

**Pendugaan Evapotranspirasi Pada Tanaman Padi Sawah di Kabupaten Bolaang
Mongondow Utara Dengan Menggunakan Model Simulasi Neraca Air**

**Estimation of Evapotranspiration in Rice Paddy Fields in the District of North Bolaang
Mongondow Using Water Balance Simulation Model**

Master R.L.Sirait¹⁾, Johannes E.X. Rogi²⁾, Jeanne Paulus³⁾, Selvie G. Tumbelaka⁴⁾

¹⁾. Mahasiswa Strata 1 PS Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado
²⁾, ³⁾, ⁴⁾. Staf Pengajar PS Agroekoteknologi Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi Manado
Jln Kampus Kleak 95115, Telp (0431) 862786

ABSTRACT

Climate is determining factor addition to rice production plant material and soil. Earth is currently experiencing climate change impact on reducing rice production. Drought is one of the effects of climate change due to water shortage conditions that occur within a specified period. This happens because the region received rainfall below average, North Bolaang Mongondow, an area of this research study is an area is sensitive to reduce rainfall, the data indicate that the decline in productivity in the district due to rainfall. This study aims to estimate evapotranspiration in rice in the Northern Bolaang Mongondow districts using water balance model developed Handoko (1994). The conclusion that the model is able to predict evapotranspiration centers (Sangkub, Bintauna, Bolang Itang Timur, Bolang Itang Barat, Kaidipang dan Pinogaluman).

Keywords: Climate, Evapotranspiration, simulation models, Productivity, Water Balance.

ABSTRAK

Iklm merupakan faktor penentu untuk produksi tanaman padi di samping bahan tanaman dan tanah. Saat ini bumi mengalami perubahan iklim yang berdampak menurunkan produksi padi. Kekeringan merupakan salah satu dampak dari perubahan iklim akibat kondisi kekurangan air yang terjadi dalam jangka waktu tertentu. Hal tersebut terjadi karena suatu wilayah menerima curah hujan di bawah rata – ratanya. Kabupaten Bolaang Mongondow utara yang menjadi wilayah kajian penelitian ini merupakan daerah yang peka terhadap berkurangnya curah hujan, data menunjukkan bahwa penurunan produktivitas di Kabupaten tersebut diakibatkan oleh berkurangnya curah hujan. Penelitian ini bertujuan untuk menduga evapotranspirasi pada tanaman padi di kabupaten Bolaang Mongondow Utara dengan menggunakan model simulasi Neraca Air yang dikembangkan Handoko (1994). Kesimpulan yang didapat model dapat memprediksi evapotranspirasi di sentra produksi padi (Sangkub, Bintauna, Bolang Itang Timur, Bolang Itang Barat, Kaidipang dan Pinogaluman).

Kata Kunci : Iklim, Evapotranspirasi, model simulasi, Produktivitas, Neraca Air.

PENDAHULUAN

Dampak perubahan iklim yang sangat nyata menurunkan produksi padi adalah kekeringan. Kekeringan menggambarkan kondisi kekurangan air yang terjadi dalam jangka waktu tertentu. Hal tersebut terjadi karena suatu wilayah menerima curah hujan di bawah rata-ratanya. Periode kekeringan yang terjadi dapat memiliki pengaruh yang signifikan terutama pada bidang pertanian. Kekeringan diartikan dengan berkurangnya lengas tanah yang dibutuhkan oleh tanaman selama masa tanam yang berhubungan dengan proses evapotranspirasi. Sebagai contoh, petani cenderung memiliki kerentanan yang tinggi terhadap dampak kekeringan yang terjadi karena tidak adanya alternatif sumber air. Tanaman padi membutuhkan air yang cukup untuk bertumbuh dan berkembang serta volume yang berbeda untuk setiap fase pertumbuhannya. Air pada tanaman bersifat dinamis artinya mudah hilang karena pengaruh lingkungan tumbuh. Proses hilangnya air di tanah dan tanaman disebut dengan evapotranspirasi yang merupakan salah satu komponen penting dalam hidrologi karena proses tersebut dapat mengurangi simpanan air dalam badan-badan air, tanah, dan tanaman. Untuk

