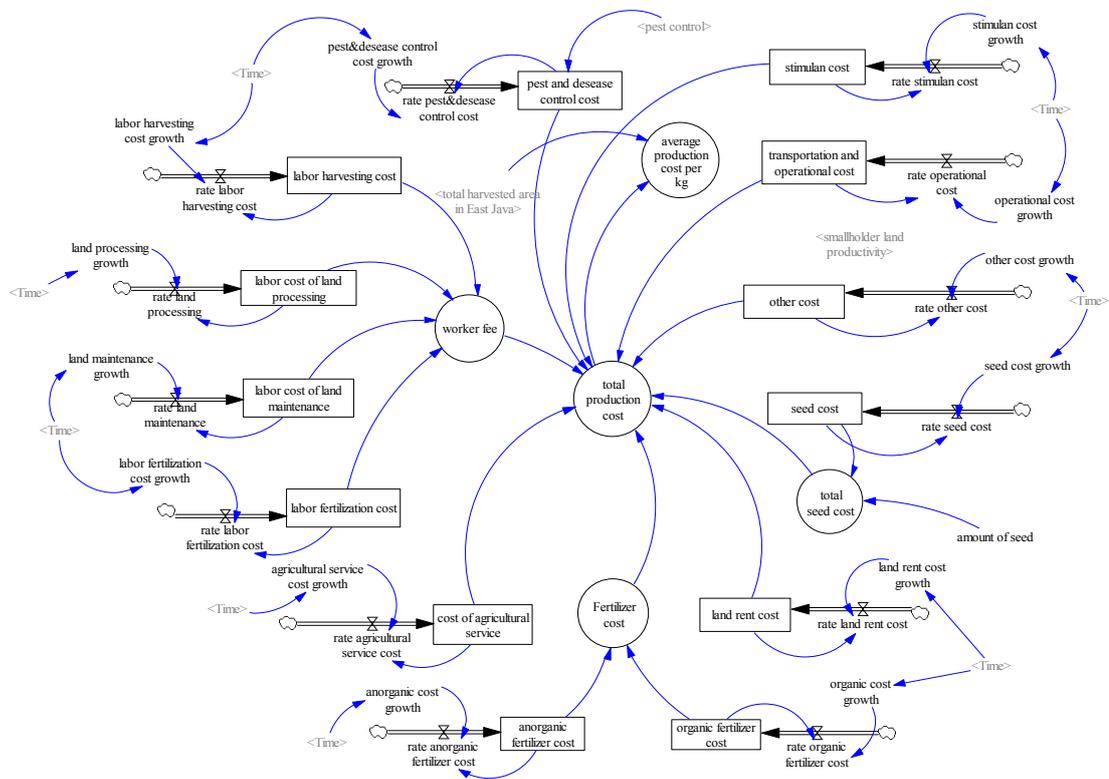
Gambar 4.17 Sub Model ketersediaan irigasi

Dari gambar 4.17 dapat diketahui bahwa ketersediaan air cenderung menurun pada tahun 2007 sampai dengan 2010, tetapi keseimbangan air masih berada di atas 1 yang artinya air untuk sawah masih tercukupi dan mengalami kenaikan pada tahun 2014. Dari gambar tersebut juga dapat diketahui bahwa pada tahun 2015 dan 2016 keseimbangan air kurang dari 1. Perlu adanya perbaikan saluran irigasi agar tidak terjadi kehilangan air dan kebutuhan air untuk bertanam tebu dapat terpenuhi.

4.7. Sub Model Biaya Produksi

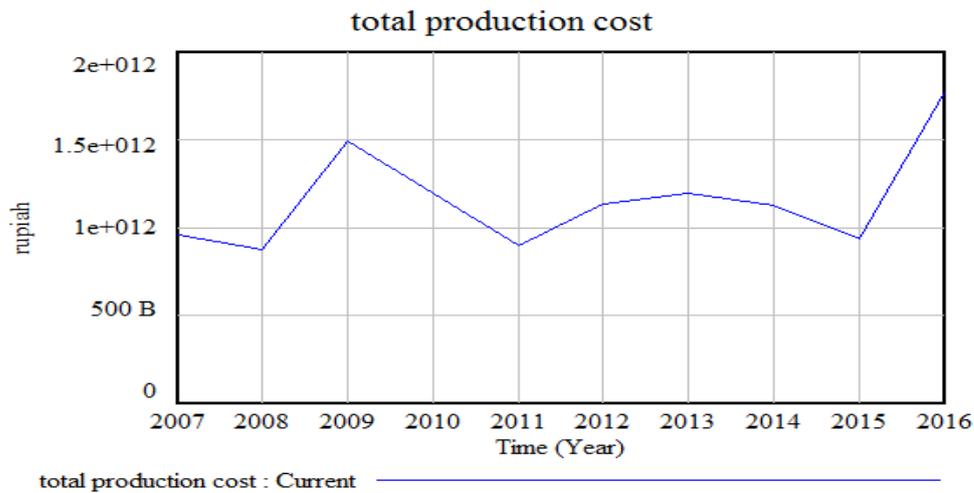
Dalam sum model biaya produksi ini semua biaya tanam dan biaya produksi tebu dihitung untuk mengetahui rata rata biaya produksi per kilogram. Dalam model ini meliputi biaya pupuk, biaya operasional, upah tenaga kerja baik tenaga kerja

penanaman, tenaga kerja pemanenan tebu, tenaga perawatan tanaman tebu sampai biaya benih. Biaya proporsi produksi tebu ini didapatkan dari wawancara dan data dari Badan Pusat Statistika.



Gambar 4.18 Sub model biaya produksi tebu

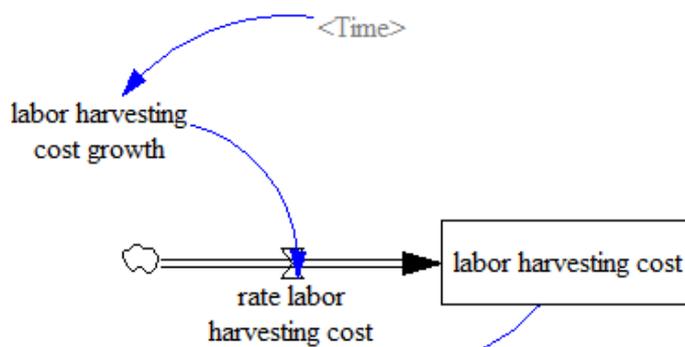
Biaya sewa lahan merupakan biaya yang paling tinggi dalam pembentukan biaya produksi tebu yang mencapai 37,7% dari total biaya produksi dan dilanjutkan biaya upah tenaga kerja mencapai 26.21% dari total biaya produksi yang dikeluarkan. Model biaya produksi tebu dapat dilihat pada gambar 4.18. Dari model tersebut berikut ini adalah grafik biaya produksi mulai tahun 2007 sampai 2016.



Gambar 4.19 grafik total biaya produksi

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa biaya produksi paling tinggi adalah pada tahun 2009 dan 2016. Kenaikan biaya produksi tebu pada tahun 2016 dipicu karena naiknya biaya upah tenaga kerja yang disebabkan naiknya biaya bahan bakar minyak pada tahun 2016. Selain biaya upah tenaga kerja, biaya pupuk benih dan operasional juga meningkat akibat kenaikan biaya bahan bakar tersebut.

Berikut ini adalah sub model biaya pekerja panen tebu yang digunakan untuk menghitung total biaya produksi. Variabel yang digunakan adalah *labor harvesting cost growth* dan *rate labor harvesting cost*.



Gambar 4.20 Sub Model Biaya Pekerja Panen Tebu

Tabel 4.6 Tabel Keterangan Variabel Labor Harvesting

<i>Labor harvesting cost growth</i>	Nilai dari selisih biaya pekerja (panen) dari tahun ke tahun dibagi dengan biaya tenaga kerja penanaman pada tahun pertama
<i>Rate labor harvesting</i>	<i>Labor harvesting cost x labor harvesting cost growth</i>
Labor harvesting cost	Biaya upah pekerja waktu panen dengan initial value : 43.807.955.700
Time	Periode waktu (tahun 2007 – 2016)

Berikut ini adalah tabel keterangan variabel dan data dari biaya tenaga kerja (*harvesting cost*).

Persamaan *Labor harvesting cost growth* :

$$\frac{\text{labor harvesting cost growth } (n) - \text{labor harvesting cost growth } (n - 1)}{n - 1}$$

Dimana *n* adalah tahun yang menggambarkan *labor harvesting cost growth*

Berikut ini adalah tabel biaya tenaga kerja dan hasil perhitungan yang digunakan dalam model meliputi biaya tenaga kerja untuk pemanenan, selisih biaya per tahun dan pertumbuhan biaya panen.

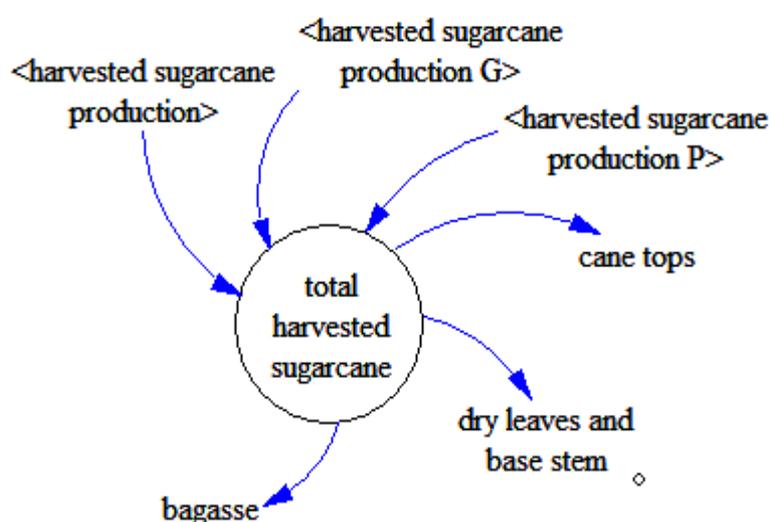
Tabel 4.7 Tabel Biaya Tenaga Kerja (*harvesting cost*)

Biaya Tenaga Kerja (<i>harvesting cost</i>)			
Tahun (<i>n</i>)	<i>Harvesting cost per year</i>	<i>Selisih harvesting cost per tahun</i>	<i>Labor harvesting cost growth</i>
2007	43807955700	392505000	0.008959674
2008	44200460700	31622216700	0.71542731
2009	75822677400	-15146089800	-0.199756726
2010	60676587600	-17202569400	-0.283512473
2011	43474018200	11816743200	0.271811617
2012	55290761400	-1279812900	-0.023146957
2013	54010948500	-3274149300	-0.060620104
2014	50736799200	-8562198600	-0.168757169
2015	42174600600	41656041900	0.987704479
2016	83830642500		

Sumber data : Analisis data

4.8. Sub Model Sisa Hasil Produksi Tebu

Dalam budidaya tanaman tebu, terdapat sisa hasil produksi tebu yang dihasilkan dari mulai masa tanam sampai masa panen. Limbah tersebut adalah daun tebu kering, pangkal tebu dan pucuk tebu. Setelah masa panen, daun tebu kering dan pangkal tebu biasanya ditunggu kering dan dibakar. Akibat dari pembakaran daun kering tersebut adalah degradasi kualitas udara, polusi udara dan hilangnya kandungan organik dari daun dan nutrisi yang terbakar (de Aquino et al., 2017) padahal sampah tersebut dapat dimanfaatkan dan mempunyai nilai ekonomis.



Gambar 4.21 Sub Model Sisa Hasil Produksi Tebu

Menurut (Ariningsih, 2014) sisa limbah tebu berupa *cane tops* atau pucuk daun memiliki bobot mencapai 15% dari total produksi tebu dan pangkal tebu memiliki bobot 2% dari tanaman tebu. Sedangkan menurut (Khuluq, n.d, 2014) pucuk daun mencapai 30% dan daun kering mencapai 10%.

4.9. Validasi Model

Hasil simulasi yang telah dilakukan akan divalidasi untuk memastikan bahwa model yang dibuat benar benar menggambarkan kondisi sistem nyata. Validasi model dilakukan dengan dua cara pengujian Yaman Barlas yaitu validasi model dengan statistik uji perbandingan rata rata atau *mean comparisson* dan

validasi model dengan uji perbandingan variasi amplitudo atau *% error variance*. Validasi dilakukan pada variabel *harvested sugarcane area*, *sugarcane land productivity* baik pada perkebunan rakyat, perkebunan besar nasional dan perkebunan besar swasta.

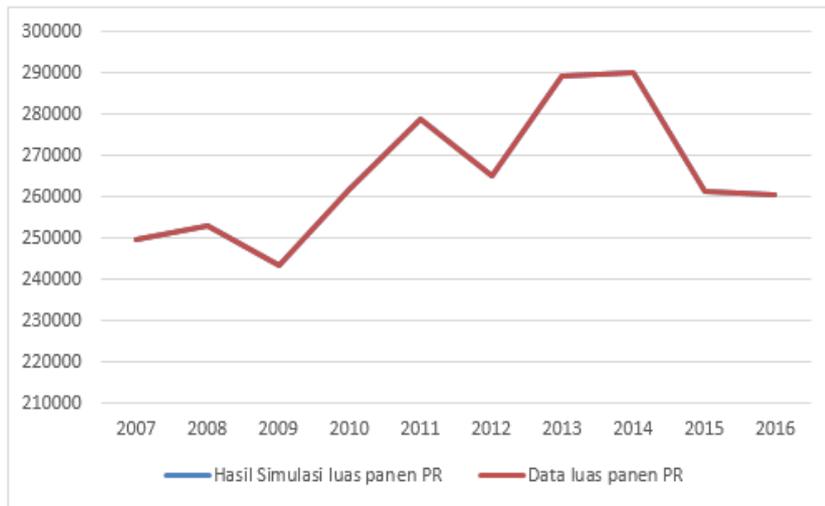
4.9.1. Validasi Model Luas Lahan

Validasi sub model luas lahan atau *harvested sugarcane area* pada simulasi yang dilakukan pada penelitian ini meliputi perbandingan data riil dan data hasil simulasi. E1 merupakan hasil perbandingan dari rata rata simulasi dan data riil, sedangkan E2 merupakan perbandingan standart deviasi dari data tersebut. Berikut ini adalah hasil validasi dari sub model luas lahan dari perkebunan rakyat (PR).

