

# **PEMODELAN TANAMAN PADI**

**Penerapannya dengan Memerhatikan  
Neraca Air, Nitrogen, dan Radiasi Surya**

**Sanksi Pelanggaran Pasal 113**  
**Undang-undang No. 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta**

1. **Setiap Orang** yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

# **PEMODELAN TANAMAN PADI**

**Penerapannya dengan Memerhatikan  
Neraca Air, Nitrogen, dan Radiasi Surya**

**Dr. Ir. Gusti Rusmayadi, M.Si**



# **PEMODELAN TANAMAN PADI**

## **Penerapannya dengan Memerhatikan Neraca Air, Nitrogen, dan Radiasi Surya**

Diterbitkan pertama kali oleh CV Amerta Media  
Hak cipta dilindungi oleh undang-undang *All Rights Reserved*  
Hak penerbitan pada Penerbit Amerta Media  
Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau seluruh isi buku ini  
tanpa seizin tertulis dari Penerbit

**Anggota IKAPI**

Cetakan Pertama: Januari 2022

17,5 cm x 25 cm

**ISBN**

**Penulis:**

Dr. Ir. Gusti Rusmayadi, M.Si

**Editor:**

**Desain Cover:**

Adji Azizurrachman / Moushawi Almahi

**Tata Letak:**

Ladifa Nanda

**Diterbitkan Oleh:**

CV. Amerta Media

**NIB. 0220002381476**

Jl. Raya Sidakangen, RT 001 RW 003, Kel, Kebanggan, Kec. Sumbang,  
Purwokerto, Banyumas 53183, Jawa Tengah. Telp. 081-356-3333-24

Email: [mediaamerta@gmail.com](mailto:mediaamerta@gmail.com)

Website: [amertamedia.co.id](http://amertamedia.co.id)

Whatsapp : 081-356-3333-24

Isi di luar tanggung jawab penerbit Amerta Media

# KATA PENGANTAR

Pertumbuhan tanaman padi sangatlah dipengaruhi oleh variabilitas curah hujan atau ketersediaan air yang berinteraksi dengan nitrogen yang pada akhirnya memengaruhi efisiensi penggunaan radiasi (RUE). Permodelan berdasarkan RUE adalah salah satu alat yang jitu untuk menggambarkan proses pemahaman pertumbuhan tanaman, kemudian juga untuk memprediksi serta keperluan manajemen.

Penulis sangat berterima kasih kepada Dr. Ir Handoko, Msc., sebagai Ketua Komisi Penasihat, atas saran dan bimbingannya selama penelitian. Kepada anggota penasihat lainnya, Dr. Ir. Irsal Las dan Ir. Heny Suharsono, MS. atas saran dan kritik mereka diucapkan terimakasih.

Bantuan dari pegawai-pegawai Balitkabi Kendalpayak, Malang dan rekan lainnya sangat dihargai.

Penulis

# DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	i
<b>TENTANG BUKU</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>DAFTAR ISI</b> .....	vi
<b>BAB 1</b>	
PENDAHULUAN .....	1
<b>BAB 2</b>	
PERKEMBANGAN PRODUKSI PADI, LUAS PANEN DAN PRODUKTIVITAS .....	5
<b>BAB 3</b>	
KETERSEDIAAN AIR DAN NITROGEN TANAMAN SERTA EFISIENSI PEMAKAIAN RADIASI SURYA .....	7
A. Ketersedian Air .....	7
B. Ketersediaan Nitrogen .....	9
c. Nitrogen dan Radiasi Surya .....	10
<b>BAB 4</b>	
EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI SURYA .....	13
<b>BAB 5</b>	
MODEL SIMULASI TANAMAN PADI .....	15
A. Analisis Sistem, Model dan Simulasi .....	15
B. Model Simulasi dan Potensi Hasil Tanaman .....	16
C. Model Simulasi Tanaman Padi .....	17
<b>BAB 6</b>	
PERCOBAAN LAPANG PEMODELAN TANAMAN PADI .....	19

## **BAB 7**

MODEL SIMULASI TANAMAN PADI .....	23
A. Submodel Perkembangan.....	23
B. Submodel Pertumbuhan.....	26
C. Submodel Neraca Air .....	29
D. Submodel Nitrogen.....	34