kepentingan sumber daya air, data ini untuk menghitung kesetimbangan air dan lebih khusus untuk keperluan penentuan kebutuhan air bagi tanaman (pertanian) dalam periode pertumbuhan atau periode produksi. Besarnya evapotranspirasi sampai saat ini dilakukan dengan pendekatan manual yaitu dengan menggunakan Lisimeter. Penggunaan lisimeter hanya bersifat sesaat sehingga data yang diperoleh tidak dapat digunakan untuk periode waktu yang lain dan tempat yang berbeda. Oleh karena itu penggunaan model simulasi dapat digunakan karena mempunyai beberapa keunggulan antara lain dapat menghitung evapotranspirasi untuk skala yang luas dan dapat diterapkan di tempat yang berbeda.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk menduga evapotranspirasi pada tanaman padi di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara dengan menggunakan model simulasi neraca air.

Manfaat

Manfaat penelitian ini dapat digunakan sebagai alat bantu budidaya tanaman padi terutama untuk manajemen air.

METODOLOGI PENELITIAN

Waktu dan Tempat

Penelitian dilaksanakan pada Januari – Februari 2013, Tempat penelitian di Laboratorium Modelling Ekosistem Fakultas Pertanian UNSRAT dan Sentra Produksi Padi di Kabupaten Bolaang Mongondow Utara.

Bahan dan Alat

A. Bahan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari :

1. Data cuaca/iklim stasiun klimatologi wilayah Bolaang Mongondow Utara
2. Data sifat fisik tanah, yaitu;
 - a. Data titik layu permanen (TLP) (diasumsikan 30%) dan,
 - b. Data kapasitas lapang (KL) (diasumsikan 15%)

B. Sedangkan alat yang digunakan adalah seperangkat komputer yang terdiri dari:
Perangkat lunak (*software*), diperlukan untuk pembuatan sistem informasi neraca air lahan versi PC adalah sebagai berikut:

1. *Microsoft Visual Basic Versi 6*, sebagai bahasa pemrograman pada sistem.

2. Model pembangkit unsur cuaca *Shierary – Weather* Versi 2.0
3. Model simulasi tanaman padi *Shierary Rice*
4. *Windows XP* diperlukan sebagai sistem operasi program *Microsoft Visual Basic* dan *ArcInfo 3.5 /ArcView 3.1*.

Metode Penelitian

Perhitungan neraca air yang digunakan pada model simulasi sebagai berikut :

1. Infiltrasi dan perkolasi

Infiltrasi (Is) dihitung dari selisih curah hujan (P) atau irigasi (Ir) dan intersepsi tajuk tanaman :

$$I_s = P^* - I_c = P + I_r - I_c \dots\dots\dots(1)$$

Perkolasi dari tiap lapisan tanah m {Pc(m)} terjadi bila kadar air tanah melebihi kapasitas lapang { ϕ_{fc} (m)} yang dihitung dengan metode jungkitan sebagai :

$$P_c(m) = \phi(m) - \phi_{fc}(m) \dots\dots\dots(2)$$
$$P_c(m) = 0$$
$$\phi(m) \leq \phi_{fc}(m)$$

2. Evapotranspirasi

Evapotranspirasi potensial (Etp) dihitung dengan rumus Penman untuk menduga evapotranspirasi maksimum (Etm) sebagai batas atas dari air yang hilang oleh

evaporasi tanah dan transpirasi. Hubungannya adalah :

$$E_{tm} = 0.8 E_{tp} \quad (\text{Jones, 1986}) \dots \dots \dots (3)$$

Evapotranspirasi maksimum terbagi atas evaporasi maksimum tanah (E_m) dan transpirasi maksimum (T_m). Diasumsikan perbandingan radiasi yang diserap oleh kanopi tanaman sama dengan T_m/E_{Tm} (Stapper, 1984; Rimmington and Connor, 1987 dalam Handoko, 1994).