Tabel 4.8 Hasil Validasi Luas Lahan Perkebunan Rakyat

Tahun	Luas Lahan PR (simulasi)	Luas Lahan PR (data)
2007	249487	249487
2008	252783.0156	252783
2009	243219.1406	243219
2010	261665.1719	261665
2011	278698.1875	278698
2012	265233.0625	265233
2013	279279.125	289279
2014	289988.125	289988
2015	261476	261476
2016	260642.9375	260643
Mean	264247.1766	265247.1
Stdev	14595.14527	16013.166
E1		0.37%
E2		8.85%

Dari hasil validasi tersebut dapat diketahui bahwa nilai E1 kurang dari 5% dengan nilai 0.37% dan nilai validasi E2 kurang dari 30% dengan nilai 8.85% sehingga model dapat dikatakan valid. Berikut ini adalah grafik perbandingan hasil simulasi dan data asli dari variabel luas lahan perkebunan rakyat.



Gambar 4.22 Validasi luas panen perkebunan rakyat

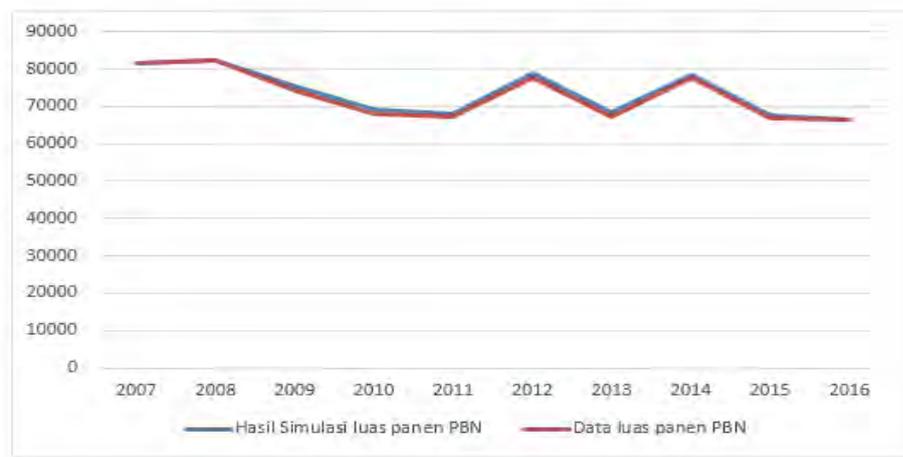
Berikut ini adalah hasil validasi dari luas lahan panen perkebunan besar negara (PBN).

Tabel 4.9 Hasil validasi luas lahan perkebunan besar negara

Tahun	Luas Lahan PBN (simulasi)	Luas Lahan PBN (data)
2007	81655	81655
2008	82222	82222
2009	74184.96875	74185
2010	68140.97656	68141
2011	67021.96875	67020
2012	77789.96875	77690
2013	67285.01781	67285
2014	77497.01781	77497
2015	66715.03125	66715
2016	66631.08906	66631
Mean	72914.30387	265247.172904.1
Stdev	6468.074057	6459.984235
E1		0.013%
E2		0.125%

Dari hasil validasi dapat disimpulkan bahwa hasil validasi E1 adalah 0.013% dimana hasil tersebut dapat dikatakan valid karena E1 kurang dari sama dengan 5%. Nilai E2 pada hasil validasi tersebut adalah 0.125% juga dinyatakan

valid karena nilai E2 kurang dari sama dengan 30%. Berikut ini adalah grafik perbandingan antara luas lahan panen PBN



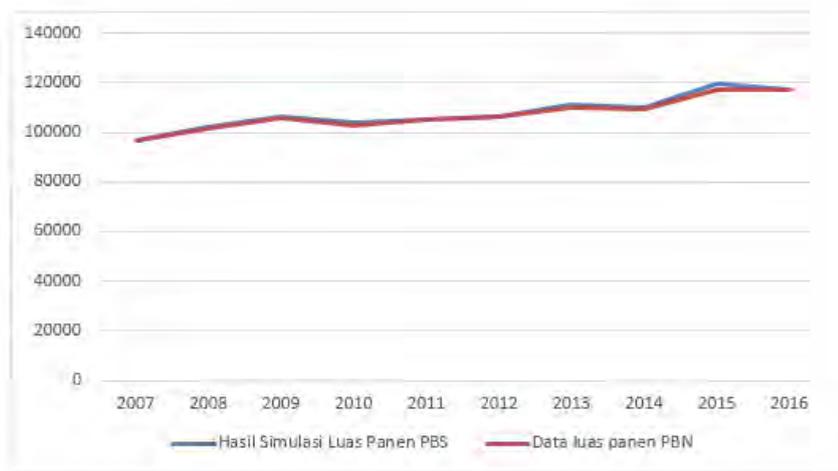
Gambar 4.23 validasi luas panen perkebunan besar negara

Berikut ini adalah hasil validasi dari luas lahan panen perkebunan besar swasta (PBS).

Tabel 4.10 hasil validasi luas lahan perkebunan besar swasta

Tahun	Luas Lahan PBS (simulasi)	Luas Lahan PBS (data)
2007	96657	96657
2008	101500.0156	101500
2009	105549.0234	105549
2010	102909.0313	102909
2011	105315.0938	105115
2012	106225.1016	106225
2013	110077.1016	110077
2014	109738.0938	109638
2015	117459.0938	117458
2016	116946.1016	116946
Mean	107237.5656	107207.4
Stdev	6533.90412	6536.331679
E1		0.028%
E2		0.037%

Dari hasil validasi tersebut dapat disimpulkan bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana hasil simulasi dapat dikatakan valid. Berikut ini adalah grafik hasil simulasi luas lahan PBS panen di Jawa.



Gambar 4.24 validasi luas lahan perkebunan besar swasta

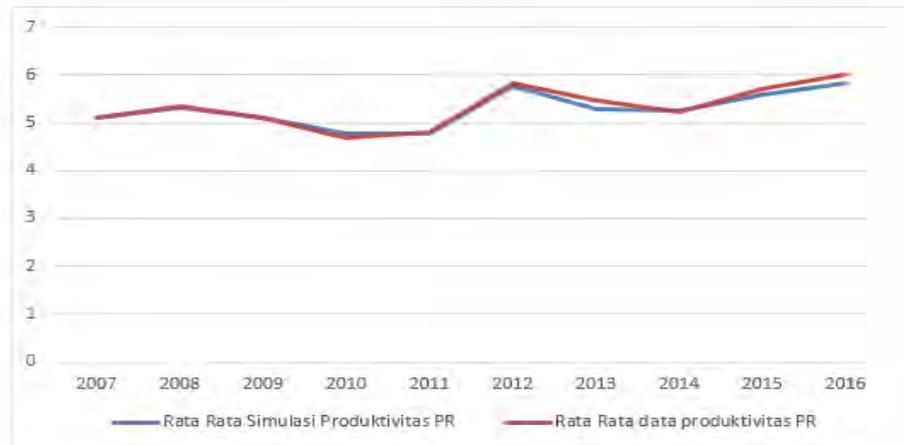
4.9.2. Validasi Model Produktivitas Lahan Panen

Berikut ini adalah hasil perbandingan rata rata simulasi produktivitas dan rata rata data pada perkebunan rakyat.

Tabel 4.11 Hasil validasi produktivitas tebu perkebunan rakyat

Tahun	Produktivitas Tebu PR (simulasi)	Produktivitas Tebu PR (data)
2007	5.12	5.12
2008	5.31312	5.36
2009	5.1179	5.12
2010	4.77189	4.69
2011	4.7663	4.81
2012	5.76632	5.82
2013	5.27646	5.47
2014	5.25033	5.23
2015	5.57664	5.72
2016	5.81594	6.01
Mean	5.27749	5.335
Stdev	0.363256989	0.428569974
E1		1.007%
E2		15.2%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik produktivitas untuk perkebunan rakyat (PR)



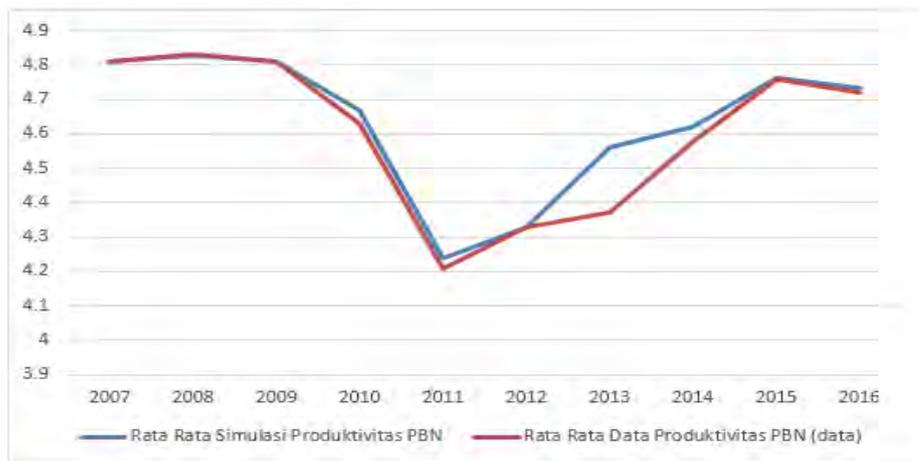
Gambar 4.25 validasi produktivitas perkebunan rakyat

Berikut ini adalah hasil perbandingan rata rata simulasi produktivitas dan rata rata data pada perkebunan besar nasional atau PBN.

Tabel 4.12 Hasil validasi produktivitas tebu perkebunan besar nasional

Tahun	Produktivitas Tebu PBN (simulasi)	Produktivitas Tebu PBN (data)
2007	4.81	4.81
2008	4.82584	4.83
2009	4.80998	4.81
2010	4.6674	4.63
2011	4.23812	4.21
2012	4.32961	4.33
2013	4.56038	4.37
2014	4.62232	4.58
2015	4.76302	4.76
2016	4.73142	4.72
Mean	4.635809	4.605
Stdev	0.205723053	0.226089953
E1		0.66%
E2		9%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik produktivitas untuk perkebunan besar negara (PBN). Berikut ini adalah grafik dari hasil validasi produktivitas pada PBN



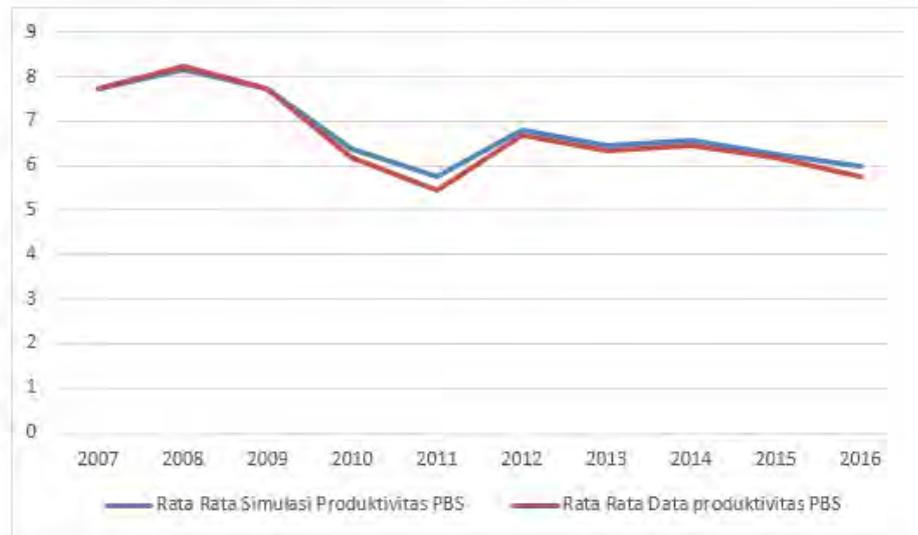
Gambar 4.26 validasi produktivitas PBN

Berikut ini adalah hasil perbandingan rata rata simulasi produktivitas PBS dan rata rata data

Tabel 4.13 Hasil validasi produktivitas tebu PBS

Tahun	Produktivitas Tebu PBS (simulasi)	Produktivitas Tebu PBS (data)
2007	7.72	7.72
2008	8.17264	8.24
2009	7.71575	7.72
2010	6.36653	6.17
2011	5.7716	5.46
2012	6.78449	6.7
2013	6.46121	6.32
2014	6.57906	6.46
2015	6.25085	6.19
2016	5.99871	5.77
Mean	6.782084	6.675
Stdev	0.810959425	0.918431634
E1		1.6 %
E2		11.7%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik produktivitas untuk perkebunan besar swasta (PBS). Berikut ini adalah grafik dari hasil validasi produktivitas pada PBS



Gambar 4.27 validasi produktivitas PBS

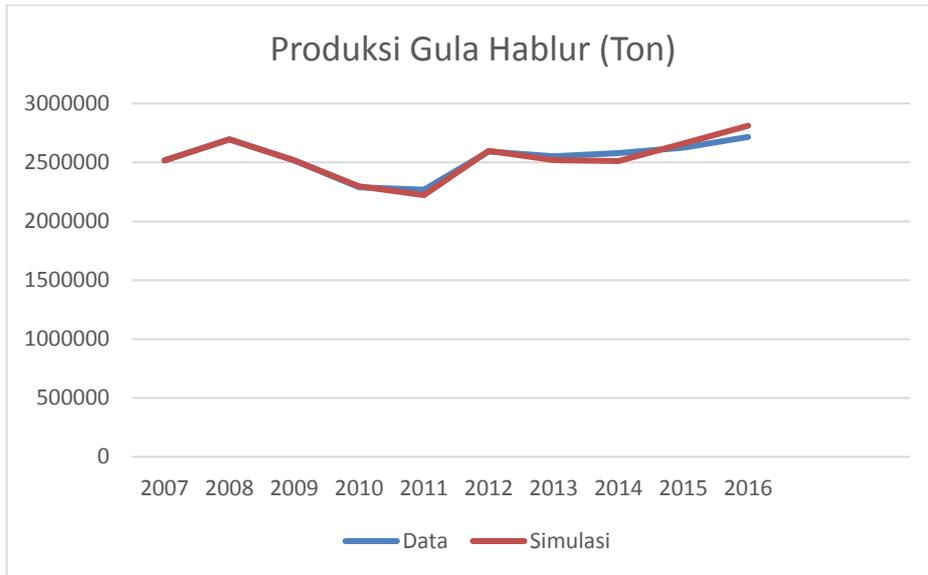
4.9.3. Validasi Model Produksi Gula Hablur

Berikut ini adalah perbandingan rata rata dan perbandingan standart deviasi dari produksi gula hablur dan rendemen tebu.

Tabel 4.14 Hasil validasi produksi gula hablur

Tahun	Produksi Gula (data)	Produksi Gula (simulasi)
2007	2517374	2517374
2008	2694227	2694227
2009	2517374	2515407
2010	2290116	2296270.5
2011	2267887	2222240.5
2012	2591687	2597727.5
2013	2551027	2518708
2014	2579173	2510157
2015	2623931	2661413
2016	2715883	2811230
Mean	2534867.9	2534475.45
Stdev	150311.107	175738.4196
E1		0,015 %
E2		16,91%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik produksi gula hablur.



