

Pengaruh Perubahan Iklim terhadap Produksi Tanaman Pangan di Provinsi Maluku

The Impact of Climate Change on Food Crops Production in the Province of Maluku

Agung Budi Santoso

Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku
Jl. CHR Soplaniit Rumah Tiga, Ambon, Maluku, Indonesia
E-mail: ardenasa@gmail.com

Naskah diterima 19 Maret 2015, direvisi 9 November 2015, disetujui 15 Januari 2016

ABSTRACT

This study was aimed to determine the impact of climate change on food crops performance in the Maluku province, based on the climatological data from 1995 to 2012, and to find out crop commodities that are adaptable to climate change. This study used four models of trend analysis: linear least square pattern, quadratic, exponential, and moving averages. The results of forecasting were used to estimate food crop production in the year of climate change to determine the impact of climate change on crop production. Results showed that soybean was the most sensitive crop to climate change, it had the biggest impact on production, yield declined on both El Nino (10.7%) and La Nina (11.4%). Paddy which is generally cultivated on the wetlands, El Nino had the smallest effect on a decrease of production of 2.9% and 2.4% increased on the La Nina. Corn production decreased 7.4% on the El Nino and 3.9% increased during the La Nina. Sweet potatoes was the most resistant crop to climate change, the impact was increased production by 2.5% during El Nino. To reduce the impacts of climate changes could be done through some efforts, namely: (1) to identify areas of potential drought, floods, pests and diseases endemic based on climate and soil conditions, (2) to develop prediction techniques, based on weather and climate forecasts to provide early warning to farmers, (3) to prepare and disseminate a package of technology which is able to withstand the adverse conditions of the El Nino and La Nina, including varieties, pest and disease prevention, and production inputs which are easily obtained by farmers, (4) to improve irrigation and drainage channels, mainly on the paddy fields to increase production capacity and to prevent crop failure during the dry season.

Keywords: food crops, climate anomaly, production, projection.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan di Provinsi Maluku berdasarkan data tahun 1995 sampai 2012 dan mengetahui ketahanan komoditas terhadap perubahan iklim. Penelitian menggunakan empat model analisis tren, yakni *least square pola linear, quadratic, exponential, dan moving average*. Hasil dari peramalan tersebut digunakan untuk

menduga produksi tanaman pangan pada tahun terjadinya perubahan iklim dan mengetahui dampak perubahan iklim terhadap produksi. Kedelai merupakan komoditas yang paling sensitif terhadap perubahan iklim karena memiliki dampak penurunan produksi, baik pada kondisi El Nino (sebesar 10,7%) maupun La Nina (sebesar 11,4%). Padi sawah yang umumnya diusahakan pada lahan basah, mengalami pengaruh penurunan produksi 2,9% pada saat El Nino dan peningkatan produksi 2,4% pada saat terjadi La Nina. Jagung mendapatkan pengaruh penurunan produksi 7,4% pada saat El Nino dan peningkatan produksi 3,9% pada saat La Nina. Ubi jalar paling toleran terhadap perubahan iklim karena memperoleh dampak peningkatan produksi 2,5% pada kondisi El Nino. Pengurangan dampak perubahan iklim dapat ditempuh melalui beberapa upaya (1) mengidentifikasi wilayah potensial kekeringan, banjir, endemik hama dan penyakit tanaman berkaitan dengan iklim dan kondisi tanah, (2) mengembangkan teknik prediksi dan prakiraan cuaca dan iklim yang akurat guna memberi peringatan dini kepada petani mengenai perubahan iklim yang akan terjadi, (3) menyiapkan dan mendiseminasikan paket teknologi yang lebih adaptif pada kondisi El Nino dan La Nina, mencakup varietas, penanggulangan hama dan penyakit, input yang mudah diperoleh petani untuk membudidayakan tanaman pangan, (4) memperbaiki saluran irigasi terutama pada lahan sawah untuk meningkatkan kapasitas produksi dan pencegahan gagal panen pada musim kemarau.

Kata kunci: tanaman pangan, anomali iklim, produksi, proyeksi.

PENDAHULUAN

Indonesia memiliki keanekaragaman hayati yang didukung oleh kondisi geografis berupa dataran rendah dan tinggi, sinar matahari yang melimpah, curah hujan yang hampir merata sepanjang tahun di sebagian wilayah, dan keanekaragaman jenis tanah yang memungkinkan pengembangan budi daya aneka jenis tanaman asli daerah tropis, serta komoditas introduksi dari daerah subtropis yang telah beradaptasi dengan kondisi iklim tropis (Hadi dan Susilowati 2010). Swasembada beras amat penting mengingat komoditas ini menjadi makanan pokok dan cenderung tunggal di

berbagai daerah di Indonesia, termasuk daerah yang sebelumnya mempunyai pola pangan pokok bukan beras (Lantarsih *et al.* 2011). Namun upaya untuk berswasembada beras dihadapkan kepada berbagai kendala, di antaranya perubahan iklim.

Dampak perubahan iklim ekstrim berupa kekeringan menempati urutan pertama penyebab gagal panen. Kondisi ini berimplikasi terhadap penurunan produksi dan kesejahteraan petani (Hadi *et al.* 2000). Selain berpengaruh langsung terhadap tingkat produksi tanaman pangan, perubahan iklim juga memiliki pengaruh tidak langsung yang dapat menurunkan produktivitas tanaman pangan dengan meningkatnya serangan hama dan penyakit. Pada musim hujan, berkembang penyakit tanaman seperti kresek dan blas pada tanaman padi, antranoksa pada cabai, dan sebagainya. Pada musim kemarau berkembang hama penggerek batang padi, hama belalang kembara, dan thrips pada cabai (Wiyono 2007).

Terdapat hubungan erat antara perubahan iklim dan produksi pertanian (Winarto *et al.* 2013). Pengaruh perubahan iklim terhadap pertanian bersifat multidimensional, mulai dari sumber daya, infrastruktur pertanian, dan sistem produksi, hingga ketahanan pangan, kesejahteraan petani dan masyarakat pada umumnya.