Berikut adalah perhitungan evaporasi (E_m) dan transpirasi (T_m) maksimum :

$$E_{tm} = E_{tp} = \{ \Delta Q_n + \gamma f(u) (e_s - e_a) \} / \{ \lambda (\Delta + \gamma) \} \dots \dots \dots (4)$$

$$E_m = E_{tm} (e^{-k_{ILD}})$$

$$T_m = (1 - e^{-k_{ILD}}) E_{tm}$$

Dimana :

- Δ = kemiringan kurva hubungan antara tekanan uap air jenuh dan suhu udara (Pa K^{-1})
- Q_n = radiasi bersih (Wm^{-2})
- γ = tetapan psikrometer (66.1 Pa K^{-1})
- $f(u)$ = fungsi aerodinamika ($\text{MJ m}^{-2} \text{ Pa}^{-1}$)
- $(e_s - e_a)$ = defisit tekanan uap (Pa)
- λ = panas spesifik untuk penguapan (2.454 MJ kg^{-1})

3. Evaporasi tanah aktual

Pada tingkat pertama, setelah terjadi hujan atau pemberian air irigasi, evaporasi

aktual sama dengan nilai maksimumnya sampai nilai evaporasi kumulatif mencapai nilai parameter tanah U terlampaui (tahap 2), yaitu tanah sudah cukup kering, E_a merupakan fungsi waktu pada tahap 2 dan E_m sebagai berikut :

$$\text{Tahap 1 : } E_a = E_m \sum E_m < U \dots \dots \dots (5)$$

$$\text{Tahap 2 : } E_a = \alpha t_2^{0.5} - \alpha (t_2 - 1)^{0.5} \sum E_m \geq U \dots \dots \dots (6)$$

Dimana : t_2 = jumlah hari setelah terjadinya evaporasi tahap 2.

4. Transpirasi aktual

Transpirasi aktual (T_a) dihitung sebagai total pengambilan air pada seluruh daerah perakaran, terjadi pengambilan secara cepat dari lapisan atas ke lapisan terbawah sampai $T_a = T_m$ atau sampai kedalaman yang dicapai akar. Berikut perhitungan T_a yang merupakan penjumlahan serapan air oleh akar pada masing-masing lapisan tanah (m).

$$f_w(m) = \{ \phi(m) - \phi_{wp}(m) \} / \{ 0.4 [\phi_{fc}(m) - \phi_{wp}(m)] \} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{jika } \phi_{fc}(m) \geq \phi(m) > \phi_{wp}(m) \quad f_w(m) = 1$$

$$\phi(m) > \phi_{fc}(m) \quad f_w(m) = 0$$

$$\phi(m) < \phi_{wp}(m), r(m) = 0$$

Laju penyerapan air oleh akar pada tiap lapisan m:

$$Tr(m) = f_w(m) T_m$$

$T_a < T_m$

$$Tr(m) = 0$$

$T_a \geq T_m$

Dimana, $f_w(m)$: fungsi kadar air tanah pada lapisan tanah (m)

ϕ : Kadar air tanah

ϕ_{fw} : Kadar air tanah pada kapasitas lapang

ϕ_{wp} : Kadar air tanah pada titik layu permanen

$Tr(m)$: laju penyerapan air oleh akar pada lapisan tanah m (mm)

Prosedur Kerja

Model neraca air yang digunakan dalam penelitian ini adalah model neraca air *Shierary-Rice* yang dikembangkan Handoko (1994) terdapat sebagai sub model saja. Sehingga tidak menginformasikan status neraca air secara spesifik karena tujuan model tersebut adalah ke arah pendugaan evapotranspirasi.