Gambar 4.28 Validasi Produksi Gula Hablur

4.9.4. Validasi Model Biaya Produksi

Berikut ini adalah hasil validasi dari biaya produksi dengan membandingkan hasil rata rata dan standart deviasi biaya produksi hasil simulasi dengan data biaya produksi .

Tabel 4.15 Validasi Biaya produksi

Tahun	Biaya Produksi (data)	Biaya produksi (simulasi)
2007	1065887	1065887
2008	1075437	1075573.125
2009	1844834	1775867
2010	1476316	1443100.25
2011	1057762	1063821.5
2012	1345274	1328651
2013	1314135	1291972
2014	1234472	1216853

2015	1026146	1025199.813
2016	2039675	2019809.75
Mean	1347993.8	1330673.444
Stdev	349201.0927	333319.1757
E1		1,28 %
E2		4,54%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik validasi biaya produksi



Gambar 4.29 Validasi biaya produksi

4.9.5. Validasi Model Rendemen Tebu

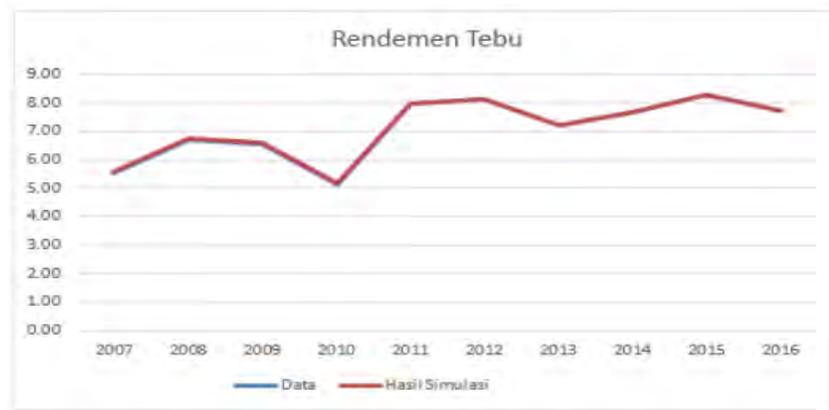
Berikut ini adalah hasil validasi dari rendemen tebu dengan membandingkan hasil rata rata dan standart deviasi rendemen tebu dam hasil simulasi dengan data rendemen tebu

Tabel 4.16 Validasi rendemen tebu

Tahun	Rendemen Tebu (data)	Rendemen Tebu (simulasi)
2007	5.54	5.55923
2008	6.71	6.76132
2009	6.55	6.58778
2010	5.14	5.16691
2011	7.95	7.96353

2012	8.14	8.14227
2013	7.19	7.18742
2014	7.65	7.64673
2015	8.30	8.29818
2016	7.70	7.7
Mean	7.09	7.101337
Stdev	1.08724724	1.076108
E1		0.20 %
E2		1.02%

Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa E1 kurang dari sama dengan 5% dan E2 kurang dari sama dengan 30% dimana perbandingan hasil simulasi dan data dapat dinyatakan valid. Berikut ini adalah grafik hasil validasi rendemen tebu dapat dilihat pada gambar 4.30



Gambar 4.30 Grafik hasil validasi Rendemen Tebu

4.10. Evaluasi

Pada bab ini akan menjelaskan mengenai evaluasi kondisi saat ini yang sudah digambarkan pada model. Penurunan luas lahan terjadi pada tahun 2014 sampai tahun 2016 sebesar 3.69% per tahun. Perluasan lahan harus tetap dicanangkan karena untuk mengantisipasi kebutuhan pangan yang setiap tahun meningkat mengingat gula menjadi kebutuhan terbesar kedua setelah beras. Selain itu produktivitas tebu perlu ditingkatkan karena adanya anomali perubahan iklim menyebabkan sawah gagal panen atau terkserang hama dan penyakit. Produktivitas juga sangat berpengaruh terhadap produksi gula sebagai bahan pokok tebu,

produktivitas dari tahun 2007 sampai dengan 2016 mempunyai rata rata nilai 5,5 ton/ha. Produktivitas paling tinggi adalah pada PBS dengan rata rata 6,4 ton/ha dan rata rata produktivitas pada PBN dan PR masih di bawah rata rata produktivitas nasional.

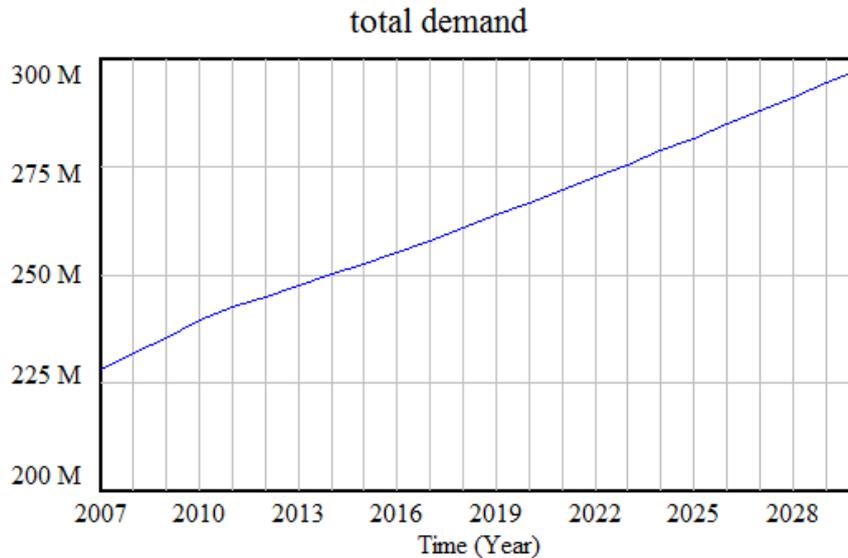
Dalam peraturan pemerintah kementerian pertanian mengenai budidaya tebu yang baik, salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas dan rendemen adalah dengan budidaya tebu dan pengolahan tebu yang baik. Dalam budidaya tebu salah satu faktor yang dapat meningkatkan produktivitas tebu adalah dengan intensifikasi tanaman meliputi penggunaan bibit unggul, menggunakan pupuk dosis tepat dan irigasi yang cukup. Selain hal tersebut, pengolahan sisa hasil produksi tebu juga harus dimanfaatkan maksimal agar bermanfaat.

Dalam hal pemanfaatan sisa produksi tebu, dalam peraturan pemerintah sudah dijelaskan bahwa salah satu faktor untuk kesuburan tanah pasca panen adalah dengan tidak membakar seresah tebu di lahan tebu karena mengurangi nutrisi organik dan dapat mencemari lingkungan. Menurut (Bhatnagar,2015) Industri gula menghadapi masalah lingkungan karena kurangnya solusi yang berkelanjutan terhadap pengelolaan limbah hasil produksi. Dalam penelitian tersebut juga disampaikan bahwa semua limbah tebu dari produksi sampai pengolahan dapat dimanfaatkan.

Dalam segi *on farm* daun tebu pucukan (*cane tops*) dapat dimanfaatkan untuk pakan ternak sapi, tetapi harus diolah dulu karena kandungan nutrisi dalam daun tebu masih rendah. Hal ini dapat diolah menjadi silase tebu sebagai bahan makanan ternak sapi. Selain itu daun tebu kering dan seresah tebu yang biasanya dibakar oleh petani sehingga menghasilkan lalat abu, merusak keanekaragaman mikroba dalam tanah dan dapat mencemari udara (de Aquino et al., 2017). Daun kering dan seresah tebu dapat dimanfaatkan menjadi limbah biomassa padat. Biomassa padat tersebut adalah biobriket sebagai bahan bakar ramah lingkungan, sehat karena minim asap dan dapat menjadi energi terbarukan mengingat energi bahan bakar fosil seiring waktu terus berkurang.

4.11. Pengembangan Skenario

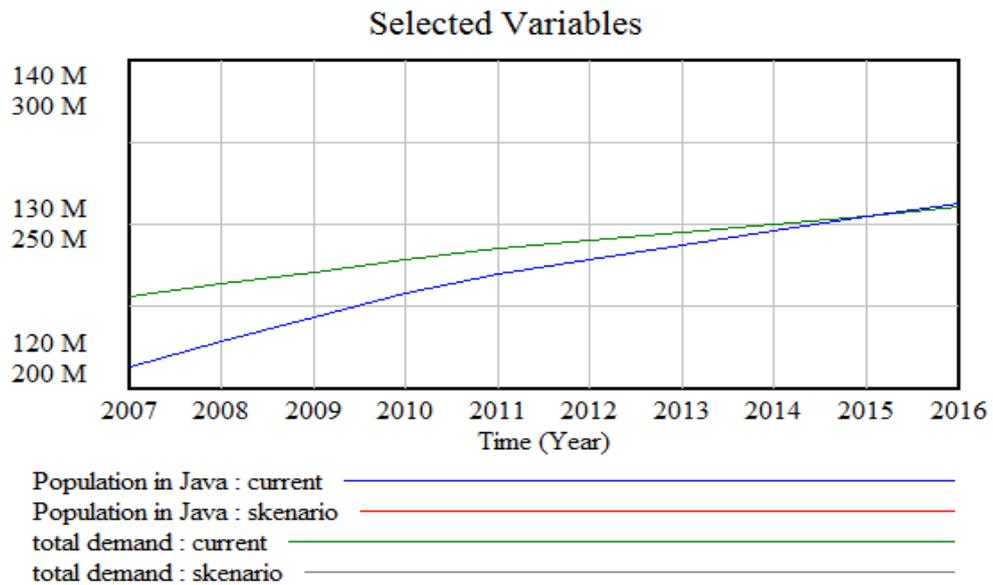
Pengembangan skenario dilakukan untuk melihat kemungkinan kemungkinan yang terjadi di masa depan dengan menambahkan parameter baru atau merubah struktur yang sudah ada. Berikut ini adalah grafik dari perkiraan permintaan gula yang sudah diperpanjang dari tahun 2007 sampai dengan 2030



Gambar 4.31 Grafik perkiraan permintaan gula

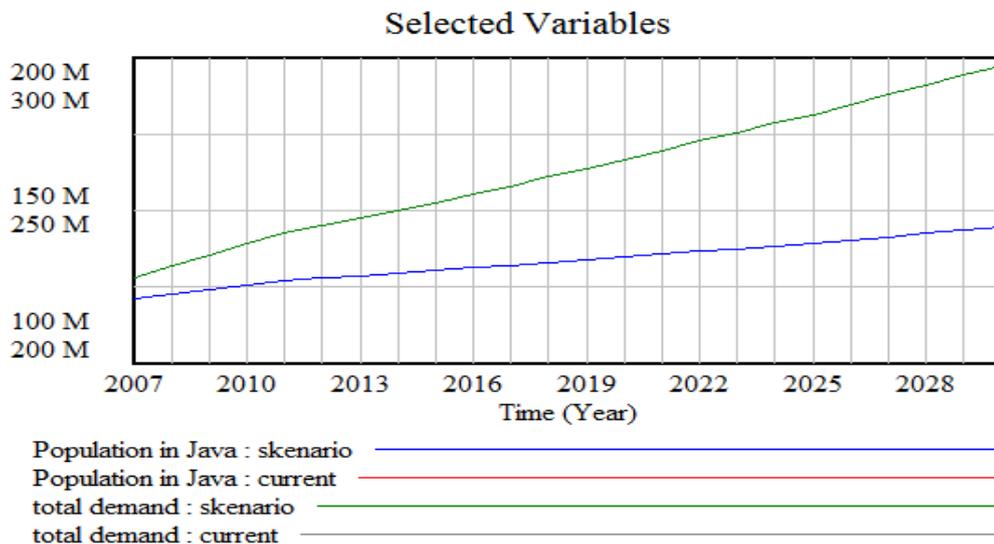
Dari gambar 4.31 dapat diketahui bahwa permintaan gula dari industri maupun kebutuhan konsumsi meningkat dari tahun 2007 sampai dengan tahun 2030. Hal tersebut diiringi dengan semakin tingginya jumlah penduduk di Indonesia dari tahun ke tahun sehingga mempengaruhi ketersediaan gula.

Berikut ini adalah grafik grafik permintaan gula dan populasi gula, dimana dari tahun 2007 sampai dengan 2016 mengalami peningkatan dimana populasi mengalami trend kenaikan.



Grafik 4.32 Pertumbuhan total demand dan populasi

Berikut ini adalah grafik perkiraan dari jumlah penduduk dan permintaan dimana dari tahun 2016 sampai dengan tahun 2018 mempunyai trend meningkat.



Gambar 4.33 Grafik perkiraan populasi dan permintaan gula

Dari grafik pada gambar 4.33 dapat diketahui bahwa perkiraan permintaan gula dan populasi mengalami peningkatan. Pertumbuhan penduduk rata rata meningkat 1% per tahun. Untuk permintaan gula nasional menggunakan persamaan matematis dari konsumsi gula langsung dan konsumsi gula tak langsung. Dari hasil perkiraan

menandakan bahwa perlu peningkatan produksi gula untuk memenuhi kebutuhan permintaan gula di Indonesia. Grafik pada gambar 4.33 perkiraan peningkatan produksi gula sekitar 21% dari skenario pesimistik dan skenario optimistik.

Peningkatan produksi gula dapat dilakukan dengan cara meningkatkan produksi tebu dengan penggunaan benih unggul yang mempunyai ketahanan terhadap hama. Selain menggunakan benih unggul, perluasan areal tanaman diharapkan juga dapat meningkatkan produktivitas lahan tebu yang dilakukan oleh petani. Karena hal tersebut maka dibuatlah skenario untuk meningkatkan produksi gula. Adapun skenario yang dikembangkan dalam model ini antara lain:

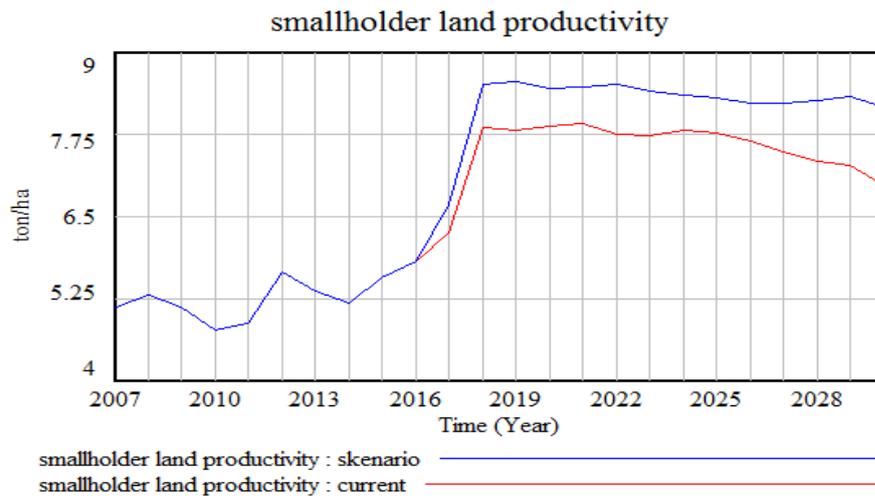
- a. Skenario intensifikasi lahan yaitu pengolahan lahan pertanian yang ada dengan sebaik baiknya untuk meningkatkan hasil produksi tebu yang meliputi pemakaian benih dan varietas unggul, pengolahan tanah yang baik, pengairan atau irigasi serta menggunakan pupuk sesuai dengan dosis.
- b. Skenario ekstensifikasi lahan yaitu perluasan lahan pertanian yang digunakan untuk meningkatkan luas area tanam tebu dan meningkatkan produksi tebu. Perluasan areal ini meliputi pemanfaatan lahan yang belum digunakan maksimal dan berpotensi untuk penanaman tebu.
- c. Skenario pemanfaatan sisa hasil produksi tebu yaitu pemanfaatan pucuk tebu (*tops cane*) menjadi pakan ternak yang difermentasi sehingga mempunyai nilai nutrisi yang lebih banyak
- d. Skenario pemanfaatan sisa hasil pengolahan tebu yaitu pemanfaatan daun tebu sebagai silase pakan ternak bernutrisi tinggi dan pemanfaatan daun kering sebagai briket biomassa (ekobriket).