Dalam Master Plan Percepatan dan Perluasan Pembangunan Ekonomi Indonesia (MP3EI), Provinsi Maluku termasuk ke dalam koridor enam, yakni sebagai pusat pengembangan pangan, perikanan, energi dan pertambangan. Jika dilihat dari peta zona agroekologi, Provinsi Maluku memiliki potensi pengembangan tanaman pangan, khususnya pada lahan kering dan lahan basah (Susanto dan Bustaman 2006). Pengembangan tanaman pangan pada lahan kering masih terbuka luas di Kabupaten Kepulauan Aru (349.985,1 ha), Seram Bagian Timur (118.570,2 ha), dan Maluku Tengah (113.420,0 ha). Wilayah pengembangan tanaman pangan pada lahan basah terdapat di Kabupaten Buru (40.040,2 ha), Seram Bagian Timur (8.749,5 ha), dan Maluku Tengah (5.389,0 ha). Selain memperhatikan agroekologi, pengembangan tanaman pangan juga harus mempertimbangkan kemungkinan perubahan iklim yang dapat mengganggu produksi di Provinsi Maluku.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui (1) dampak pengaruh perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan, dan (2) komoditas tanaman pangan yang lebih toleran terhadap perubahan iklim.

BAHAN DAN METODE

Penelitian menggunakan data sekunder yang berasal dari Badan Pusat Statistik berupa data produksi tanaman pangan Provinsi Maluku dari tahun 1995 hingga 2012. Komoditas yang dipilih untuk mewakili tanaman pangan adalah padi sawah, jagung, kedelai, dan ubi jalar. Data curah hujan yang berasal dari stasiun Klimatologi Ambon, Amahai, Geser, Keiratu, Namlea, Bandara Neira, Saumlaki, dan Tual digunakan untuk mengetahui perubahan iklim yang terjadi di Provinsi Maluku, seiring dengan fenomena El Nino dan La Nina yang berlaku secara global. Selain data produksi tiap tahun untuk masing-masing komoditas tersebut, data produktivitas dan perkembangan luas lahan juga digunakan sebagai data dukung, termasuk data curah hujan.

Penentuan tahun terjadinya perubahan iklim mengacu kepada nilai *Southern Oscillation Index* (SOI). Secara meteorologis, kejadian El Nino dan La Nina ditunjukkan oleh SOI di Samudera Pasifik. Nilai SOI sangat bervariasi menurut bulan atau dalam periode waktu yang lebih singkat, akibat perubahan perbedaan tekanan udara antara Darwin dan Tahiti. Peristiwa La Nina ditandai oleh nilai SOI di atas 8. Peristiwa El Nino ditandai oleh nilai SOI di bawah -8 (Australian Bureau of Meteorology 2014). Nilai SOI yang ekstrim tidak selalu menimbulkan dampak serius terhadap curah hujan dan ketersediaan air untuk pertanian. Jika terjadi nilai SOI yang ekstrim hanya berlangsung dalam waktu relatif singkat, misalnya selama satu minggu (Irawan 2006). Namun jika nilai SOI ekstrim berlangsung dalam beberapa bulan berturut-turut dapat dipastikan akan menimbulkan dampak kegiatan pertanian. Pada Tabel 1 terlihat bahwa pada tahun 1997 telah terjadi peristiwa El Nino dengan rata-rata nilai SOI -11,7. Pada tahun tersebut juga terjadi kejadian El Nino sebanyak 10 bulan berturut-turut.

Selanjutnya pada tahun 1998 terjadi peristiwa El Nino di awal tahun dan La Nina di akhir tahun. Peristiwa El Nino ditandai oleh nilai SOI di bawah 8 pada bulan Januari sampai April, sedangkan peristiwa La Nina ditandai oleh nilai SOI yang lebih besar dari 8 pada bulan Juni sampai Desember. Berbeda dengan tahun 1998, kejadian La Nina justru terjadi di awal tahun 1999 yakni pada Januari sampai April. Kejadian La Nina selanjutnya terjadi pada tahun 2008, 2010, dan 2011. Kejadian La Nina ini ditandai oleh nilai SOI yang lebih besar dari 8 selama empat bulan berturut-turut di akhir tahun 2008 dan 2010, dan empat bulan berturut-turut di awal tahun 2011.

Selain dari tahun yang telah disebutkan, kejadian perubahan iklim yang juga mempengaruhi produktivitas terjadi pada tahun 2002. Hal ini disebabkan karena (1) tahun 2002 memiliki nilai SOI negatif hampir sepanjang

Tabel 1. Nilai SOI bulanan dalam periode 1995-2012 di Samudera Pasifik.

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agt	Sep	Okt	Nov	Des	Rata-rata
1995	-4,0	-2,7	3,5	-16,2	-9,0	-1,5	4,2	0,8	3,2	-1,3	1,3	-5,5	-2,27
1996	8,4	1,1	6,2	7,8	1,3	13,9	6,8	4,6	6,9	4,2	-0,1	7,2	5,69
1997	4,1	13,3	-8,5	-16,2	-22,4	-24,1	-9,5	-19,8	-14,8	-17,8	-15,2	-9,1	-11,7
1998	-23,5	-19,2	-28,5	-24,4	0,5	9,9	14,6	9,8	11,1	10,9	12,5	13,3	-1,1
1999	15,6	8,6	8,9	18,5	1,3	1,0	4,8	2,1	-0,4	9,1	13,1	12,8	8,0
2000	5,1	12,9	9,4	16,8	3,6	-5,5	-3,7	5,3	9,9	9,7	22,4	7,7	7,8
2001	8,9	11,9	6,7	0,3	-9,0	1,8	-3,0	-8,9	1,4	-1,9	7,2	-9,1	0,5
2002	2,7	7,7	-5,2	-3,8	-14,5	-6,3	-7,6	-14,6	-7,6	-7,4	-6,0	-10,6	-6,1
2003	-2,0	-7,4	-6,8	-5,5	-7,4	-12,0	2,9	-1,8	-2,2	-1,9	-3,4	9,8	-3,1
2004	-11,6	8,6	0,2	-15,4	13,1	-14,4	-6,9	-7,6	-2,8	-3,7	-9,3	-8,0	-4,8
2005	1,8	-29,1	0,2	-11,2	-14,5	2,6	0,9	-6,9	3,9	10,9	-2,7	0,6	-3,6
2006	12,7	0,1	13,8	15,2	-9,8	-5,5	-8,9	-15,9	-5,1	-15,3	-1,4	-3,0	-1,9
2007	-7,3	-2,7	-1,4	-3,0	-2,7	5,0	-4,3	2,7	1,5	5,4	9,8	14,4	1,5
2008	14,1	21,3	12,2	4,5	-4,3	5,0	2,2	9,1	14,1	13,4	17,1	13,3	10,2
2009	9,4	14,8	0,2	8,6	-5,1	-2,3	1,6	-5,0	3,9	14,7	-6,7	-7,0	2,3
2010	-10,1	-14,5	-10,6	15,2	10,0	1,8	20,5	18,8	25,0	18,3	16,4	27,1	9,8
2011	19,9	22,3	21,4	25,1	2,1	0,2	10,7	2,1	11,7	7,3	13,8	23,0	13,3
2012	9,4	2,5	2,9	-7,1	-2,7	-10,4	-1,7	-5,0	2,7	2,4	3,9	-6,0	-0,8