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan yaitu :

a. Pengumpulan data iklim berupa (curah hujan, radiasi matahari, suhu udara, kelembaban udara) di sentra produksi padi di Kecamatan Sangkup, Bintauna, Bolang Itang Timur, Bolang Itang Barat, Pinogaluman, sifat fisik tanah diasumsikan (kapasitas lapang, 15%, titik layu permanen, 30% dan parameter evaporasi tanah).

b. Penerapan model neraca air untuk menghitung evapotranspirasi. di Laboratorium Modeling Ekosistem Jurusan Budidaya Pertanian, Fakultas Pertanian UNSRAT.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konsep evapotranspirasi merupakan pemindahan air dari areal bervegetasi baik melalui evaporasi maupun transpirasi. Dalam evapotranspirasi, evaporasi dan transpirasi dikenal istilah potensial dan aktual. Istilah potensial mengekspresikan laju evaporasi dan evapotranspirasi akan terjadi dengan laju maksimum pada keadaan yang mungkin terjadi bila faktor ketersediaan energi pengendali dan air/kelengasan yang akan ditransfer dalam keadaan tak terbatas (tidak menjadi faktor pembatas). Selain itu untuk areal bervegetasi juga disyaratkan adanya penutupan yang optimum. Dalam keadaan demikian pemindahan air ke atmosfer hanya dipengaruhi oleh faktor pengendali fisik, cuaca (radiasi matahari, angin, kelembaban dan suhu). Sedangkan istilah evaporasi atau evapotranspirasi aktual mengekspresikan kondisi air tanah dan faktor fisiologis stomata turut menentukan. Metode pendugaan evaporasi dan evapotranspirasi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu

pendekatan meteorologis dan klimatologis (Ayoade, 1983). Pendekatan meteorologis terutama digunakan untuk studi iklim mikro, diperlukan alat yang sangat teliti serta waktu yang singkat. Pendekatan meteorologis ini dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu metode aerodinamik dan neraca energi.

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Sangkup

Evapotranspirasi di Kecamatan Sangkup menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan Maret dan April. Sedangkan evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Juni dan Februari. Nilai Evaporasitranspirasi dipengaruhi oleh faktor iklim seperti radiasi matahari, suhu udara, kelembaban dan curah hujan.

Hasil pengukuran lapang dan model untuk radiasi di kecamatan sangkub dapat dilihat pada Tabel 1 di bawah ini :

Tabel 1. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Sangkup

Bulan	Evapotranspirasi (Et ₀) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	115.63	122.81
Februari	112.28	116.03
Maret	123.38	128.3
April	122.7	121.29
Mei	117.18	124.19
Juni	106.2	117.55
Juli	116.56	119.77

Agustus	122.14	125.87
September	118.8	126.05
Oktober	127.1	129.07
November	115.5	121.2
Desember	115.63	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P>0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Sangkup.

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Bintauna

Evapotranspirasi di Kecamatan Bintauna menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan Maret dan Oktober, sedangkan evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Februari dan Juni. Hasil pengukuran lapang dan model untuk evapotranspirasi di Kecamatan Bintauna dapat dilihat pada Tabel 2 di bawah ini :

Tabel 2. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Bintauna

Bulan	Evapotranspirasi (Et ₀) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	119.66	122.81
Februari	112.84	116.03
Maret	122.76	128.3
April	120.6	121.29

Mei	116.25	124.19
Juni	110.1	117.55
Juli	115.32	119.77
Agustus	122.14	125.87
September	118.8	126.05
Oktober	124	129.07
November	114.3	121.2
Desember	117.18	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P > 0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Bintauna

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Timur

Evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Timur menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan Oktober dan Maret, sedangkan evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Juni dan Juli. Hasil pengukuran lapang dan model untuk evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Timur dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini :

Tabel 3. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Bolang Itang Timur

Bulan	Evapotranspirasi (E_t) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	120.9	122.81

Februari	113.96	116.03
Maret	122.76	128.3
April	120.6	121.29
Mei	118.42	124.19
Juni	110.1	117.55
Juli	113.7	119.77
Agustus	122.76	125.87
September	119.7	126.05
Oktober	124.62	129.07
November	115.5	121.2
Desember	116.25	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P > 0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Bolang Itang Timur.