## **BAB 8**

DINAMIKA NITROGEN DAN PERTUMBUHAN HASIL PADI .....	45
A. Neraca Air .....	45
B. Iklim dan Perkembangan Tanaman .....	48
C. Nitrogen tanah, pertumbuhan, serapan nitrogen, dan hasil tanaman .....	50
D. Komponen Hasil.....	62
E. Intersepsi Radiasi Surya.....	62
F. Efisiensi Penggunaan Radiasi (RUE).....	64

## **BAB 9**

### INTERAKSI AIR, NITROGEN DAN PERTUMBUHAN

HASIL PADI .....	67
A. Kadar Air Tanah .....	67
B. Iklim dan Perkembangan Tanaman .....	69
C. Nitrogen Tanah.....	71
D. Pertumbuhan Tanaman, Serapan Nitrogen dan Hasil .....	72
E. Intersepsi Radiasi Surya dan Efisiensi Penggunaan Radiasi .....	78

## **BAB 10**

SIMULASI TANAMAN PADI .....	83
A. Tampilan Model .....	83
B. Validasi Model Simulasi.....	87

## **BAB 11**

### PERTUMBUHAN PADI DAN FAKTOR YANG

MEMENGARUHINYA .....	93
----------------------	----

A. Neraca Air .....	93
B. Neraca Nitrogen Tanah.....	94
C. Efisiensi Penggunaan Radiasi .....	94
D. G a b a h .....	94
E. Model Simulasi Tanaman.....	96
F. Input Parameter dan Peubah .....	96
G. Sub Model Perkembangan.....	97
H. Sub Model Pertumbuhan .....	97
I. Sub Model Air .....	97
J. Sub Model Nitrogen.....	98
K. Percobaan Simulasi .....	98

## **BAB 12**

<b>PENUTUP.....</b>	<b>101</b>
---------------------	------------

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>103</b>
-----------------------------	------------

<b>INDEKS.....</b>	<b>107</b>
--------------------	------------

<b>GLOSARIUM.....</b>	<b>111</b>
-----------------------	------------

<b>PROFIL PENULIS.....</b>	<b>114</b>
----------------------------	------------



# BAB 1

## PENGANTAR

Dalam dasawarsa mendatang, tantangan utama yang dihadapi oleh para pengambil kebijaksanaan, perencana, industriawan, penyuluh pertanian maupun para petani sendiri adalah tersedianya bahan pangan yang berkecukupan dalam mutu yang baik bagi pemenuhan kebutuhan makanan pokok dan makanan yang bergizi. Dalam upaya meningkatkan produksi padi maka diperlukan pengembangan teknologi budidaya tanaman padi dan upaya pengambilan keputusan yang tepat dalam pertanamannya.

Komitmen pemerintah untuk melestarikan swasembda beras tidak berubah walaupun konsep yang dianut bergeser dari swasembada *annual* ke swasembada dalam *trend*. Hal ini dilatarbelakangi oleh fakta bahwa peranan beras dalam perekonomian Indonesia sangat strategis, sehingga ketergantungan terhadap pasar beras internasional sangatlah riskan. Di sisi lain, kondisi pangan dunia ternyata juga cukup rawan sebagaimana dinyatakan oleh Lester Brown (Presiden Wolrwatch Institut) dalam laporan awal tahun 1995 (Kompas, 18 Januari 1995).

Bagi bangsa Indonesia yang tahun 1994 terpaksa mengimpor lebih dari satu juta ton beras - setelah sepuluh tahun mampu ber-swawembada - peringatan Hari Pangan Sedunia yang jatuh setiap tanggal 16 Oktober, haruslah menjadi hari untuk bermawas diri (Kompas, 16 Oktober, 1995).

Walaupun berbagai usaha diversifikasi pangan telah dilakukan, namun ketergantungan masyarakat Indonesia terhadap komoditas beras sebagai pangan pokoknya masih cenderung meningkat. Menurut Nippon Koei Co., Ltd (1993), kebutuhan beras rata-rata per

kapita pada akhir Pelita III adalah sekitar 130 kg kapita<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup>, dan meningkat menjadi 147 kg kapita<sup>-1</sup> tahun<sup>-1</sup> pada tahun 1990. Tantangan untuk melestarikan swasembada beras di masa mendatang semakin berat. Hal ini disebabkan kendala peningkatan produksi padi yang semakin besar.