Sumber: Australian Bureau of Meteorology (2014).

tahun, yakni dari Maret sampai Desember, (2) memiliki nilai SOI lebih kecil dari -8 pada Mei, Agustus, dan Desember, dimana pada bulan tersebut adalah awal masa tanam di Provinsi Maluku (Sirappa *et al.* 2005), (3) curah hujan pada tahun 2002 mengalami penurunan di berbagai stasiun klimatologi dengan rata-rata 120,3 mm per bulan (4) nilai rata-rata SOI pada tahun 2002 mendekati -8, yakni -6,1.

Peramalan kuantitatif melibatkan analisis statistik terhadap data tahun sebelumnya. Metode peramalan kuantitatif terbagi atas dua golongan, model deret waktu satu ragam dan model kausal (Firdaus 2006). Penelitian ini menggunakan empat model analisis tren yang termasuk dalam model deret waktu satu ragam yakni *least square pola linear, quadratic, exponential*, dan *moving average* (Supangat 2008). Bentuk umum dari persamaan tren adalah:

a. *Linear*

$\hat{Y}_t = a + b(T) + \epsilon_t$; di mana \hat{Y}_t adalah nilai peramalan pada periode t , sedangkan T adalah waktu atau periode.

b. *Quadratic*

$\hat{Y}_t = a + b_1(T) + b_2(T)^2 + \epsilon_t$; di mana \hat{Y}_t adalah nilai peramalan pada periode t ; a , b_1 , dan b_2 merupakan konstanta; T adalah waktu atau periode.

c. *Exponential*

$\hat{Y}_t = a + e^{b \cdot T}$; di mana e adalah bilangan natural, persamaan ini ditransformasi menjadi:

$$\ln(\hat{Y}_t) = \ln(a) + b(T)$$

d. *Moving average*

Metode ini diperoleh melalui penjumlahan dan pencarian nilai rata-rata dari sejumlah periode tertentu, setiap kali menghilangkan nilai terlama dan menambah nilai baru.

Moving average ordo 2/MA (2)

$$\hat{Y}_t = \frac{(Y_{t-1} + Y_{t-2})}{2};$$

Moving average ordo 3/MA (3)

$$\hat{Y}_t = \frac{(Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3})}{3};$$

Pemilihan model terbaik dilakukan dengan membandingkan nilai error dari masing-masing model (Sofyan 1991). Ukuran yang digunakan untuk memilih model adalah:

Mean Squared Deviation (MSD)

$$MSD = \frac{1}{n} \sum (Y_t - \hat{Y}_t)^2$$

Mean Squared Deviation (MSD) merupakan alat evaluasi teknik-teknik peramalan untuk berbagai macam parameter. Semakin rendah nilai MSD, semakin baik nilai peramalan (mendekati data masa lalu).

Selain MSD, evaluasi model peramalan juga dilakukan dengan mengetahui nilai determinasi dari

masing masing model. Menurut Makridakis *et al.* (1999), salah satu cara untuk mengetahui ketepatan peramalan adalah menghitung nilai determinasi (R^2).

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum(Y_t - \bar{Y}_t)^2}$$

di mana \hat{Y}_t adalah nilai ekspektasi pada periode t; dan \bar{Y}_t adalah rata-rata nilai aktual. Model peramalan yang dipilih berdasarkan nilai determinasi adalah model yang memiliki nilai R^2 terbesar atau mendekati 1.

Estimasi pengaruh iklim dan dampak perubahan iklim dapat dihitung dari selisih antara nilai aktual produksi dengan nilai ekspektasi produksi. Jika dirumuskan, estimasi dan dampak perubahan iklim adalah sebagai berikut:

Estimasi pengaruh iklim = nilai ekspektasi produksi – nilai aktual produksi (D)

Dampak perubahan iklim = (D) pada kondisi normal – (D) pada kondisi perubahan iklim

(D) pada kondisi normal merupakan ekspektasi produksi yang terdiri atas batas bawah hingga batas atas nilai ekspektasi produksi. Batas bawah dan batas atas tersebut dirumuskan:

Batas bawah = Nilai ekspektasi produksi – rata-rata |D| pada kondisi iklim normal

Batas atas = Nilai ekspektasi produksi + rata-rata |D| pada kondisi iklim normal

Tahapan dari analisis penelitian ini adalah (1) menentukan model tren yang paling sesuai dari kedua peubah di antara empat model analisis tren, (2) menduga dan meramal produksi tanaman pangan pada tahun terjadinya perubahan iklim, (3) menghitung dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan. Penentuan model tren, pemilihan model yang sesuai, dan pendugaan atau peramalan dilakukan dengan bantuan paket program Minitab 17 dan SPSS 11.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis model data produksi tanaman pangan dari tahun 1995 sampai 2012 dapat dilihat pada Tabel 2. Dari model *linear, quadratic, exponential, dan moving everage*, dipilih model yang memiliki nilai MSD paling kecil dan nilai determinasi (R^2) paling besar. Pada padi sawah, tren *quadratic* dengan model $v_t = 15027 - 1946t + 357.7t^2$ merupakan model yang paling sesuai karena memiliki nilai MSD terkecil, yakni 50100697 dan R^2 0,934. Model tren *moving average* paling sesuai (*best fit*) untuk menduga peubah produksi jagung, kedelai dan ubi jalar dengan nilai MSD masing masing 6347931, 167243 dan 7896999 dan R^2 dengan nilai masing masing 0,729, 0,641, dan 0,597.

Nilai Ekspektasi Peubah Padi Sawah dan Jagung Serta Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi

Padi sawah ditanam pada tiga lokasi sentra produksi, yaitu Kecamatan Seram Utara, Kabupaten Maluku Tengah, Kecamatan Waeapo, Kabupaten Buru, dan

Tabel 2. Model tren untuk peubah produksi tanaman pangan pada tahun 1995 sampai 2012 di Provinsi Maluku.