4.11.1. Skenario Intensifikasi Lahan

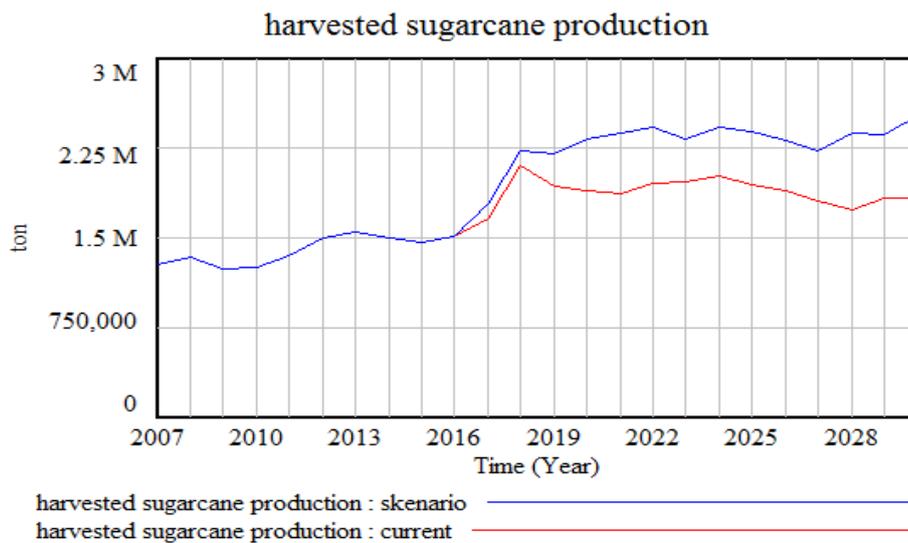
Intensifikasi lahan pertanian dapat dilakukan untuk pertanaman yang telah ada dengan cara memaksimalkan faktor faktor yang mempengaruhi produksi tebu. Skenario Intensifikasi lahan merupakan skenario parameter dimana parameter yang diubah adalah parameter *improved cane seed* untuk penggunaan benih yang unggul dan terbaru. Dengan penggunaan benih unggul baru maka produktivitas tebu juga akan meningkat.

a. Simulasi produktivitas tebu pada perkebunan rakyat

Dengan menggunakan benih unggul, produktivitas tebu rakyat meningkat kurang lebih 20% dari rata rata 5,5 ton/ha mencapai 7 ton/ha dari tahun 2017 sampai dengan 2030. Grafik dari produktivitas tebu pada perkebunan rakyat dapat dilihat pada Gambar 4.15 dan Grafik hasil produksi dapat dilihat pada Gambar 4.16.



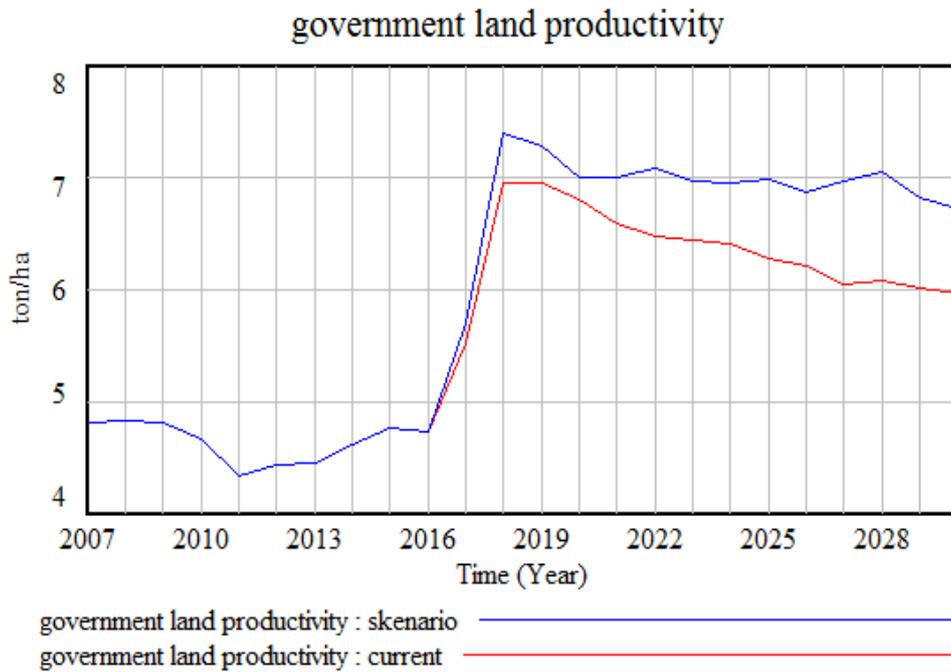
Gambar 4.34 hasil skenario produktivitas PR



Gambar 4.35 hasil skenario hasil produksi tebu area PR

b. Simulasi produktivitas tebu pada perkebunan besar nasional

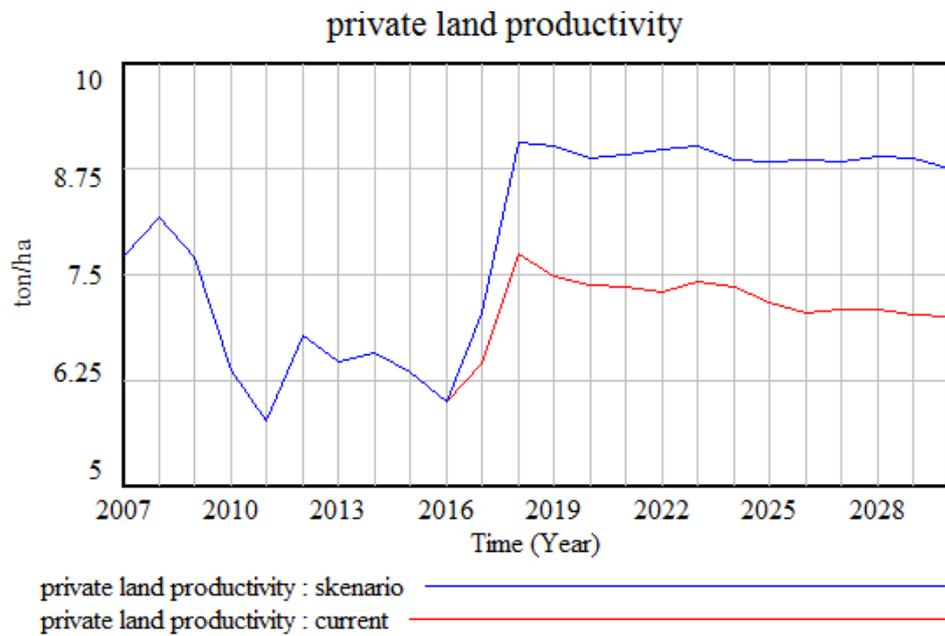
Dengan menggunakan benih unggul, produktivitas tebu nasional meningkat kurang lebih 20% dari rata rata 6,4 ton/ha mencapai 7 ton/ha dari tahun 2017 sampai dengan 2030. Berikut ini adalah grafik dari produktivitas tebu pada perkebunan nasional.



Gambar 4.36 hasil skenario produktivitas lahan PBN

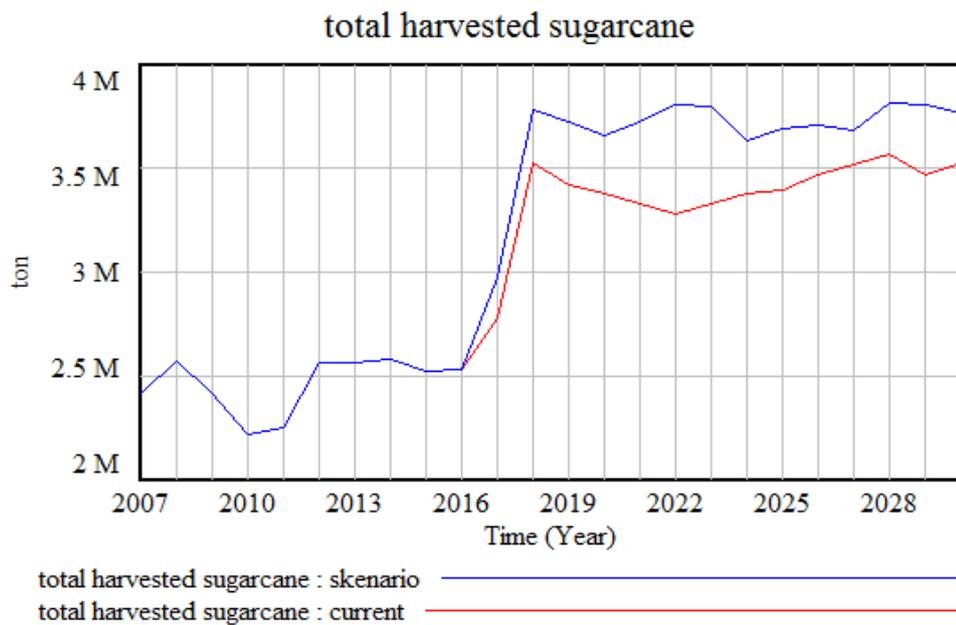
c. Simulasi produktivitas tebu pada perkebunan besar Swasta

Dengan menggunakan benih unggul, produktivitas tebu nasional meningkat kurang lebih 20% dari rata rata 6,4 ton/ha mencapai 7 ton/ha dari tahun 2017 sampai dengan 2030. Berikut ini adalah grafik dari produktivitas tebu pada perkebunan swasta

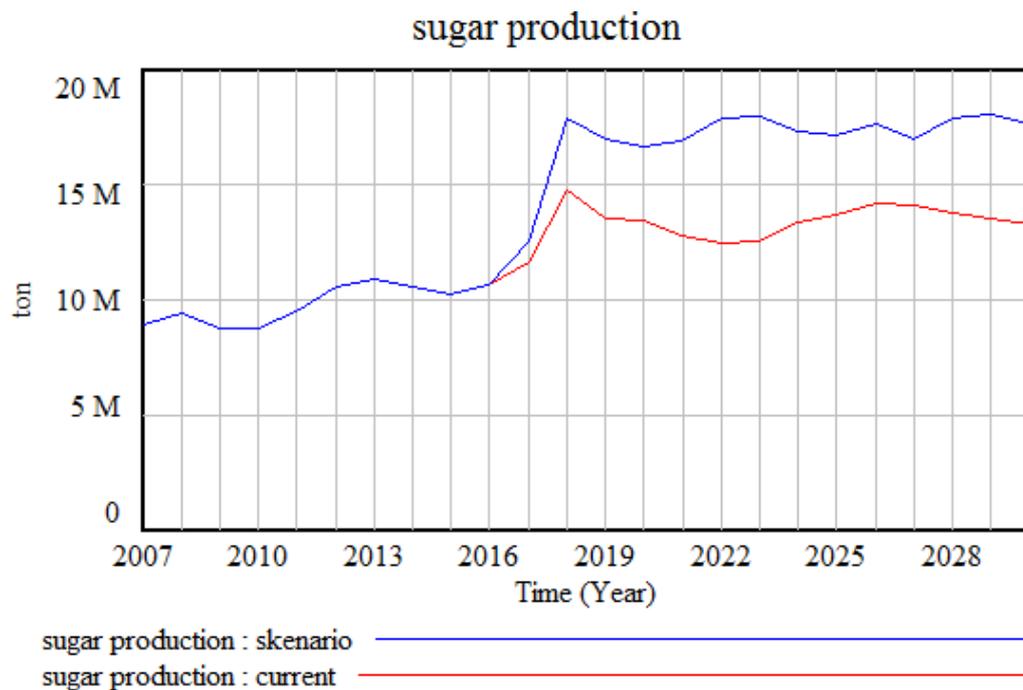


Gambar 4.37 skenario produktivitas lahan PBS

Peningkatan produktivitas lahan pada perkebunan besar swasta merupakan peningkatan yang paling signifikan dibandingkan dengan perkebunan rakyat dan perkebunan besar nasional.