Pengalaman memperlihatkan bahwa potensi ancaman aktual terhadap swasembada beras terutama berasal dari (a) serangan hama/penyakit padi yang meluas, (2) puso akibat banjir dan kekeringan dan (c) apabila tidak berhasil dikendalikan adalah juga konversi lahan sawah ke penggunaan non pertanian. Sedangkan ancaman potensialnya berasal dari kurang-berhasilan dalam pengembangan lahan sawah baru dan kegagalan dalam memacu peningkatan produktivitas usaha tani padi.

Usaha tani padi khususnya atau pangan pada umumnya adalah aktivitas pertanian yang sifatnya *land base*. Bahkan untuk padi dapat dikatakan *land-water base*. Implikasinya adalah keberhasilan pelestarian swasembada pangan akan banyak tergantung pada sistem pengelolaan sumber daya lahan dan air pada lingkup mikro maupun makro. Secara operasional ini berarti akan tergantung pada keberhasilan pengembangan lahan sawah, peningkatan intensitas tanam, dan teknik-teknik irigasi yang efisien.

Dalam usaha meningkatkan ketepatan pengambilan keputusan dalam mengelola pertanaman padi dibutuhkan suatu rumusan model yang dapat menduga produksi dari data yang tersedia. Untuk memenuhi maksud tersebut maka perlu diperhatikan pengaruh sifat genetik, kultur teknis, dan keadaan lingkungan fisik tanaman terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi.

Dalam budidaya padi, pertumbuhan atau fenotip merupakan gabungan beberapa indikator tumbuh seperti tinggi tanaman, anakan, warna dan luas daun, serta bahan hijauan. Walaupun masing-masing indikator tumbuh sangat tergantung pada sifat genetik tanaman, namun sifat genetik masih dapat berubah akibat pengaruh lingkungan sehingga akan terbentuk fenotip tertentu.

Lahan dan cuaca atau iklim merupakan faktor lingkungan fisik tanaman padi dalam skala terbatas secara relatif masih dapat diperbaiki apabila ternyata kurang sesuai dengan pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Akan tetapi iklim merupakan salah satu

faktor lingkungan fisik tanaman yang belum dapat dikendalikan dan sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman. Perubahan iklim dalam jangka waktu yang panjang dapat mengakibatkan perubahan produksi.

Iklim merupakan lingkungan yang berhubungan dengan keadaan fisik dari atmosfer, baik secara makro maupun mikro di sekitar tanaman, di mana variasinya dicirikan oleh beberapa unsurnya. Unsur-unsur tersebut dikenal sebagai unsur iklim.

Radiasi surya di samping memengaruhi kehidupan tanaman secara langsung, juga berperan dalam pengendalian unsur-unsur iklim lain yang juga berperan pada tanaman, dalam fungsinya sebagai unsur pengendali iklim, baik intensitas, kualitas dan kesetimbangannya dipermukaan bumi.

Dibandingkan dengan suhu udara, radiasi surya di daerah tropis lebih berpengaruh terhadap produksi padi. Dalam pertumbuhan tanaman, radiasi sangat diperlukan untuk berlangsungnya proses fotosintesis yang menghasilkan berat kering tanaman. Berat kering tanaman tersebut berkorelasi dengan jumlah radiasi yang diintersepsi selama pertumbuhan. Efisiensi penggunaan radiasi surya yang tinggi merupakan syarat penting dalam merubah sebanyak mungkin radiasi yang diintersepsi menjadi biomas dan produksi.

Untuk menghasilkan produksi optimum tanaman padi, air harus memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, perkolasi dan rembesan. Persediaan air yang cukup, penting untuk pertumbuhan serta produksi padi yang tinggi. Kebutuhan air bervariasi menurut umur, varietas padi, tipe tanah, topografi dan Lain-lain.

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman hanya berlangsung apabila tersedia unsur-unsur hara makro maupun mikro. Unsur-unsur hara tersebut, nitrogen merupakan unsur hara yang paling banyak dibutuhkan tanaman sehingga pertumbuhan tanaman relatif peka terhadap kekurangan nitrogen. Hal tersebut mengakibatkan terjadi penurunan hasil panen dan kualitas beras. Pemupukan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan pada apabila hara tersedia dalam tanah tidak mencukupi. Kenaikan tingkat produksi total pangan padi hampir seluruhnya disebabkan peningkatan produktivitas karena perbaikan teknologi bibit unggul dan pemupukan berat.

Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) adalah faktor konversi antara total radiasi intersepsi atau diserap oleh kanopi tanaman dan dikaitkan dengan karbondioksida yang difiksasi atau biomassa yang dihasilkan. Faktor ini telah dipergunakan untuk mempelajari pertumbuhan dan Analisis varietas tanaman, lingkungan hingga sekarang. RUE telah menjadi komponen yang sangat berguna dalam model pertumbuhan tanaman dan hasilnya (Arkebauer, 1994).

## BAB 2

# PERKEMBANGAN PRODUKSI PADI, LUAS PANEN DAN PRODUKTIVITAS

Pemerintah telah melakukan berbagai upaya untuk mempertahankan swasembada beras. Mulai penggunaan areal perkebunan untuk padi gogo varietas unggul baru (VUPGB), menjadikan lebak sebagai sawah baru dengan teknologi prima, penggunaan lahan kering dengan teknologi tanpa olah tanah (TOT) dan usaha pengurangi susut panen, menemukan varietas unggul serta tahan hama. Upaya terakhir dengan mengembangkan lahan gambut 1.2 juta hektar di Kalimantan Tengah. Kelak, untuk sasaran kesekian adalah pengembangan lahan 2.0 juta hektar (dari potensi 6.5 juta hektar) di Kawasan Mamberamo, yang membentang di utara dan timur laut Merauke.

Faktor lainnya, penduduk Indonesia terus meningkat 1.8% per tahun, seiring dengan peningkatan konsumsi beras. Penduduk yang dulu hanya cukup makan sagu dan makanan di luar beras, sekarang merasa tidak lengkap kalau tidak mengonsumsi beras.

Persoalan lainnya adalah konsentrasi produksi padi nasional masih di Pulau Jawa (

Tabel 1) yang jika terjadi musim kering berkepanjangan seperti tahun 1994 atau serangan hama besar-besaran atas lahan pertanian padi di pulau tersebut, maka Indonesia terancam kekurangan beras.

Tabel 1. Hasil Panen Padi Sawah di beberapa wilayah (ton ha<sup>-1</sup>)

Pulau/Kawasan	1992	1993	1994
Sumatera	3.996	4.014	4.791
Bali dan Nusra	4.450	4.466	4.476
Kalimantan	2.816	2.797	2.790
Sulawesi	4.136	4.195	4.210
Maluku-Irian Jaya	2.759	2.858	2.830
Luar Jawa	3.908	3.912	3.918
Jawa	5.269	5.305	5.308
Indonesia	27.334	27.547	28.323

Sumber: (BPS, 1994)

Indonesia sampai saat ini masih perlu meningkatkan produktivitas lahan. Contoh, ada lahan yang hanya mampu memproduksi pada 0.8 ton ha<sup>-1</sup> di Jeneponto dan Takalar (Sulawesi Selatan) namun adapula yang mampu memproduksi 11 ton ha<sup>-1</sup> di Pinrang, Pangkajene dan Sidenreng Rappang (Sulawesi Selatan). Ini memerlukan ikhtiar lebih keras untuk mempertahankan tingkat produktivitas tinggi dan menaikkan tingkat produktivitas sawah tadah hujan yang hanya mampu memproduksi 0.8 ton ha<sup>-1</sup> GKG.

Di Indonesia juga padi lebih banyak diusahakan sebagai padi sawah (85 – 90%) dan sebagian kecil sebagai padi gogo (10 – 15%), serta yang sedang digarap adalah lahan lebak (rawa) dan pasang surut. Karena konsentrasi produksi lebih banyak pada padi sawah, maka diperlukan infrakstruktur yang mendukung seperti waduk serta intensifikasi penggunaan sawah, perbaikan dan pengoptimalan saluran irigasi.

Jadi, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, pertama mengoptimalkan potensi lahan kering, kemudian menyusul lahan lebak (rawa) dan pasang surut, kedua memecah konsentrasi lahan sawah ke

wilayah subur lainnya seperti Aceh dan Sulawesi Selatan yang perlu diberi sentuhan teknologi pengairan yang lebih tinggi dan menyeluruh, karena terlalu riskan untuk mengkonsentrasikan lahan sawah di pulau Jawa saja. Produksi beras nasional 62% berasal dari pulau yang relative kecil ini.