Tren		Linear	Quadratic	Exp growth	MA (2)	MA (3)
Padi sawah	Model	$\hat{Y}_t = -7625 + 4850t$	$\hat{Y}_t = 15027 - 1946t + 357.7t^2$	$\hat{Y}_t = 7623.63 \times 1.1487^t$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2})/2$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3})/3$
	MSD	123552952	50100697	75461604	56870151	52865545
	R²	0.837	0.934	0.900	0.886	0.929
Jagung	Model	$\hat{Y}_t = 5413 + 635t$	$\hat{Y}_t = 8472 - 282t + 48.3t^2$	$\hat{Y}_t = 5408.27 \times 1.0691^t$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2})/2$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3})/3$
	MSD	10824587	9485091	10563565	8211186	6347931
	R²	0.501	0.563	0.513	0.649	0.729
Kedelai	Model	$\hat{Y}_t = 2582 - 105.1t$	$\hat{Y}_t = 2598 - 109.8t + 0.25t^2$	$\hat{Y}_t = 3020.69 \times 0.9192^t$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2})/2$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3})/3$
	MSD	198323	198287	223201	206125	167243
	R²	0.600	0.600	0.550	0.557	0.641
Ubi jalar	Model	$\hat{Y}_t = 18123 + 30t$	$\hat{Y}_t = 22790 - 1370t + 73.7t^2$	$\hat{Y}_t = 17027.0 \times 1.0044^t$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2})/2$	$\hat{Y}_t = (Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3})/3$
	MSD	20024342	16906496	20492538	10315108	7896999
	R²	0.001	0.157	0.022	0.473	0.597

Kecamatan Kairatu, Kabupaten Seram Bagian Barat. Padi sawah diunggulkan berdasarkan prioritas berturut-turut di Kabupaten Seram Bagian Barat, Maluku Tengah, dan Buru. Urutan ini tidak semata-mata didasarkan pada luas areal panen, tetapi mempertimbangkan kontribusi produksi padi sawah dibanding tanaman pangan lainnya pada kabupaten tersebut. Jagung merupakan tanaman pangan penting kedua setelah padi, dan menjadi komoditas unggulan di Kabupaten Maluku Tenggara Barat dan Kepulauan Aru (Susanto dan Sirappa 2005).

Model *quadratic* dipilih untuk menentukan nilai ekspektasi produksi padi sawah. Model tren $v_t = 15027 - 1946t + 357.7t^2$ merupakan model yang paling sesuai (*best fit*) untuk menduga produksi padi sawah. Hasil yang diperoleh dari model tren *quadratic* tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai produksi aktual agar diketahui nilai deviasi yang menunjukkan dampak perubahan iklim pada tahun yang telah ditetapkan (Tabel 3 dan Gambar 1).

Pada tahun 1998, 2010, dan 2011 tidak terlihat pengaruh perubahan iklim di Maluku. Hal ini disebabkan nilai aktual produksi padi masih berada di wilayah model tren *quadratic*. Pada tahun 1998 nilai aktual produksi sebesar 12.487 ton, tidak melebihi batas bawah atau batas atas yang masing masing nilai 7.584 ton dan 18.347 ton. Tahun 2010 nilai aktual produksi sebesar 77.532 ton, tidak melebihi batas atas dan batas bawah yang masing masing 70.072 ton dan 80.835 ton. Pada tahun 2011 nilai aktual produksi padi 85.247 ton, tidak melebihi batas atas atau batas bawah yang masing masing nilai 79.929 ton dan 90.692 ton.

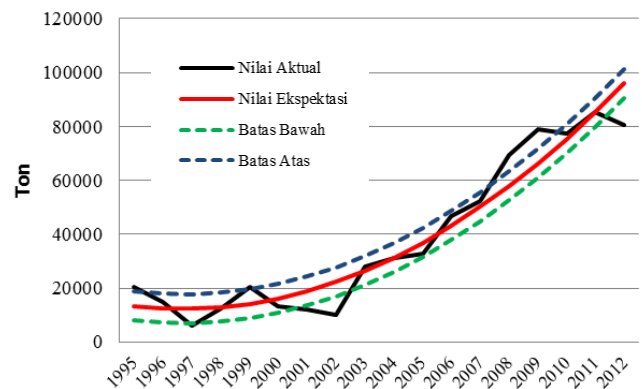
Dampak perubahan iklim terbesar terjadi pada tahun 2002 dengan penurunan produksi padi 6.913 ton. Produksi padi sawah pada tahun 2002 adalah 10.055 ton atau 17% lebih rendah dibandingkan dengan produksi tahun 2001 yang mencapai 12.138 ton. Dibandingkan dengan areal tanam pada tahun 2002

seluas 3.469 ha, penurunan produktivitas padi yang disebabkan oleh perubahan iklim adalah 1,9 t/ha.

Sebaliknya terjadi pada tahun 2008, di mana perubahan iklim berupa peningkatan curah hujan berdampak terhadap peningkatan produksi padi sawah sebesar 6.217 ton dari produksi yang diharapkan dari model tren *quadratic*. Produksi padi sawah pada tahun 2008 adalah 69.485 ton, atau meningkat 33% dari tahun 2007 yang hanya 52.182 ton (BPS 2013).

Model *moving average* dipilih sebagai model yang terbaik untuk menduga produksi jagung. Dari Tabel 4 terlihat bahwa perubahan iklim berdampak terhadap penurunan produksi jagung pada tahun 1997. Dampak perubahan iklim terhadap kenaikan produksi terlihat pada tahun 1999 dan 2008.

Pada tahun 1999 terjadi kenaikan produksi jagung 893 ton dari batas atas yang seharusnya terjadi menurut model *moving average*. Peningkatan produksi juga terjadi pada tahun 2008 sebesar 1.915 ton. Peningkatan produksi juga terlihat dari peningkatan produktivitas jagung pada tahun tersebut. Produktivitas jagung pada



Gambar 1. Nilai ekspektasi, nilai aktual, batas atas dan batas bawah peubah produksi padi sawah dalam periode 1995-2012.

Tabel 3. Nilai ekspektasi dan deviasi peubah produksi padi sawah di Provinsi Maluku pada tahun terjadinya terubahan iklim.

Tahun	Nilai aktual	Nilai ekspektasi	Batas bawah	Batas atas	Nilai pengaruh iklim	Dampak perubahan iklim
.....ton.....						
1997	5.902	12.408	7.026	17.789	-6.506	-1.124
1998	12.487	12.966	7.584	18.347	-479	0
1999	20.250	14.239	8.857	19.620	6.011	629
2002	10.055	22.350	16.968	27.732	-12.295	-6.913
2008	69.485	57.886	52.504	63.267	11.599	6.217
2010	77.532	75.454	70.072	80.835	2.078	0
2011	85.247	85.311	79.929	90.692	-64	0

Tabel 4. Nilai ekspektasi dan deviasi peubah produksi jagung di Provinsi Maluku pada tahun terjadinya perubahan iklim.