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Barat

Evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Barat menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan April dan Oktober, sedangkan evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Juni dan Februari.

Hasil pengukuran lapang dan model untuk evapotranspirasi di Kecamatan Bolang Itang Barat dapat dilihat pada Tabel 4 di bawah ini :

Tabel 4. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Bolang Itang Barat

Bulan	Evapotranspirasi (Et ₀) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	119.66	122.81
Februari	113.4	116.03
Maret	122.76	128.3
April	120.6	121.29
Mei	114.39	124.19
Juni	110.4	117.55
Juli	115.94	119.77
Agustus	118.73	125.87
September	119.1	126.05
Oktober	126.48	129.07
November	115.2	121.2
Desember	116.25	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P > 0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Bolang Itang Barat.

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Kaidipang

Evapotranspirasi di Kecamatan Kaidipang menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan Maret dan Oktober, sedangkan evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Februari dan Juni. Hasil pengukuran lapang

dan model untuk evapotranspirasi di Kecamatan Kaidipang dapat dilihat pada Tabel 5 di bawah ini :

Tabel 5. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Kaidipang

Bulan	Evapotranspirasi (Et ₀) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	120.28	122.81
Februari	113.4	116.03
Maret	124	128.3
April	119.1	121.29
Mei	115.63	124.19
Juni	106.5	117.55
Juli	115.32	119.77
Agustus	119.35	125.87
September	118.8	126.05
Oktober	124	129.07
November	114.6	121.2
Desember	115.63	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P > 0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Kaidipang.

Pengukuran Evapotranspirasi di Kecamatan Pinogaluman

Evapotranspirasi di Kecamatan Pinogaluman menunjukkan bahwa evapotranspirasi tertinggi tercapai pada bulan Maret dan Oktober, sedangkan

evapotranspirasi terendah terjadi pada bulan Juni dan November. Hasil pengukuran lapang dan model untuk evapotranspirasi di Kecamatan Pinogaluman dapat dilihat pada Tabel 6 di bawah ini :

Tabel 6. Pengukuran Evapotranspirasi di lapang dan hasil model di Kecamatan Pinogaluman

Bulan	Evapotranspirasi (E_t) (mm/bulan)	
	Lapangan	Model
Januari	120.9	122.81
Februari	113.4	116.03
Maret	124	128.3
April	119.1	121.29
Mei	115.63	124.19
Juni	106.5	117.55
Juli	114.7	119.77
Agustus	120.9	125.87
September	118.8	126.05
Oktober	123.38	129.07
November	114	121.2
Desember	114.39	117.68

Sumber: Database Iklim Sulut, Tahun 2010

Hasil pengujian dengan menggunakan uji-t berpasangan tidak nyata ($P > 0.05$) antara model dan pengukuran lapang mendapatkan hasil yang tidak nyata dan ini menunjukkan bahwa model mampu memprediksi evapotranspirasi di kecamatan Pinogaluman.

Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa model mampu untuk menerangkan pengukuran lapangan evapotranspirasi ini terlihat dari trend data dan hasil uji t

berpasangan, ketepatan model untuk memprediksi pengukuran lapang dapat dilakukan dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap pengukuran evapotranspirasi seperti pengukuran unsur-unsur iklim. Ayoade (1983) mengatakan bahwa metode pendugaan evaporasi dan evapotranspirasi dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu pendekatan meteorologis dan klimatologis. Pendekatan meteorologis terutama digunakan untuk studi iklim mikro, diperlukan alat yang sangat teliti serta waktu yang singkat. Pendekatan meteorologis ini dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu metode aerodinamik dan neraca energi. Metode aerodinamik berdasarkan pada prinsip kesamaan (analogi) dan asumsi bahwa besarnya fluks molekul yang meninggalkan permukaan sebanding dengan gradien vertikalnya. Metode aerodinamik ini memerlukan pengukuran kecepatan angin (suhu, uap air) pada beberapa ketinggian.