## **BAB 3**

# **KETERSEDIAAN AIR DAN NITROGEN TANAMAN SERTA EFISIENSI PEMAKAIAN RADIASI SURYA**

### **A. KETERSEDIAAN AIR**

Air merupakan komponen utama dalam pertumbuhan tanaman, karena air berfungsi dan berbagai proses fisiologi tanaman. Kekurangan air pada tanaman padi akan menyebabkan rendahnya nilai indeks luas daun (LAI), menggulungnya daun dan menutupnya stomata. Sehingga secara fisiologis dapat menurunkan laju fotosintesa dan terganggunya mobilitas unsur hara dan hasil berbagai sintesa. Akibatnya menurut Vergara (1976) produksi bahan kering, jumlah tunas dan hasil gabah padi akan berkurang.

Intensitas hujan dan kemampuan tanah menahan air menimbulkan perbedaan ekosistem tergenang untuk padi sawah dan ekosistem lembab untuk padi gogo. Produktivitas lahan dan produksi padi dari sistem sawah lebih tinggi dibandingkan dengan sistem padi gogo. Di antara sistem sawah, lahan sawah berpengairan lebih produktif dari pada lahan sawah tadah hujan. Keragaman

produktivitas dan produksi padi itu terjadi karena, baik secara langsung maupun tidak, air memengaruhi metabolisme karbon dan protein. Oleh karena itu, curah hujan yang rendah dapat mengurangi ketersediaan air dan menurunkan produksi padi. Dengan demikian, curah hujan menyediakan air bagi tanaman padi dan air adalah penghubung antara lingkungan perakaran padi yaitu tanah dengan lingkungan daun dan batang yaitu lingkungan atas tanah atau iklim. Nisbah antara bagian atas padi dan akar padi (*top/root ratio*) adalah suatu abstraksi dari kualitas lingkungan cuaca-iklim dan lingkungan tanah.

Padi sawah adalah tanaman *semi aquatic* yang membutuhkan air lebih banyak dari tanaman lainnya. Untuk menghasilkan produksi optimum tanaman padi, air harus memenuhi kebutuhan evapotranspirasi, perkolasi dan rembesan. De Datta (1981) menyatakan bahwa kebutuhan air bervariasi menurut umur, topografi dan lain-lain.

Air yang dibutuhkan tanaman padi sebagian besar digunakan untuk memenuhi kebutuhannya dalam melakukan evapotranspirasi. Doorenbos dan Kassam (1979) menjelaskan bahwa jumlah air yang diperlukan berkisar antara 450 - 700 mm, tergantung pada iklim dan panjang hari setiap periode pertumbuhannya. Selanjutnya dijelaskan bahwa evapotranspirasi bertambah dengan adanya pertumbuhan vegetatif, dengan laju pertumbuhan tertinggi sebelum fase pembungaan sampai dengan awal pembentukan biji. Kehilangan air melalui evapotranspirasi menjadi lebih kecil pada penggenangan yang dangkal atau ketika lapisan atas tanah sebagian mengering.

Sedangkan jika kehilangan air melalui transpirasi melebihi penyerapan air, maka menurut Chang (1969), keseimbangan air pada tanaman akan bernilai negatif. Pada kondisi yang demikian, tanaman akan mengintensifkan penyerapan air melalui sistem perakaran atau menambah daya hisap untuk mengambil air lebih banyak sebagai cara untuk menghindari peningkatan kehilangan air.

Tanaman padi sawah sangat peka terhadap kekurangan air. Curah hujan yang cukup untuk tanaman lainnya, bagi tanaman padi masih diperlukan tambahan pengairan. Beberapa prinsip sehubungan dengan pengairan diungkapkan oleh Chandler (1979) yaitu tanaman padi tumbuh sangat baik pada lahan yang selalu terendam sejak tanam hingga mendekati pemasakan. Kedalaman air yang ideal



untuk tanaman padi antara 5 - 7 cm. Variasi kedalaman 2 - 15 cm dengan interval 7 atau 10 hari dapat mengatasi kondisi kekurangan air pada pertumbuhan tanaman padi, terutama pada wilayah tropik.

Keuntungan yang diperoleh dengan diterapkannya pengairan secara berkesinambungan adalah terjaminnya ketersediaan oksigen, menghindari pengaruh hidrogen sulfida dan zat beracun Lainnya, pengaturan suhu tanah dan udara serta menekan pertumbuhan gulma (Chandler, 1979).