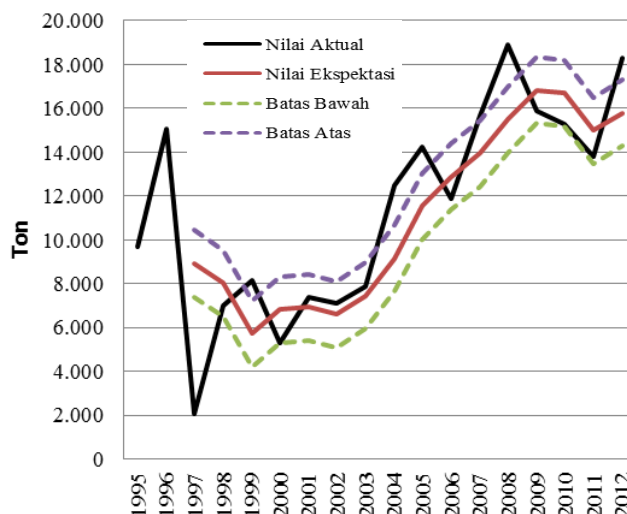
Tahun	Nilai aktual	Nilai ekspektasi	Batas bawah	Batas atas	Nilai pengaruh iklim	Dampak perubahan iklim
.....ton.....						
1997	2.052	12.362	7.415	10.434	-6.873	-5.363
1998	7.007	8.554	6.528	9.547	-1.031	0
1999	8.134	4.530	4.221	7.240	2.403	893
2002	7.096	6.348	5.088	8.106	499	0
2008	18.924	13.787	13.989	17.008	3.425	1.915
2010	15.275	17.399	15.181	18.199	-1.416	0
2011	13.829	15.574	13.483	16.501	-1.163	0

tahun 2008 mencapai 2,352 t/ha di mana produktivitas pada tahun 2006 hingga 2007 hanya 2,08 t/ha.

Pada tahun 1997 terjadi penurunan produksi jagung 5.363 ton dari batas bawah model tren *moving average* sebesar 7.415 ton. Dibandingkan dengan areal tanam pada tahun 1997 seluas 9.714 ha, maka penurunan produksi yang disebabkan oleh perubahan iklim adalah 0,55 t/ha.

Pada tahun 1998, 2002, 2010, dan 2011 tidak terlihat pengaruh perubahan iklim pada produksi jagung. Hal ini disebabkan karena nilai aktual produksi masih berada di wilayah model tren *quadratic*. Pada tahun 1998 nilai aktual produksi 7.007 ton, tidak melebihi batas bawah atau batas atas yang masing masing 6.528 ton dan 9.547 ton. Pada tahun 2002 nilai aktual produksi 7.096 ton, tidak melebihi batas atas atau batas bawah yang masing masing 5.088 ton dan 8.106 ton. Pada tahun 2010 nilai aktual produksi 15.275 ton, tidak melebihi batas atas atau batas bawah yang masing masing 15,181 ton dan 18.199 ton. Pada tahun 2011 nilai aktual produksi 13.829 ton, tidak melebihi batas atas atau batas bawah yang masing masing 13.483 ton dan 16.501 ton.

Perubahan produksi jagung pada Gambar 2 lebih berfluktuasi dibandingkan dengan padi sawah (Gambar 1). Hal ini disebabkan penggunaan lahan dan irigasi (padi sawah) lebih stabil dibandingkan dengan lahan kering (jagung). Berbeda dengan sawah, lahan kering memiliki banyak pilihan komoditas seperti jagung, ubi kayu, kedelai, dan ubi jalar. Selain itu, keterampilan petani dalam usahatani jagung di lahan sawah relatif rendah, terutama dalam pembuatan saluran drainase untuk mengatasi melimpahnya air permukaan akibat hujan atau limpahan air sisa pengairan padi (Susanto *et al.* 2006). Dari faktor biotik, intensitas penularan penyakit bulai dan hama penggerek merupakan faktor pembatas produktivitas jagung di lahan kering.



Gambar 2. Nilai ekspektasi, nilai aktual, batas atas dan batas bawah peubah produksi jagung dalam periode 1995-2012.

Nilai Ekspektasi Peubah Kedelai dan Ubi Jalar serta Dampak Perubahan Iklim terhadap Produksi

Berdasarkan peta zona agroekologi, Provinsi Maluku memiliki arahan penggunaan lahan kering yang berpotensi sebagai pengembangan tanaman kacang-kacangan, termasuk kedelai. Arahan penggunaan lahan kering terbesar di Maluku berada di Kepulauan Aru, yakni 349.985 ha atau 43% dari total penggunaan lahan di Kepulauan Aru. Ubi jalar banyak dikembangkan di Kabupaten Maluku Tenggara Barat, Maluku Tenggara, dan Pulau Seram. Ubi jalar merupakan sumber karbohidrat penting bagi masyarakat yang dapat mendukung ketahanan pangan di wilayah yang bersangkutan (Susanto dan Sirappa 2007).

Berdasarkan nilai MSD dan R² yang dikeluarkan oleh masing-masing model tren, nilai MSD untuk model tren *moving average* (3) lebih rendah dibandingkan dengan

Tabel 5. Nilai ekspektasi dan deviasi peubah produksi kedelai Provinsi Maluku di tahun terjadinya perubahan iklim.