Gambar 4.38 Skenario hasil panen tebu

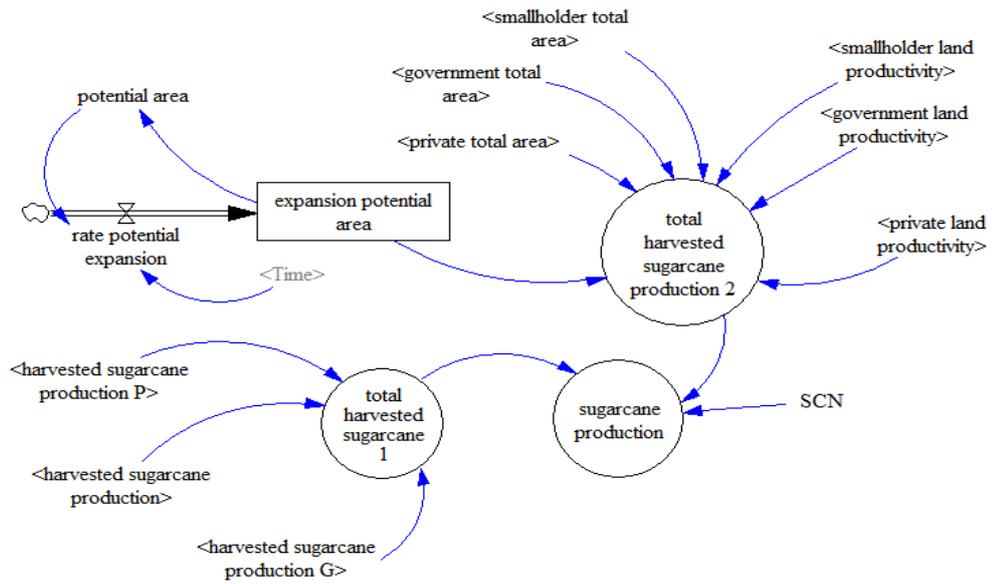


Gambar 4.39 hasil skenario produksi gula

4.11.2. Skenario Ekstensifikasi Lahan

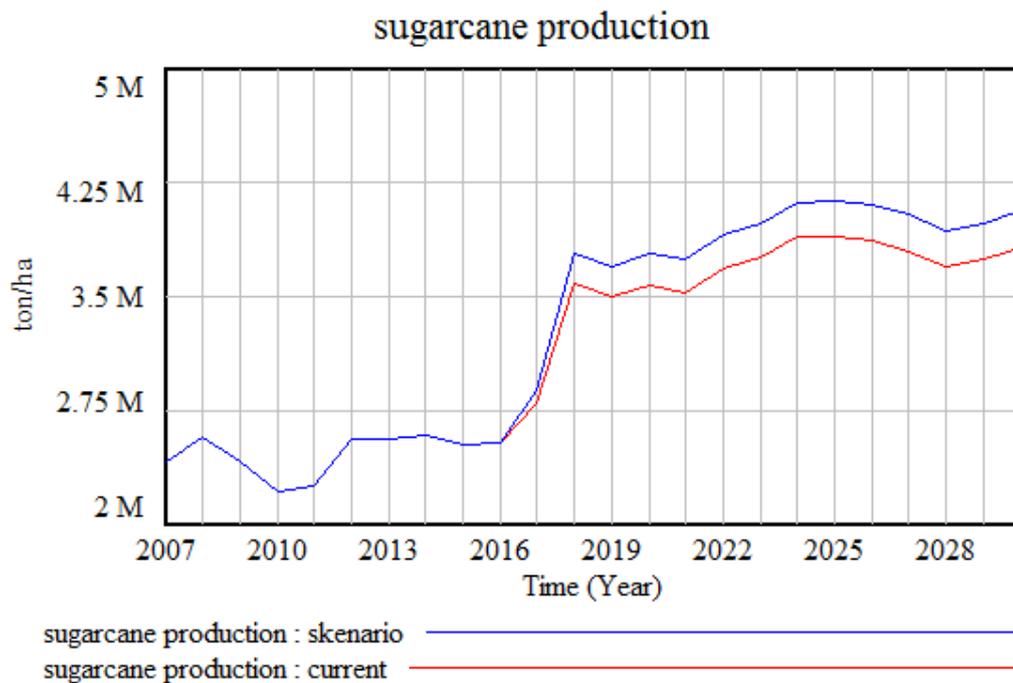
Dalam skenario ekstensifikasi lahan, ekspansi atau perluasan lahan sangat mempengaruhi hasil produksi tebu di Indonesia. Menurut (Subiyono,2016) selaku direktur utama PT Perkebunan Nusantara X menjelaskan bahwa potensi perluasan lahan areal tebu di Madura mencapai 124.000 ha dan pada tahun 2016 masih tergarap 1000 ha. Potensi perluasan lahan tersebut sudah dikaji oleh Pusat Penelitian Perkebunan Gula Indonesia (P3GI) dan dari aspek suhu, temperatur, tekstur tanah dan ph tanah cukup cocok untuk budidaya tebu.

Dengan perluasan lahan di Madura diharapkan dapat mendongkrak hasil produksi tebu sebagai bahan baku gula untuk menuju swasembada gula pada tahun berikutnya. Model skenario ekstensifikasi lahan dapat dilihat pada gambar 4.40



Gambar 4.40 Model skenario Ektensifikasi Lahan

Berikut ini adalah grafik hasil skenario perluasan lahan



Gambar 4.41 Grafik hasil skenario perluasan lahan

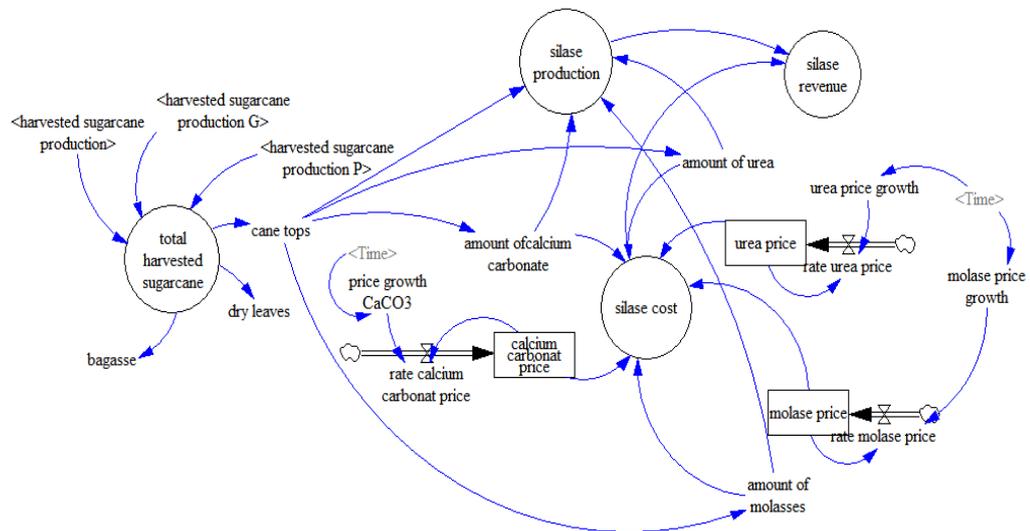
Dari gambar 4.41 dapat dijelaskan bahwa dengan perluasan area tebu 1000ha/tahun dapat meningkatkan produksi tebu 5% per tahun. Hal ini sangat membantu dalam mencukupi kebutuhan gula sebagai bahan pokok kedua setelah beras di Indonesia.

4.11.3. Skenario Pengolahan Sisa Hasil Produksi

a. Silase

Silase merupakan produk samping dari pucuk daun (*cane tops*). Pucuk daun tebu biasanya diberikan kepada ternak dalam keadaan segar padahal kandungan nutrisi pucuk daun belum memenuhi standart pakan (Khuluq, n.d,2012).

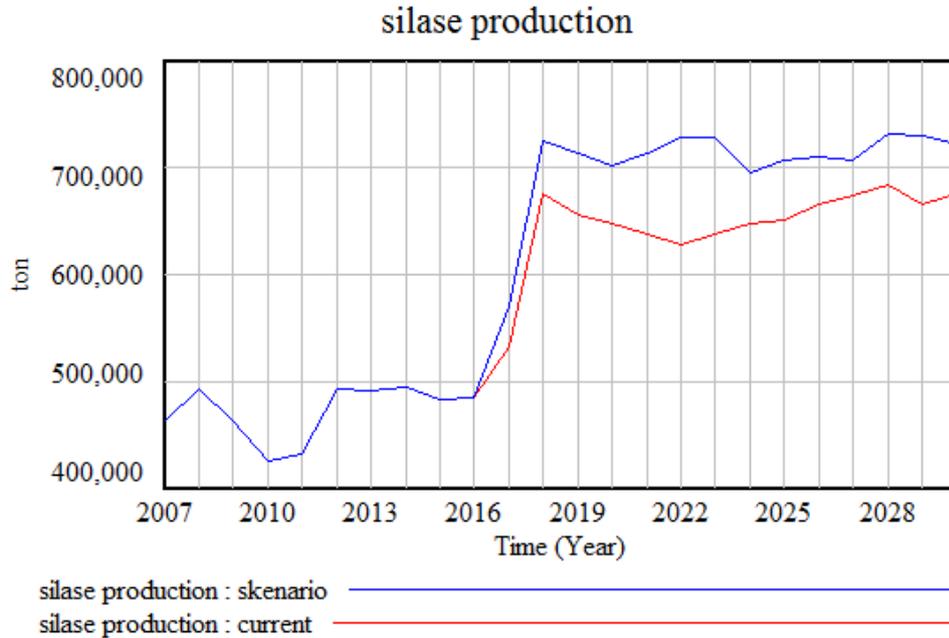
Silase merupakan pakan hasil fermentasi dengan kadar air tinggi yang diberikan kepada hewan ternak ruminansia atau dapat dijadikan biofuel. Bakteri yang berperan dapat memberikan nutrisi yang lebih untuk hewan ruminansia. Selain sebagai pakan hewan ternak ruminansia, silase dapat diolah menjadi biofuel



Gambar 4.42 sub model pemanfaatan tops leaves menjadi silase

Rata rata hasil pengolahan sisa panen tebu berupa silase mencapai 610.850 ton/ha per tahun apabila digunakan sebagai pakan ternak dapat menggantikan dan

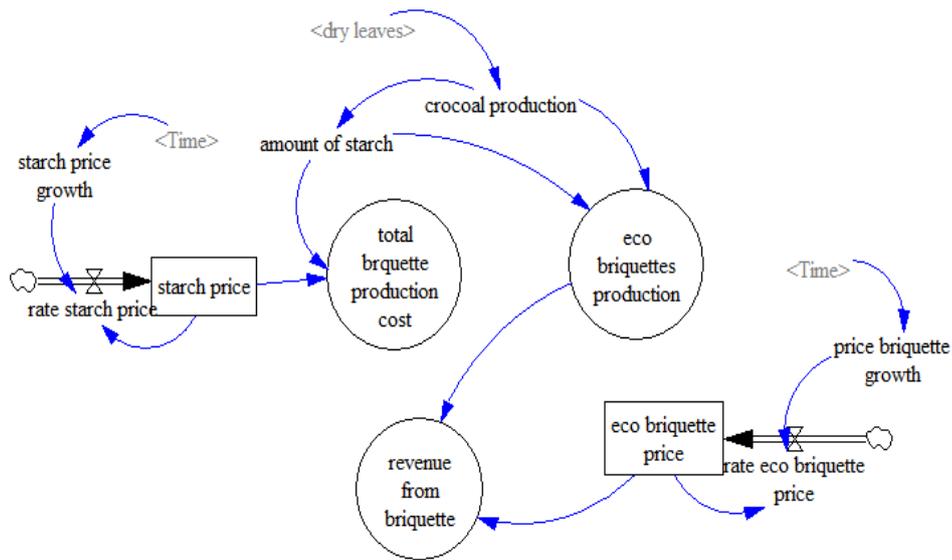
memenuhi kebutuhan pakan ternak apabila musim kemarau. Selain itu silase juga dapat meningkatkan nilai nutrisi dan daya cerna hewan ternak.



Gambar 4.43 hasil produksi silasi

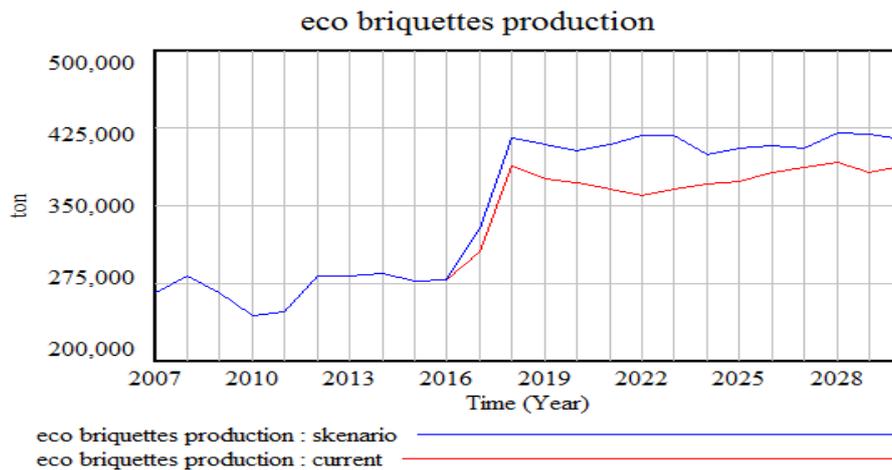
b. Biobriket

Pemanfaatan sisa produksi tebu harus diperlakukan dengan tepat dengan pemanfaatan bahan organik dan mengembalikan sisa tanaman ke dalam tanah salah satunya adalah tidak membakar seresah tebu (Bhatnagar et al., 2016). Seresah tebu dan pangkal tebu yang biasanya dibiarkan kering dan dibakar di udara terbuka dapat menyebabkan polusi udara dan mempengaruhi kesehatan manusia. Salah satu pemanfaatan daun tebu kering adalah dengan membuat menjadi biobriket atau blok bahan bakar yang dapat digunakan sebagai bahan bakar untuk mempertahankan nyala api sebagai energi alternatif dari bahan organik.



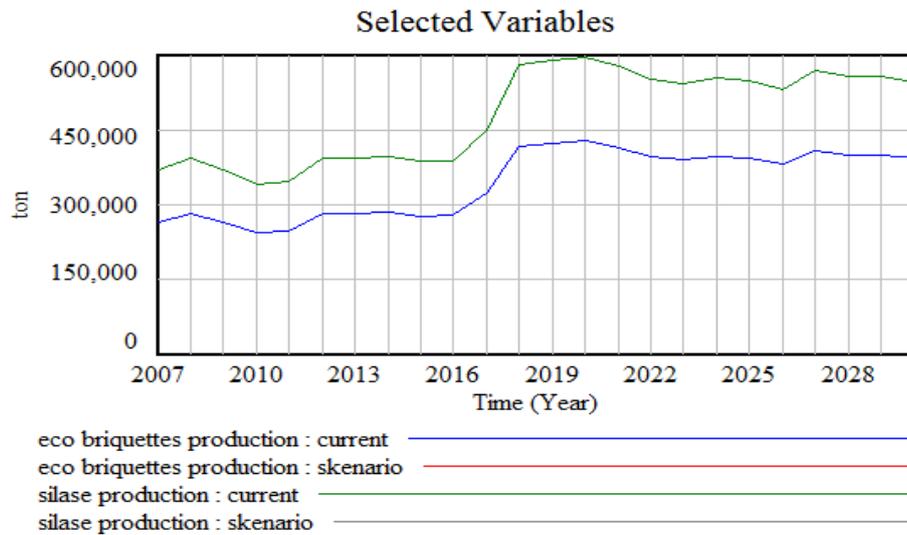
Gambar 4.44 Model skenario pemanfaatan limbah daun tebu kering menjadi briket

Dengan pengolahan bio briket yang baik dan sesuai dengan SNI, biobriket dapat memberikan kontribusi yang signifikan terhadap management sampah khususnya dalam pertanian tebu dan meningkatkan ketahanan energi. Hasil produksi biobriket dapat dilihat pada Gambar 4.46



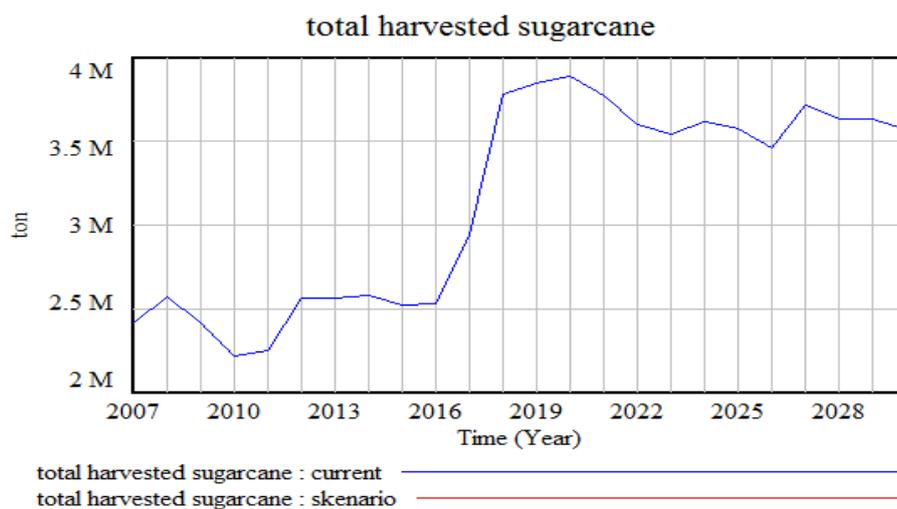
Gambar 4.45 hasil produksi biobriket

Berikut ini adalah grafik hasil produksi silase dan biobriket dimana hasil dari kedua sisa pengolahan hasil produksi tebu.