Kesimpulan

Penelitian mengenai pendugaan evapotranspirasi padi sawah di Bolaang Mogondow Utara dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Model dapat memprediksi Evapotranspirasi di sentra produksi padi (Sangkub,

Bintauna, Bolang Itang Timur, Bolang Itang Barat, Kaidipang dan Pinogaluman)

2. Hasil Model mendapatkan bahwa penanaman padi di sentra produksi padi (Sangkub, Bintauna, Bolang Itang Timur, Bolang Itang Barat, Kaidipang dan Pinogaluman) dilakukan pada bulan Desember, Februari, Maret, dan April.

Saran

1. Diperlukan penyempurnaan model agar lebih tepat memprediksi curah hujan dan kelembaban.
2. Dilakukan pengujian model pada setiap fase-fase perkembangan tanaman padi, agar dapat diprediksi kebutuhan air pada setiap fase perkembangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ayoade, J. O. 1983. *Introduction to Climatology for The Tropics*. John Wiley and Sons. New York.
- Brooks, K.N, P. F. Ffolliott, H. M. Gregesen, dan J. L. Thames, 1989. *Hydrology and Management of Watershed*. Ohio State University Press, Ohio. USA.
- Daniel B, 2011. *Pendugaan Produksi Padi Sawah Tahun 2012-2015 Di Sulawesi Utara Dengan Data Bangkitan Curah Hujan HyBMG*. Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Unsrat
- De Datta, S.K. 1981. *Prinsiples and Practices of Rice Production*. A Wiley-Interscience Publication. New York: John Wiley & Sons. 618 p.
- Hardjono R. Soemartono dan Bahrin S. 1981. *Bercocok Tanamn Padi*, Yasaguna, Jakarta.
- Handoko, 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian*, Jurusan Agromet IPB, 112p.
- Handoko, I. 1996. *Analisis sistem dan Model Simulasi Komputer untuk Perencanaan Pertanian di Indonesia*. Materi Pelatihan (tidak dipublikasikan). Bogor, 2 – 6 September 1996. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA. IPB Bogor. 112 hlm
- Las Irsal, Syahbuddin .H. Surmaini. E, Fagi. M Achmad. 2009. *Iklm dan Tanaman Padi: Tantangan dan Peluang. Padi Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Badan penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Makarim, A.K dan Suhartatik. E. 2009. *Morfologi dan Fisiologi Tanaman Padi. Padi Inovasi Teknologi dan Ketahanan Pangan*. Balai Besar Penelitian Tanaman Padi. Badan

- penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Manik Katarina Tumiar. 2009. *Analisis Deret Waktu Curah Hujan Untuk Mengkaji Perubahan Iklim di Daerah Tangkapan Air Propinsi Lampung*. Fakultas Pertanian Universitas Lampung.
- Rogi, X.E.Johannes. 2002. *Penyusunan Model Simulasi Dinamika Nitrogen Pertanaman Kelapa Sawit (Elaeis guineensis Jacq.)*. Di unit Usaha Bekri Provinsi Lampung. Disertasi. Program Pasca Sarjana Institut Pertanian Bogor.
- Sugiarto, Y.1997.*Aplikasi Model Simulasi Tanaman untuk Pemetaan Potensi Hasil dan Manajemen Produksi Padi di Indonesia*. Skripsi. Jurusan GEOMET,FMIPA – IPB.Bogor.
- U.S. Soil Conservation Service, 1970. Irrigation water requirements. *U.S. Departement of Agriculture. Technical Release No. 21*
- Wanielista,M. P, 1990. *Hydrology and Water Quantity Control*. John Wiley and Sons, New York.565 hal