Tahun	Nilai aktual	Nilai ekspektasi	Batas bawah	Batas atas	Nilai pengaruh iklim	Dampak perubahan iklim
.....ton.....						
1997	2.695	2.521	2.402	2.640	173	54
1998	1.740	2.251	2.132	2.370	-511	-392
1999	2.040	2.040	2.039	2.277	-118	0
2002	487	1.731	1.612	1.850	-1.245	-1.125
2008	1.563	1.492	1.373	1.610	71	0
2010	1.183	1.441	1.322	1.560	-259	-139
2011	297	1.019	900	1.138	-723	-603

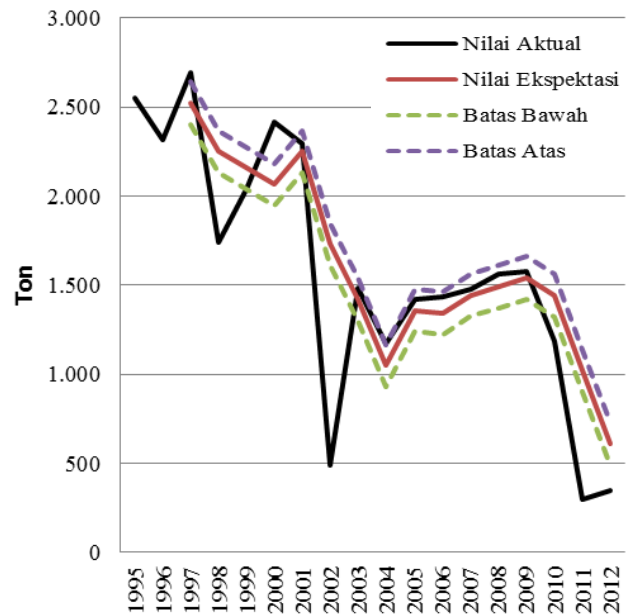
model lainnya untuk peubah produksi kedelai. Nilai R^2 model tren *moving average* adalah 0,64, lebih tinggi dibandingkan dengan model tren lainnya. Hal ini mendasari terpilihnya model *moving average* dengan ordo 3 untuk melakukan pendugaan nilai produksi pada saat terjadinya perubahan iklim. Tabel 5 dan Gambar 3 menjelaskan nilai ekspektasi produksi dibandingkan dengan nilai aktual dan dampak perubahan iklim terhadap produksi kedelai.

Pada tahun 1998, 2002, 2010, dan 2011 terjadi penurunan produksi kedelai dari nilai ekspektasi dan batas bawah yang diperoleh dari model *moving average*. Model menduga bahwa pada tahun 1998 produksi berkisar antara 2.132-2.370 ton. Namun, nilai aktual produksi hanya 1.740 ton, atau turun 392 ton dari batas bawah. Pada tahun 2002, model menduga produksi kedelai berkisar antara 1.612-1.850 ton. Namun, nilai aktual produksi hanya 487 ton, atau turun 1.125 ton dari batas bawah. Pada tahun 2010 dan 2011 produksi kedelai kembali mengalami penurunan masing-masing 139 ton dan 603 ton dari batas bawah model tren *moving average* (3).

Pada tahun 1997 terjadi kenaikan produksi dari batas atas yang ditetapkan oleh model. Nilai aktual produksi kedelai pada tahun 1997 adalah 2.695 ton, sedangkan batas atas model *moving average* hanya 2.640 ton, atau terjadi penambahan produksi 54 ton karena perubahan iklim.

Model *moving average* (3) juga dipilih untuk menilai ekspektasi produksi ubi jalar. Nilai ekspektasi yang diperoleh dari model tersebut kemudian dibandingkan dengan nilai produksi aktual agar diketahui nilai deviasi yang menunjukkan dampak perubahan iklim pada tahun yang telah ditetapkan (Tabel 6, Gambar 4).

Perubahan iklim menyebabkan penurunan produksi ubi jalar 674 ton pada tahun 2002. Pada tahun 1997, produksi ubi jalar justru meningkat 4.195 ton dari batas atas yang diberikan oleh model *moving average* yang menduga produksi pada tahun tersebut berkisar



Gambar 3. Nilai ekspektasi, nilai aktual, batas atas dan batas bawah peubah produksi kedelai dalam periode 1995-2012.

antara 18.120-22.846 ton. Dibandingkan dengan areal tanam pada tahun 2002 seluas 1.463 ha, maka penurunan produktivitas yang disebabkan oleh perubahan iklim adalah 0,41 t/ha.

Berdasarkan nilai ekspektasi dan deviasi nilai peubah produksi ubi jalar (Tabel 6) terlihat komoditas ini lebih toleran terhadap perubahan iklim dibandingkan dengan padi sawah, jagung, dan kedelai. Hal ini sesuai dengan kebiasaan masyarakat Kawasan Timur Indonesia yang mengonsumsi ubi jalar sebagai salah satu makanan utama di samping beras. Ubi jalar memiliki daya adaptasi yang luas, baik dari kondisi lahan maupun lingkungan (Limbongan dan Soplanit 2007).

Penurunan produksi ubi jalar pada kejadian El Nino tahun 2002 disebabkan oleh pengusahaan komoditas

Tabel 6. Nilai ekspektasi dan deviasi peubah produksi ubi jalar di Provinsi Maluku pada tahun terjadinya perubahan iklim.

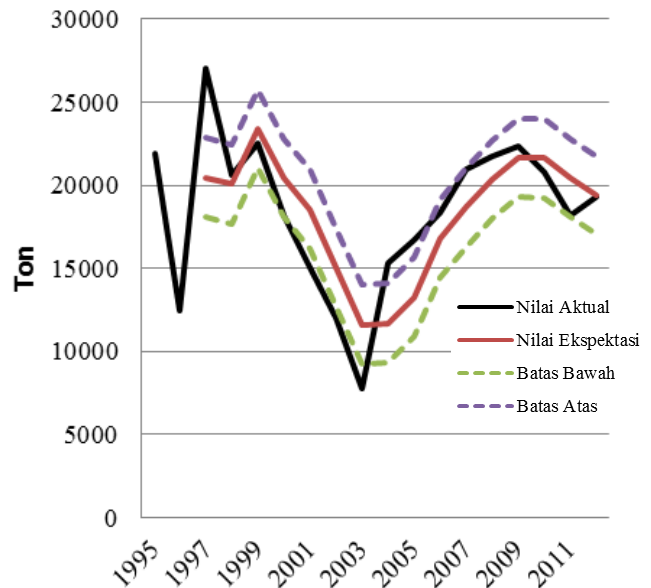
Tahun	Nilai aktual	Nilai ekspektasi	Batas bawah	Batas atas	Nilai pengaruh iklim	Dampak perubahan iklim
.....ton.....						
1997	27.042	20.483	18.120	22.846	6.559	4.195
1998	20.646	20.056	17.693	22.418	590	0
1999	22.526	23.404	21.042	25.767	-879	0
2002	12.043	15.080	12.718	17.443	-3.038	-674
2008	21.778	20.368	18.005	22.730	1.410	0
2010	20.751	21.624	19.261	23.986	-873	0
2011	18.167	20.420	18.057	22.783	-2.253	0

ini masih tersebar di berbagai lokasi dan tidak ada sentra produksi yang memenuhi skala ekonomi. Kemampuan untuk beradaptasi luas menjadikan ubi jalar sering dimanfaatkan petani marginal sebagai tanaman alternatif dengan input minimal, sehingga hasil yang diperoleh bergantung pada kondisi tanah, curah hujan, dan intensitas serangan hama penyakit (Edrus 2004).