Gambar 4.46 Grafik Hasil produksi silase dan ekobiobriket

Dari gambar 4.46 dapat diketahui bahwa hasil produksi silase yang digunakan sebagai pakan ternak memiliki trend yang sama dengan hasil produksi biobriket, tetapi hasil produksi silase lebih tinggi dibandingkan dengan hasil biobriket. Hal ini disebabkan karena kedua produk ini mengikuti trend dari hasil tebu yang dipanen, karena cane tops atau pucuk daun yang digunakan dalam pembuatan silase memiliki berat 20 persen dari berat tebu yang dipanen, dan ditambahkan dengan bahan campuran yang lainnya.



Gambar 4.47 Grafik total hasil panen tebu

Dari gambar 4.46 dan gambar 4.47 dapat dilihat bahwa produksi silase dan produksi biobriket mengikuti tren skenario dari variabel total harvested sugarcane karena pucuk daun atau *cane tops* dan daun kering yang digunakan sebagai silase merupakan prosentase dari tebu yang dipanen, hanya saja presentase yang digunakan berbeda. Berikut ini adalah persamaan yang digunakan dalam mendapatkan nilai silase atau pakan ternak sapi.

Persamaan silase :

$$(amount\ of\ molasses + amount\ of\ urea + amount\ of\ calcium\ carbonate + cane\ tops) - 0.1 * (amount\ of\ molasses + amount\ of\ urea + amount\ of\ calcium\ carbonate + cane\ tops)$$

Keterangan

- *Amount of molasses* = kadar molase yang digunakan dalam campuran silase yaitu 0.01 atau 0,1% dari cane tops
- *Amount of urea* = kadar urea yang digunakan dalam campuran silase yaitu 0,05 atau 5% dari berat cane tops
- *Amount Caco3* = kadar CaCo3 yang digunakan dalam campuran silase yaitu 0,005 atau 0,5% dari berat cane tops

4.11.4. Analisis Perhitungan Produktivitas Tebu

Dari definisi mengenai produktivitas yang sudah disampaikan pada bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa produktivitas tebu merupakan wujud dari semua faktor baik lahan maupun non lahan yang berpengaruh terhadap hasil tanaman tebu. Adapun faktor tersebut adalah masukan berupa sistem pengelolaan, keluaran atau hasil tanaman dan media yaitu tanah (luas lahan), maka produktivitas tebu merupakan pembagian dari nilai dari output (berupa hasil produksi tebu) dan input produksi berupa media tanah.

$$\text{Produktivitas Tebu} = \frac{\text{Jumlah Produksi (ton)}}{\text{Luas lahan (ha)}}$$

Berikut ini adalah variabel yang mempengaruhi produktivitas dimana masing masing variabel dapat berpengaruh positif dan berpengaruh negatif terhadap produksi tebu.

Tabel 4.17 Variabel yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu

variabel	Keterangan
Pupuk	Dosis penggunaan Nitrogen Dosis penggunaan Phospor Dosis penggunaan Kalium Pupuk organik
Curah Hujan	Pengaruh rata rata curah hujan per tahun
Temperature	Pengaruh rata rata temperatur per tahun
irigasi	Perhitungan kebutuhan air dan ketersediaan air per hektar
Pestisida	Penggunaan pestisida per hektar
Hama dan penyakit	Pengaruh hama dan penyakit terhadap penurunan produktivitas
Benih	Penggunaan benih unggul per hektar

Sumber : Hasil analisis

Pengembangan model produktivitas lahan dan skenario meningkatkan produktivitas lahan dapat dilihat pada bab 4 tentang pengembangan skenario intensifikasi dan ekstensifikasi untuk meningkatkan produktivitas lahan. Berikut ini adalah variabel yang digunakan dalam pengembangan model dalam vensim :

$$\text{Sugarcane productivity} = (\text{initial value}) + (\text{increasing sugarcane productivity}) - (\text{decreasing productivity})$$

Increasing productivity = prosentase pengaruh penggunaan pupuk, irigasi, kualitas benih, jumlah curah hujan, rata rata temperatur terhadap hasil produktivitas tebu.

Decreasing productivity = prosentase pengaruh serangan hama dan penyakit terhadap penurunan produktivitas tebu

a. *Increasing sugarcane productivity*

1. Pengaruh penggunaan benih unggul

Pengaruh bibit unggul terhadap produksi tebu dan produksi gula menurut fermentan adalah apabila menggunakan benih unggul yang tahan akan hama dan penyakit akibat anomali cuaca yang tidak menentu. akan mengurangi produksi mencapai 30%, berikut ini tabel pengaruh bibit unggul terhadap pertumbuhan

produksi, nilai kenaikan ke bibit unggul sebesar 7%. Nilai ini diperoleh dari Dewan Gula Indonesia.

Tabel 4.18 Pengaruh benih unggul terhadap peningkatan produktivitas

Tahun	Pertumbuhan produksi (BM)	Pertumbuhan produksi (SCN)
2016	0.0872	0.0872
2017	0.10678	0.20678
2018	0.11177	0.21177
2019	0.03014	0.13014
2020	0.10568	0.20568
2021	0.06684	0.16684
2022	-0.00885	0.09115
2023	-0.0448	-0.06972
2024	0.13918	-0.0521
2025	-0.00146	0.09854
2026	0.04877	0.14876
2027	-0.04137	0.05863
2028	0.03899	0.13899
2029	-0.0471	0.0529
2030	0.0808	0.1808

2. Pengaruh penggunaan pupuk

Pengaruh penggunaan pupuk baik organik maupun anorganik sangat berpengaruh terhadap produksi tebu sebagai bahan baku gula. Penggunaan pupuk sesuai takaran dan kebutuhan unsur hara tanah harus mengikuti dosis yang ditentukan oleh Kementerian Pertanian Komuditas Budidaya Tebu.

Tabel 4.19 Takaran penggunaan pupuk

	Sangat Sesuai	Sesuai	Marginal
N	>1.5%	0.75-1.5%	<0.75%
P	75	25-75	<75
K	>150	75-100	<75

Sumber : Pedoman budidaya tebu, Kementerian Pertanian

Berikut ini adalah tabel perhitungan pertumbuhan produktivitas tebu yang dipengaruhi oleh penggunaan pupuk. Pupuk yang digunakan petani selama ini sudah sesuai dengan takaran penggunaan pupuk sehingga tidak dilakukan skenario perbaikan

Tabel 4.20 Pengaruh pupuk terhadap peningkatan produktivitas

Tahun	Pertumbuhan Produktivitas (BM)	Pertumbuhan produktivitas (SCN)	Kesesuaian
2016	0.02276	0.02276	2,2
2017	0.02471	0.02471	2,4
2018	0.02529	0.02529	2,5
2019	0.02795	0.02795	2,7
2020	0.02439	0.02439	2,4
2021	0.02422	0.02422	2,4
2022	0.02659	0.02659	2,6
2023	0.0245	0.0245	2,4
2024	0.02618	0.02618	2,6
2025	0.02472	0.02472	2,4
2026	0.02611	0.02611	2,6
2027	0.02388	0.02388	2,3
2028	0.02604	0.02604	2,6
2029	0.02456	0.02456	2,4
2030	0.02578	0.02578	2,5

3. Pengaruh curah hujan

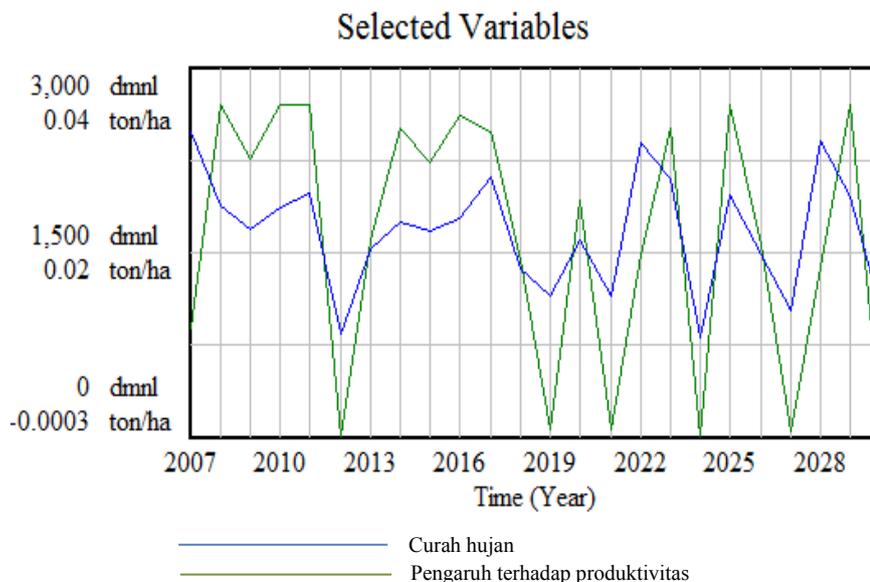
Curah hujan merupakan faktor yang penting dalam peningkatan produktivitas tebu karena dalam penanaman tebu dibutuhkan curah hujan yang sesuai. Curah hujan yang efektif untuk penanaman tebu adalah 1000-3000 mm per tahun dimana berikut ini adalah tabel yang menggambarkan cuaca dan peningkatan produktivitas yang sudah disimulasikan di vensim

Tabel 4.21 Tabel pengaruh curah hujan terhadap peningkatan produktivitas

Tahun	Perkiraan Rata Rata Curah hujan	Pengaruh terhadap produktivitas
2016	1776.64	0.3475
2017	2113.978	0.03296
2018	1366.873	0.01906
2019	1155.157	0.00064
2020	1603.86	0.02554
2021	1155.542	0.00064
2022	2392.504	0.01967
2023	2098.706	0.03337
2024	805.3879	-0.00024

2025	1975.017	0.036
2026	1491.011	0.02072
2027	1028.354	0.00032
2028	2408.608	0.01823
2029	1946.415	0.036
2030	1015.123	0.00029

Dan berikut ini adalah grafik dari curah hujan dan peningkatan terhadap produktivitas tebu.



Gambar 4.48 Grafik curah hujan terhadap pertumbuhan produktivitas

4. Pengaruh temperatur

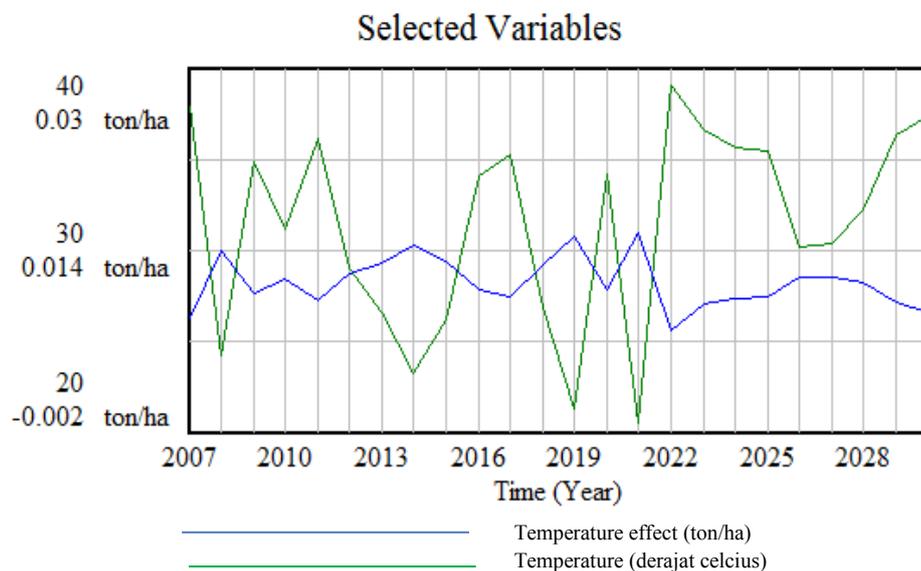
Tempertur merupakan faktor yang penting dalam peningkatan produktivitas tebu karena dalam penanaman tebu dibutuhkan temperatur yang sesuai. Temperatur yang efektif dalam penanaman tebu adalah 29 – 30 derajat celcius. Berikut ini adalah tabel temperatur terhadap peningkatan produktivitas.

Tabel 4.22 pengaruh temperatur terhadap peningkatan produktivitas tebu

Tahun	Perkiraan Temperature	Pengaruh terhadap produktivitas
2016	27.88	0.02056
2017	27.5116	0.02244
2018	29.18515	0.00907
2019	30.825	0.00005
2020	27.85284	0.02074
2021	31.02257	-0.00111
2022	25.56387	0.02859

2023	27.06378	0.02468
2024	27.38356	0.02308
2025	27.45202	0.02274
2026	28.5653	0.01435
2027	28.53221	0.01468
2028	28.24305	0.01757
2029	27.15892	0.01421
2030	26.63212	0.01592

Berikut ini adalah grafik temperatur terhadap peningkatan produktivitas tebu, apabila temperatur terlalu tinggi atau terlalu rendah maka pertumbuhan produktivitas juga akan menurun.



Gambar 4.49 Grafik temperatur tebu terhadap pertumbuhan produktivitas

5. Pengaruh Irigasi

Irigasi merupakan faktor yang penting dalam peningkatan produktivitas tebu, nilai irigasi diperoleh dari perbandingan air yang tersedia dan air yang dibutuhkan petani untuk bertanam tebu.