Pada umumnya palawija diusahakan di lahan kering walaupun sebagian di lahan sawah beririgasi, terutama pada musim kemarau (Idjudin dan Marwanto 2008). Pada lahan kering atau lahan sawah pada musim kemarau, pasokan air bagi tanaman bergantung pada curah hujan. Oleh karena itu, peristiwa El Nino yang umumnya terjadi pada musim kemarau cenderung menyebabkan penurunan produksi yang lebih besar dari komoditas palawija karena keterbatasan pasokan air yang dibutuhkan tanaman.

Perbandingan dampak perubahan iklim terhadap produksi beberapa tanaman pangan dapat dilihat pada Tabel 7. Pada kondisi El Nino, yakni tahun 1997 dan 2002, komoditas kedelai mengalami penurunan produksi terbesar yakni 10,7%, penurunan produksi jagung 7,4% dan padi sawah 2,9%. Padi sawah mengalami penurunan produksi terkecil karena pasokan air bagi tanaman tidak bergantung sepenuhnya pada curah hujan. Kedelai dan jagung diusahakan pada lahan kering, sehingga pasokan air bergantung pada hujan. Kedelai lebih rentan terhadap kekeringan dibandingkan dengan jagung. Hal ini terbukti dari tingkat penurunan produksi kedelai lebih besar daripada jagung. Menurut Budhi dan Aminah (2010), kedelai memiliki berbagai masalah teknis seperti kurangnya benih bermutu yang diterapkan petani, hama dan penyakit yang lebih banyak dibandingkan palawija lainnya serta faktor pembatas seperti ketersediaan lahan dan pengaruh iklim. Pada kondisi El Nino, hanya ubi jalar yang masih berproduksi lebih tinggi 2,5% dibanding komoditas lainnya.

Dampak tertinggi kejadian La Nina dialami oleh komoditas kedelai dengan penurunan produksi 11,4%.



Gambar 4. Nilai ekspektasi, nilai aktual, batas atas dan batas bawah peubah produksi ubi jalar dalam periode 1995-2012.

Sebaliknya, produksi jagung dan padi sawah meningkat masing-masing 3,9% dan 2,4%.

Dalam upaya mengurangi atau menghilangkan dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan, Okonya *et al* (2013) dan Thuy *et al* (2014) menyarankan diversifikasi tanaman, rotasi panen, dan penerapan teknologi peningkatan produksi. Di Maluku, pengurangan dampak perubahan iklim secara teknis dapat ditempuh melalui beberapa upaya, yakni (1) mengidentifikasi wilayah kekeringan, banjir, endemik hama dan penyakit tanaman berdasarkan kondisi iklim, kondisi tanah, dan budaya masyarakat setempat (Susanto dan Sirappa 2005); (2) mengembangkan teknik prediksi dan prakiraan faktor iklim yang akurat guna memberi peringatan dini kepada petani mengenai perubahan iklim yang akan terjadi (Sarjana *et al*. 2007);

Tabel 7. Perbandingan dampak perubahan iklim terhadap produksi tanaman pangan.

Kondisi Iklim	Padi sawah	Jagung	Kedelai	Ubi jalar
Kuantitas (ton)				
El Nino	-8.039	-5.364	-1.071	3.521
La Nina	6.847	2.810	-1.136	0
Persentase (%)				
El Nino	-2,9%	-7,4%	-10,7%	2,5%
La Nina	2,4%	3,9%	-11,4%	0%

(3) menyiapkan paket teknologi budi daya yang mampu beradaptasi pada kondisi El Nino dan La Nina, mencakup pola tanam, varietas, penanggulangan hama dan penyakit, serta input yang mudah diperoleh petani (Djaenudin dan Hendrisman 2008); (4) memperbaiki saluran irigasi, terutama lahan sawah untuk meningkatkan kapasitas produksi dan mencegah gagal panen pada musim kemarau (Sumarno *et al.* 2008), terutama di sentra produksi padi di Pulau Buru dan Seram.

Pengembangan tanaman pangan harus memperhitungkan kondisi lahan dan iklim setempat. Tidak satu pun komponen teknologi budi daya menjadi terbaik di semua lokasi mengingat beragamnya lingkungan abiotik, biotik, kondisi sosial, ekonomi, dan budaya petani (Makarim 2009). Salah satu inovasi teknologi produksi padi, jagung, dan kedelai yang memperhitungkan keadaan lokasi setempat adalah sistem pakar padi (SIPADI), sistem pakar jagung (SIPAJA), dan sistem pakar kedelai (SIPALE). Sistem pakar ini mengintegrasikan program komputer yang dirancang untuk memodelkan kemampuan penyelesaian masalah yang dihadapi petani secara spesifik lokasi. Variabel dalam model ini terdiri atas fisik tanah, iklim, nutrisi tanaman, hama dan penyakit, gulma, kondisi sosial ekonomi, serta tenaga kerja (Puslitbangtan 2010).

KESIMPULAN

Berdasarkan nilai MSD dan determinasi yang diperoleh, model quadratic dinilai sesuai digunakan untuk menghitung nilai ekspektasi produksi padi sawah dalam periode 1995-2012. Model tren *moving average* sesuai digunakan untuk menghitung nilai ekspektasi produksi jagung, kedelai, dan ubi jalar.

Kejadian perubahan iklim El Nino yang terjadi pada tahun 1997 dan 2002 menyebabkan tanaman pangan mengalami penurunan produksi. Produksi padi sawah, kedelai, dan ubi jalar mengalami penurunan terbesar pada tahun 2002 dan jagung pada tahun 1997.

Kedelai paling peka terhadap perubahan iklim, baik pada kejadian El Nino maupun La Nina. Ubi jalar toleran terhadap perubahan iklim.