Tabel 4.23 Pengaruh Irigasi terhadap produktivitas tebu

Tahun	Pengaruh terhadap produktivitas	Pengaruh terhadap produktivitas
2016	0.65677	0.65677
2017	1.51836	1.51836
2018	0.50479	0.50479
2019	0.81184	0.81184
2020	0.55	0.55

2021	0.52472	0.52472
2022	0.69208	0.69208
2023	0.73213	0.73213
2024	0.5862	0.5862
2025	0.63724	0.63724
2026	1.01781	1.01781
2027	0.80401	0.80401
2028	1.01977	1.01977
2029	0.36044	0.36044
2030	0.48659	0.48659

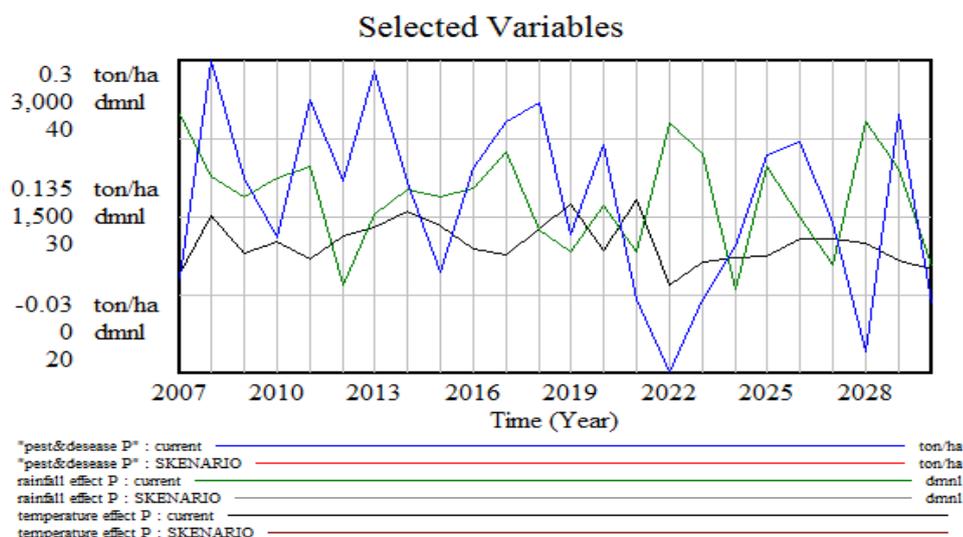
b. Decreasing sugarcane productivity

Decreasing sugarcane productivity adalah faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas tebu, faktor yang menurunkan produktivitas tebu dalam penelitian ini adalah serangan hama dan penyakit.

Tabel 4.24 pengaruh serangan hama terhadap produktivitas

Tahun	Pengaruh terhadap produktivitas (BM)	Pengaruh terhadap produktivitas (SCN)
2016	0.18566	0.18566
2017	0.23503	0.23503
2018	0.25555	0.25555
2019	0.11616	0.11616
2020	0.21032	0.21032
2021	0.04682	0.04682
2022	-0.02865	-0.02865
2023	0.04785	0.04785
2024	0.10362	0.10362
2025	0.19977	0.19977
2026	0.21426	0.21426
2027	0.12848	0.12848
2028	-0.00786	-0.00786
2029	0.24346	0.24346
2030	0.0422	0.0422

Berikut ini adalah grafik yang menggambarkan serangan hama dan penyakit terhadap cuaca. Apabila cuaca melebihi cuaca efektif maka serangan hama dan penyakit juga meningkat.



Gambar 4.50 Grafik serangan hama terhadap cuaca

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa serangan hama dan penyakit dipengaruhi oleh curah hujan, apabila curah hujan dan temperatur terlalu tinggi atau terlalu rendah maka akan menyebabkan tebu gampang terserang hama. Berikut ini adalah contoh perhitungan produktivitas yang dipengaruhi oleh semua faktor dalam penelitian ini.

Adapun persamaan produktivitas tebu yang digunakan dalam perhitungan menggunakan vensim adalah sebagai berikut :

$$\text{Sugarcane productivity} = (\text{increasing sugarcane productivity}) - (\text{decreasing productivity})$$

Tabel 4.25 contoh perhitungan peningkatan dan penurunan produktivitas tebu

Perhitungan produktivitas tebu tahun 2017			
Initial value	Produktivitas pada tahun 2016	5.99871	
Increasing	Pengaruh Benih	0.0872	
	Pengaruh Pupuk	0.2471	
	Pengaruh curah hujan	0.3475	
	Pengaruh temperature	0.02056	
	Pengaruh irigasi	0.656773	
	Pertumbuhan produktivitas tahun 2016	-0.5371	
decreasing	Pest and disease		0.18566

Sumber : Hasil analisis

Produktivitas pada tahun 2017 adalah :

Initial value + (pengaruh benih+pengaruh pupuk+pengaruh cuaca+pengaruh temperature+pengaruh irigasi + pertambahan produktivitas pada tahun 2016) – pengaruh serangan hama dan penyakit.

Produktivitas pada tahun 2017 adalah :

$$5.99871 + (0.0872 + 0.2471 + 0.3475 + 0.02056 \cdot 0.656773 + 0.054055 - 0.5371) - 0.18566$$

$$\text{Produktivitas tebu tahun 2017} = 5.99871 + 0.6424 - 0.18566$$

$$\text{Produktivitas tebu tahun 2017} = \mathbf{6.45549}$$

Dari perhitungan luas lahan dan hasil produksi yang didapatkan, produktivitas tebu mempengaruhi hasil dari produksi gula dimana produktivitas tebu dengan produksi gula hablur merupakan perbandingan antara jumlah produksi (ton) per jumlah luas lahan (ha). Berikut ini adalah produktivitas tebu setelah dilakukan perluasan lahan dan intensifikasi benih. Berikut ini adalah analisis hasil simulasi produksi tebu dan luas lahan tebu dengan persamaan berikut

$$\text{Produktivitas Tebu} = \frac{\text{Hasil Produksi gula hablur (ton)}}{\text{Luas Lahan}}$$

Dari persamaan tersebut maka dapat diketahui nilai produktivitas dan perkiraan produktivitas tebu tahun 2007 sampai dengan 2030.

Tabel 4.26 hasil simulasi luas lahan dan produktivitas tebu tahun 2007 sampai 2016

Tahun	Luas Lahan	Hasil produksi	produktivitas
2007	96657	746192.04	7.72
2008	101500.0156	829523.0877	8.17264
2009	105549.0234	814389.8776	7.71575
2010	102909.0313	655173.4347	6.36653
2011	105115.0938	606682.2751	5.7716
2012	106225.1016	720683.1393	6.78449
2013	110077.1016	711231.2694	6.46121
2014	109638.0938	721315.5971	6.57906
2015	117459.0938	745965.0855	6.35085
2016	116946.1016	701525.7489	5.99871

Sumber : PT.PTPN X diolah dengan vensim.

Dan berikut ini adalah tabel perkiraan produktivitas dari tahun 2016 sampai dengan 2030 setelah dilakukan skenario penggunaan benih dan perluasan lahan.

Tabel 4.27 hasil simulasi luas lahan dan produktivitas tebu tahun 2017 sampai 2030

Tahun	Luas Lahan (ha)	Hasil Produksi (ton)	Produktivitas (ton/ha)
2017	115097.7188	743012.1724	6.45549
2018	123005.3516	951790.8093	7.7378
2019	125891.1953	941046.7562	7.47508
2020	137447.9375	1017716.759	7.40438
2021	142102.8438	1043090.293	7.34039
2022	143389.9531	1044952.85	7.28749
2023	148141.2031	1097151.527	7.40612
2024	153372.6875	1127845.996	7.35363
2025	163645.7188	1214904.18	7.42399
2026	170106.8906	1249222.478	7.34375
2027	176854.2188	1282951.791	7.25429
2028	176459.25	1274214.009	7.22101
2029	174658.4688	1266153.384	7.24931
2030	182548.1875	1292713.164	7.08149

Dan berikut ini adalah perbandingan rata rata produktivitas setelah skenario dan sebelum skenario intensifikasi lahan dan ekstensifikasi lahan.

Tabel 4.28 Tabel Produktivitas Tebu Private Land

Tahun	Produktivitas (BM)	Produktivitas (SCN)	Peningkatan	Dalam persen (%)
2017	6.45549	6.95549	0.5	7.745345
2018	7.7378	8.7378	1	12.92357
2019	7.47508	8.47508	1	13.37778
2020	7.40438	8.40438	1	13.50552
2021	7.34039	8.34039	1	13.62325
2022	7.28749	8.28749	1	13.72215
2023	7.40612	8.40612	1	13.50235
2024	7.35363	8.35363	1	13.59873
2025	7.42399	8.27169	0.8477	11.41839
2026	7.34375	8.19145	0.8477	11.54315
2027	7.25429	8.102	0.84771	11.68564
2028	7.22101	8.06872	0.84771	11.73949
2029	7.24931	8.09702	0.84771	11.69366
2030	7.08149	7.9292	0.84771	11.97079

Sumber : Hasil analisis

Dari tabel tersebut dapat diketahui nilai produktivitas dari skenario pesimis dan skenario optimis meningkat sekitar 11% .Peningkatan produktivitas tebu juga akan mempengaruhi produksi gula. Gambar 4.33 merupakan grafik produktivitas lahan tebu terhadap hasil produksi gula dari skenario pesimis maupun skenario optimis dalam pengembangan model produktivitas tebu.

4.11.5. Analisis Hasil Produksi

Hasil analisis produksi ini didasarkan pada hasil produksi gula base model dan hasil produksi gula scenario, dimana dalam produksi gula SCN merupakan hasil dari skenario intensifikasi yaitu dengan menambahkan variabel benih unggul, dan mengurangi biaya produksi sehingga dengan biaya produksi yang sama akan menghasilkan produksi gula yang lebih maksimal. Berikut ini adalah perhitungan efisiensi produksi gula menggunakan nilai dari produksi gula base model dan scenario.

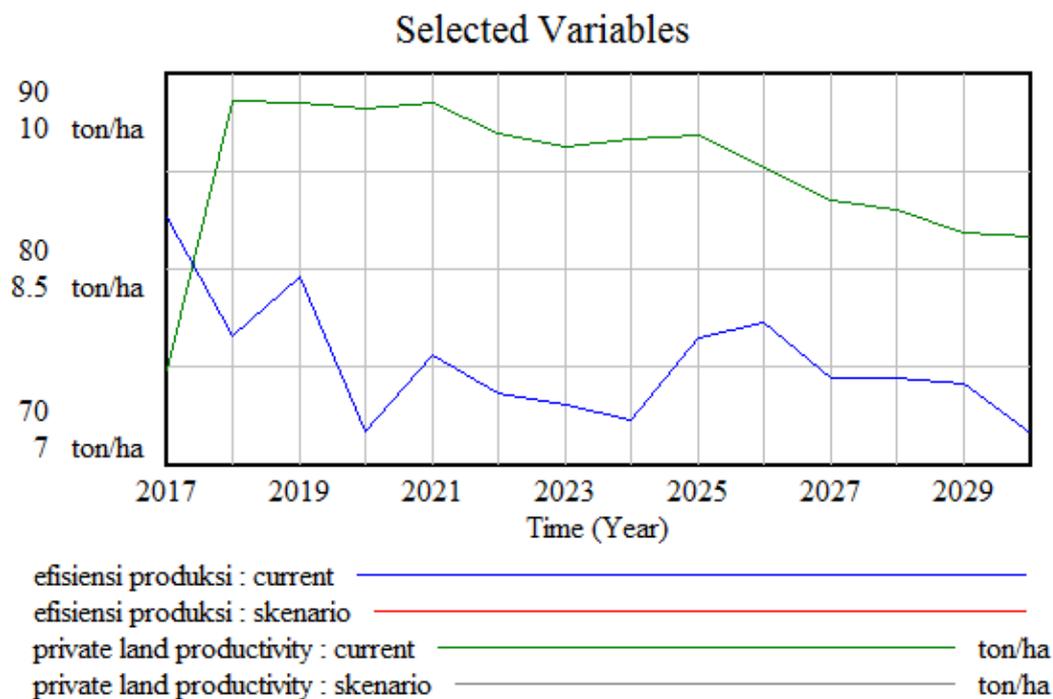
$$\text{Efisiensi produksi gula} = \frac{\text{Produksi Gula Base Model}}{\text{Produksi Gula SCN}} \times 100\%$$

Hasil dari rumus tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ini :

Tabel 4.29 Efisiensi Produksi Gula

Tahun	Produksi Gula dalam ton (BM)	Produksi Gula dalam ton (SCN)	Efisiensi (%)
2018	3135933	3266979	95.98878
2019	3196860	3226816	99.07165
2020	3106205	3563173	87.17526
2021	3094661	3538248	87.4631
2022	3097410	3793588	81.64854
2023	3026809	4063475	74.48819
2024	2976753	4056747	73.37784
2025	3049248	4150574	73.46571
2026	3263765	4135398	78.92263
2027	3296506	4314056	76.41314
2028	3391853	4416977	76.79129
2029	3484221	4415569	78.90763
2030	3529780	4736381	74.52484

Dari tabel 4.29 dapat diketahui bahwa pada tahun 2018 sampai dengan tahun 2030. Hasil produksi scenario meningkat dari tahun ke tahun dipengaruhi oleh nilai produktivitas, walaupun meningkat tidak signifikan dan belum memenuhi kebutuhan akan gula baik gula konsumsi maupun gula industri.

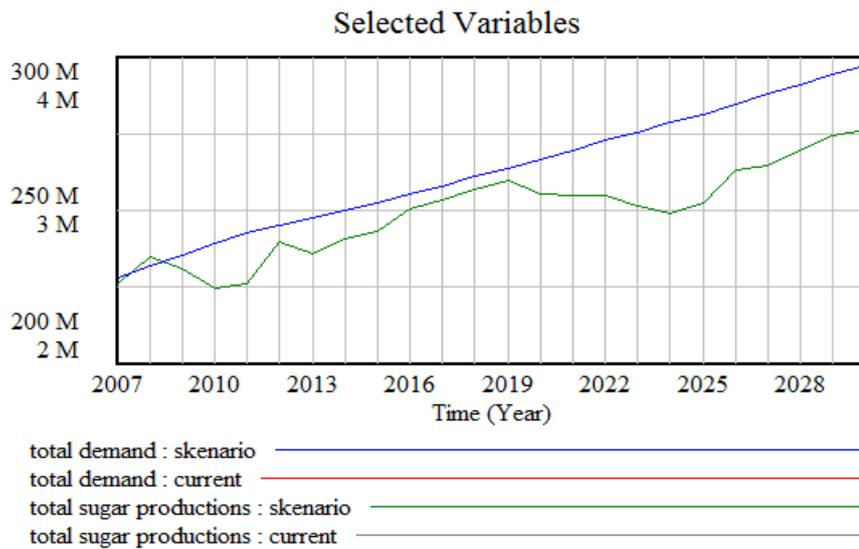


Gambar 4.51 Grafik efisiensi produksi dan produktivitas tebu

Pada tabel tersebut dapat diketahui bahwa efisiensi hasil produksi dari segi *on farm* yang berasal dari nilai produksi gula basemodel dan skenario mempunyai rata rata 83% dengan rata rata produktivitas 8,7 ton/ha dengan wujud produksi gula hابلur.