Langkah yang dapat ditempuh untuk mengurangi dampak perubahan iklim adalah mengidentifikasi wilayah kekeringan, banjir, endemik hama dan penyakit serta memperbaiki sarana prasarana yang menunjang peningkatan produksi serta mengembangkan teknologi spesifik lokasi yang mampu meningkatkan produktivitas tanaman pangan di Provinsi Maluku.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Dr. Bambang Irawan, Dr. Ismatul Hidayah, dan Ir. Demas Wamaer MP. atas bantuan dan saran yang diberikan dalam pelaksanaan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Bureau of Meteorology. 2014. Southern Oscillation Index. <http://www.bom.gov.au/climate/glossary/soi.shtml> diakses 12 Desember 2014.
- Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Maluku. 2013. Maluku dalam angka. BPS Maluku. Ambon.
- Budhi, G.S. dan M. Aminah. 2010. Swasembada kedelai: Antara Harapan dan Kenyataan. Forum Penelitian Agro Ekonomi 28(1):55-68.
- Djaenudin, D. dan M. Hendrisman. 2008. Prospek pengembangan tanaman pangan lahan kering di Kabupaten Merauke. Jurnal Litbang Pertanian 27(2):55-62.
- Edrus, I.N. 2004. Kebijakan pengembangan agribisnis dan agroindustri umbi-umbian di Maluku. Laporan Hasil Penelitian. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku 2004. Maluku.
- Firdaus, M. 2006. Analisis deret waktu satu ragam. IPB Press. Bogor.
- Hadi, P.U. dan S.H. Susilowati. 2010. Prospek masalah dan strategi pemenuhan kebutuhan pangan pokok. Seminar Nasional Era Baru Pembangunan Pertanian: Strategi Mengatasi Masalah Pangan, Bio-Energi dan Perubahan Iklim 25:35-57.
- Hadi, P.U., C. Saleh, A.S. Bagyo, R. Hendayana, Y. Marisa, dan I. Sadikin. 2000. Studi kebutuhan asuransi pertanian pada pertanian rakyat. Laporan Hasil Penelitian. Pusat Penelitian Sosial Ekonomi Pertanian. Bogor.
- Idjudin, A.A. dan S. Marwanto. 2008. Reformasi pengelolaan lahan kering untuk mendukung swasembada pangan. Jurnal Sumberdaya Lahan 2(2):115-125.
- Irawan, B. 2006. Fenomena anomali iklim El Nino dan La Nina: Kecenderungan jangka panjang dan pengaruhnya terhadap produksi pangan. Forum Penelitian Agro Ekonomi 24(1):28-45.
- Lantarsih, R., S. Widodo, D.H. Darwanto, S.B. Lestari, dan S. Paramita. 2011. Sistem ketahanan pangan nasional: Kontribusi ketersediaan dan konsumsi energi serta optimalisasi distribusi beras. Jurnal Analisis Kebijakan Pertanian 9(1):33-51.

- Limbongan, J. dan A. Soplanit. 2007. Ketersediaan teknologi dan potensi pengembangan ubi jalar (*Ipomoea batatas L.*) di Papua. *Jurnal Litbang Pertanian* 26(4):131-138.
- Makarim, A.K. 2009. Aplikasi ekofisiologi dalam sistem produksi padi berkelanjutan. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2(1):14-34.
- Makridakis, S., S.C. Wheelwright, dan E.M. Victor. 1999. *Metode dan aplikasi peramalan*. Gelora Aksara Pratama. Jakarta.
- Okonya, J.S., K. Syndikus, and J. Kroschel. 2013. Farmers' perception of and coping strategies to climate change: Evidence from six agro-ecological zones of Uganda. *Journal of Agricultural Science* 5(8):252-263.
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan (Puslitbangtan). 2010. Penggunaan sistem pakar tanaman pangan. <http://pangan.litbang.pertanian.go.id/berita-284-penggunaan-sistem-pakar-tanaman-pangan.html>. diakses 8 Juni 2015.
- Sarjana, S., M.N. Setiapermas, dan S. Basuki. 2007. Antisipasi dan mekanisme pengambilan keputusan petani dalam pengendalian dampak anomali iklim (Farmers' anticipation and Decision Making Mechanism In Managing Impact Of Climate Anomaly). *Jurnal Agromet Indonesia* 21(1):47-54.
- Sirappa, M.P., A.N. Susanto, R. Senewe, Y. Tolla, F. Watkaat, La Dahamaruddin, I.V. Room. 2005. Pengkajian peningkatan produktivitas padi sawah berdasarkan pengelolaan tanaman dan sumberdaya terpadu (PTT) di Kabupaten Buru. Laporan Hasil Penelitian. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku 2005. Maluku.
- Sofyan, A. 1991. *Teknik dan metode peramalan*. LPFE UI. Jakarta.
- Sumarno, J.W., U.G. Kartasasmita, dan A. Hasanuddin. 2008. Anomali iklim 2006/2007 dan saran kebijakan teknis pencapaian target produksi padi. *Iptek Tanaman Pangan* 3(1):69-97.
- Susanto, A.N. dan M.P. Sirappa. 2005. Prospek dan strategi pengembangan jagung untuk mendukung ketahanan pangan di Maluku. *Jurnal Litbang Pertanian* 24(2):70-79.
- Susanto, A.N. dan M.P. Sirappa. 2007. Karakteristik dan ketersediaan sumber daya lahan pulau-pulau kecil untuk perencanaan pembangunan pertanian di Maluku. *Jurnal Litbang Pertanian* 26(2):41-53.
- Susanto, N.A. dan S. Bustaman. 2006. Data dan informasi sumberdaya lahan untuk mendukung pengembangan agribisnis di wilayah kepulauan Provinsi Maluku. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku. Maluku.
- Susanto, A.N., M.P. Sirappa, J. Tolla, E.n Waas, I. Hidayah, M.R Uluputty. 2006. Pengkajian peningkatan produktivitas lahan berbasis tanaman pangan pada lahan sawah irigasi Provinsi Maluku. Laporan Hasil Penelitian. Balai Pengkajian Teknologi Pertanian Maluku 2006. Maluku.
- Thuy, P.T., M. Moeliono, B. Locatelli, M. Brockhaus, M.D. Gregorio, and S. Mardiah. 2014. Integration of adaptation and mitigation in climate change and forest policies in Indonesia and Vietnam. *Forests* 5(8):2016-2036.
- Winarto, Y.T., K. Stigter, B Dwisatrio, M. Nurhaga, and A. Bowolaksono. 2013. Agrometeorological learning increasing farmers' knowledge in coping with climate change and unusual risks. *Southeast Asian Studies* 2(2):323-349.
- Wiyono, S. 2007. Perubahan iklim dan ledakan hama penyakit tanaman. Makalah disampaikan pada Seminar Sehari tentang Keanekaragaman Hayati di Tengah Perubahan Iklim: Tantangan Masa Depan Indonesia. Jakarta 28 Juni 2007.
-