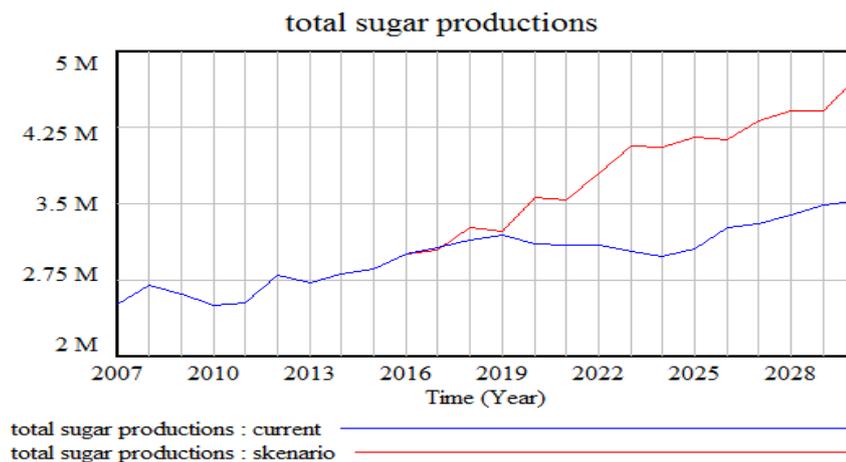
4.11.6. Analisis Permintaan Gula dan Hasil Produksi

Berikut ini adalah grafik perkiraan permintaan gula dan total produksi gula dari tahun 2007 sampai dengan 2030.



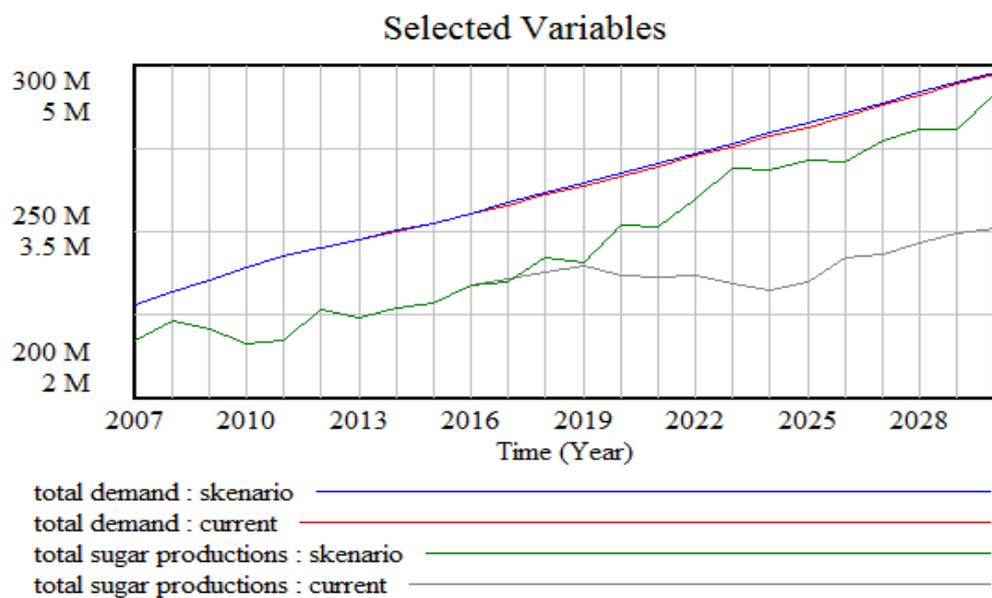
Gambar 4.52 Grafik perkiraan permintaan gula dan hasil produksi gula

Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa total produksi gula belum memenuhi permintaan gula di Indonesia, sempat terpenuhi pada tahun 2008 dimana disebabkan karena konsumsi per kapita penduduk mengalami penurunan. Berikut ini adalah grafik pemenuhan konsumsi gula setelah dilakukan skenario intensifikasi dan skenario ekstensifikasi.



Gambar 4.53 Grafik hasil skenario produksi gula

Setelah dilakukan skenario intensifikasi dan ekstensifikasi, produksi gula meningkat tetapi masih belum memenuhi permintaan gula dalam negeri. Hal ini harus ditingkatkan juga dalam segi pengolahan tebu pada pabrik gula agar produksi gula dapat maksimal.



Gambar 4.54 Grafik permintaan gula dan produksi gula.

Gambar 4.54 menjelaskan bahwa produksi gula belum memenuhi permintaan gula baik sebelum skenario maupun sesudah dilakukan skenario.

4.11.7. Simpulan Skenario

Dari beberapa skenario yang telah dikembangkan, penulis menyimpulkan beberapa skenario tersebut untuk memberikan gambaran lebih jelas seperti pada tabel

Tabel 4.30 Kesimpulan hasil skenario

Hasil Simulasi	Sebelum Skenario	Setelah Skenario
Hasil simulasi Produktivitas dengan skenario intensifikasi lahan (benih unggul)	Produktivitas tebu PR pada tahun 2007 sebesar 5,12 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 6.9 ton/ha. Hal ini mengalami	Produktivitas tebu PR pada tahun 2007 sebesar 5.12 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 8.17 ton/ha.
	Produktivitas tebu PBN pada tahun 2007 sebesar 4.81 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 5.9 ton/ha.	Produktivitas tebu PBN pada tahun 2007 sebesar 4.81 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 6.7 ton/ha.
	Produktivitas tebu PBN pada tahun 2007 sebesar 7.72 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 7.0 ton/ha.	Produktivitas tebu PBN pada tahun 2007 sebesar 7.72 ton/ha dan pada tahun 2030 sebesar 8.7 ton/ha.
	Total produksi gula pada tahun 2007 sebesar ton dan pada tahun 2030 sebesar 247,387.5 ton.	Total produksi gula pada tahun 2007 sebesar ton dan pada tahun 2030 sebesar 301,511.8 ton.
Total Produksi Tebu setelah skenario intensifikasi dan ekstensifikasi (ekspansi lahan)	Total produksi tebu dari semua area pada tahun 2007 sebesar 2416343 ton dan pada tahun 2030 sebesar 3,524,491 ton.	Total produksi tebu dari semua area pada tahun 2007 sebesar 2416343 ton dan pada tahun 2030 sebesar 4,095,915 ton.
Hasil skenario pemanfaatan sisa hasil panen berupa silase	Pada tahun 2007 dapat dihasilkan silase sebesar 463,209 ton dan pada tahun 2030	Pada tahun 2007 dapat dihasilkan silase sebesar 463,209 ton dan pada tahun 2030

(setelah intensifikasi dan ekstensifikasi)	dihasilkan silase sebesar 675,644 ton	dihasilkan silase sebesar 721,676 ton.
Hasil skenario pemanfaatan sisa hasil panen berupa biobriket (setelah intensifikasi dan ekstensifikasi)	Pada tahun 2007 dapat dihasilkan silase sebesar 265,795 ton dan pada tahun 2030 dihasilkan biobriket sebesar 387,694ton	Pada tahun 2007 dapat dihasilkan silase sebesar 265,795 ton dan pada tahun 2030 dihasilkan biobriket sebesar 414,107ton

Sumber: Hasil simulasi

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan membahas mengenai kesimpulan berdasarkan pengembangan model dan hasil dari model yang sudah dijelaskan pada bab sebelumnya. Bab ini juga akan menjabarkan saran-saran untuk penelitian selanjutnya untuk mengembangkan penelitian ini.

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam pengembangan model langkah awal yang harus dilakukan adalah memahami variabel-variabel apa saja yang berpengaruh signifikan, membuat model sesuai dengan keadaan riil, melakukan validasi dan membuat skenario untuk mencapai tujuan.
2. Luas lahan panen paling tinggi adalah perkebunan rakyat yang menyumbang pemenuhan produksi tebu hampir mencapai 60%, tetapi nilai produktivitas masih rendah dibandingkan perkebunan besar swasta sehingga produksi tebu di Pulau Jawa belum maksimal.
3. Dari skenario intensifikasi pada penggunaan bibit unggul, produktivitas tebu meningkat 1,03% per tahun dan produksi tebu juga meningkat pada perkebunan rakyat. Produksi tebu pada PBN meningkat dengan rata-rata 0,96% per tahun dan PBS meningkat dengan rata-rata 1,52% per tahun.
4. Skenario ekstensifikasi pada ekspansi lahan, produksi tebu meningkat rata-rata sebesar 14,10 % per tahun.
5. Dari skenario sisa pengolahan hasil panen menjadi silase dapat menghasilkan rata-rata 472,500 ton per tahun produk silase dari limbah daun tebu yang bernutrisi untuk pakan ternak, hal ini membantu para peternak sapi untuk mencukupi kebutuhan pakan ternak.
6. Dari skenario sisa pengolahan hasil panen menjadi biobriket dihasilkan rata-rata 271,126 ton per tahun dan dapat menjadi alternatif energi untuk bahan bakar.

5.2. Saran

Untuk keberlangsungan penelitian, maka perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai produktivitas tebu dan pemanfaatan limbah produksi tebu. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah dilakukan pengembangan skenario terkait ketersediaan air baik perbaikan irigasi maupun pembuatan wadah air ketika musim penghujan. Dari segi pemanfaatan limbah produksi tebu dapat dikembangkan skenario pupuk kompos dan bahan samping dari limbah tebu yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief Bintoro Dibyoseputro, M., 2012. Rancang bangun sistem dinamis pengambilan keputusan kompleks pengembangan agroindustri gula tebu.
- Ariningsih, E., 2014. Menuju Industri Tebu Bebas Limbah. Presented at the Jurnal Prosiding Seminar Nasional Hari Pangan Sedunia Ke-34: Pertanian-Bioindustri Berbasis Pangan Lokal Potensial.
- Barlas, Y., 1989. Multiple tests for validation of system dynamics type of simulation models. *Eur. J. Oper. Res.* 42, 59–87.
- Beruvides, M.G., Omachonu, V.K., Sumanth, D.J., 1988. A conceptual framework of work: The measurement of white-collar/knowledge productivity. Presented at the Productivity Management Frontiers II, Second International Conferences on Productivity Research, pp. 39–46.
- Bhatnagar, A., Kesari, K.K., Shurpali, N., 2016. Multidisciplinary approaches to handling wastes in sugar industries. *Water. Air. Soil Pollut.* 227, 11.
- Boehlje, M.D., Hofing, S.L., Schroeder, R.C., 1999. Value chains in the agricultural industries. *Staff Pap.* 99.
- de Aquino, G.S., de Conti Medina, C., Cunha, A.C.B., Kussaba, D.A.O., dos Santos Junior, J.H., Carvalho, J.B., Moreira, A., 2017. Development and production of sugarcane under different levels straw after four years of cultivation. *Semina Ciênc. Agrár.* 38, 2957–2966.
- Forbord, M., n.d. Efficiency and Effectiveness in Agricultural Related Activity Patterns 79.
- Indonesia, R., 2015. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 29. PRT/M/2015 Tentang Rawa.
- Kelton, W.D., 2000. Experimental design for simulation. Presented at the Simulation Conference, 2000. Proceedings. Winter, IEEE, pp. 32–38.

- Khuluq, A.D., n.d. Potensi Pemanfaatan Limbah Tebu sebagai Pakan Fermentasi Probiotik.
- Law, A.M., Kelton, W.D., Kelton, W.D., 1991. Simulation modeling and analysis. McGraw-Hill New York.
- Mariska, I., Rahayu, S., 2011. Pengadaan bibit tebu melalui kultur jaringan. J Litbang Pertan. Ed. 6–12 Juli 2011 No 3413 Tahun XLI.
- Martinez-Moyano, I.J., Richardson, G.P., 2013. Best practices in system dynamics modeling. Syst. Dyn. Rev. 29, 102–123.
- Narayan, P.K., Prasad, B.C., 2003. Fiji's sugar, tourism and garment industries: a survey of performance, problems and potentials. Fijian Stud. J. Contemp. Fiji 1, 3.
- Perkebunan, D.J., 2010. Kementerian Pertanian. Position Pap.
- Rachmat, M., Nuryanti, S., 2009. Dinamika Agribisnis Tembakau Dunia dan Implikasinya Bagi Indonesia. Presented at the Forum Penelitian Agro Ekonomi, pp. 73–91.
- Reza, M.S., Riazi, M.H., Khan, M.M.H., 2016. Productivity and Profitability of Sugarcane Production in Northern Bangladesh. Indian J. Commer. Manag. Stud. 7, 38.
- Richmond, B., 1993. Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond. Syst. Dyn. Rev. 9, 113–133.
- Siagian, V., 1999. Analisis efisiensi biaya produksi gula di Indonesia: pendekatan fungsi biaya multi input multi output.
- Sterman, J.D.J.D., 2000. Business dynamics: systems thinking and modeling for a complex world.
- Sugar Research Australia, 2014.

Sulaiman, arman, 2015. Pedoman Budidaya Tebu Giling yang Baik.

Supaporn, P., 2015. Determinants of Technical Efficiency of Sugarcane Production among Small Holder Farmers in Lao PDR. *Am. J. Appl. Sci.* 12, 644.

Suryani, E., C.S., 2010. Demand Scenario Analysis and Planned Capacity Expansion : A System dynamics framework. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 732-752

halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Hawwin Mardhiana, lahir di Magetan pada tanggal 24 Agustus 1992. Penulis telah menempuh pendidikan formal Madrasah Ibtidaiyah Negeri Takeran, SMP Negeri 1 Kawedanan dan SMA Negeri 1 Magetan. Pada tahun 2010 penulis melanjutkan pendidikan jenjang S1 di Universitas Jember jurusan Sistem Informasi dan menyelesaikan tugas akhir dengan konsentrasi topik Sistem Penunjang Keputusan (SPK). Setelah lulus dari S1, penulis menjadi karyawan swasta 8 bulan dan pada tahun 2015 penulis melanjutkan pendidikan yang lebih tinggi yaitu Magister di Departemen Sistem Informasi, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Penulis mengambil konsentrasi pada topik Simulasi Sistem Dinamis. Kritik dan saran yang membangun dapat disampaikan melalui hawwinmardhiana24@gmail.com atau hawwin15@mhs.is.its.ac.id.