Menurut James, Hanks dan J. Jurinak (1982) hubungan antara evapotranspirasi dengan produksi padi lebih nyata daripada hubungan antara pengairan dengan produksi. Meskipun demikian, pengairan tetap memiliki pengaruh yang besar terhadap hasil yang diperoleh, seperti yang diungkapkan oleh Steiner *et al* (1985), pengairan sangat berpengaruh terhadap total bahan kering, hasil biji dan jumlah komponen hasil tanaman per meter persegi, jumlah biji tiap tanaman, massa biji dan nilai *Harvest Indeks*.

Pada lahan kering dan sawah tadah hujan, air hujan yang dimanfaatkan adalah hujan langsung yang jatuh pada lahan bersangkutan. Oleh karena itu pertumbuhan dan daya hasil padi sawah tadah hujan sangatlah dipengaruhi oleh jumlah dan sebarannya.

Beberapa hasil penelitian di IRRI (1975; 1978) diketahui bahwa dengan curah hujan 200 - 300 mm per bulan sudah cukup untuk menanam padi. Namun lebih jauh Kung (1971) memperkirakan kebutuhan air padi dengan memperhitungkan laju evapotranspirasi tanaman ( $ET_{crop}$ ) dan air perkolasi harian, adalah sekitar 85 - 185 mm per bulan untuk padi sawah, sedangkan untuk tanaman yang diusahakan secara kering (*upland crop*) sekitar 75 - 125 mm per bulan. Dalam perencanaan pertanian di suatu daerah berdasarkan data curah hujan rata-rata jangka panjang, Oldeman (1975) memperkirakan bahwa suatu daerah memungkinkan untuk ditanami padi bila rata-rata curah hujannya lebih dari 100 mm per bulan. Sebagai contoh wilayah Monsoon di Kalimantan Selatan yang mempunyai curah hujan lebih dari 100 mm sehingga ketersediaan air berkisar antara 5 - 9 bulan (Rusmayadi, G., *et al.*, 2017).

## **B. KETERSEDIAAN NITROGEN**

Unsur hara nitrogen merupakan hara yang paling banyak dibutuhkan tanaman sehingga pertumbuhan tanaman relatif peka terhadap kekurangan nitrogen. Heenan dan Bacon (1985) menyatakan adanya korelasi yang kuat antara pemberian N, pertumbuhan, indeks luas daun, dan hasil gabah akhir. Kemudian studi dengan varietas Inga menunjukkan bahwa mendekati 50% N yang diasimilasi telah diambil tanaman bagian atas pada saat inisiasi malai dan 90% diserap untuk pengisian gabah. Pada periode antara inisiasi malai dan pengisian gabah, kecepatan nitrogen yang diserap bertepatan dengan perkembangan adventif pada permukaan tanah. Laju nitrogen yang diserap 6 - 7 kg per hektar per hari pada pemupukan 67 kg N ha<sup>-1</sup> pada saat inisiasi malai.

## **C. NITROGEN DAN RADIASI SURYA**

Di Indonesia selama musim hujan, pengurangan intensitas dan kualitas radiasi surya sangat terasa, diduga pengurangan yang terbesar adalah dari fraksi cahaya tampak yang sangat dibutuhkan oleh tanaman (Chambers, 1978).

Produksi gabah padi yang ditanam selama musim penghujan lebih rendah dibandingkan dengan musim kemarau, yaitu pada lahan-lahan yang ketersediaan airnya terjamin sepanjang tahun. Hal ini disebabkan rendahnya intensitas radiasi surya selama musim penghujan dibandingkan musim kemarau.

Radiasi surya berperan terhadap pertumbuhan dan hasil gabah padi sejak fase pertunasan sampai saat panen. De Datta dan Vergara (1975) lebih lanjut menjelaskan bahwa hasil gabah berkorelasi positif dengan intensitas radiasi surya harian selama fase reproduktif hingga panen. Fagi dan De Datta (1981) menyatakan bahwa intensitas radiasi surya selama 45 - 30 hari sebelum panen menentukan pengisian malai dan hasil padi. Jadi untuk memperoleh hasil padi yang tinggi, waktu tanam dapat diatur agar fase reproduktif jatuh pada saat intensitas radiasi surya yang tinggi.

Daya tangkap radiasi surya dari varietas padi unggul yang tinggi menyebabkan laju fotosintesis yang tinggi pula. Akibatnya, varietas padi unggul memerlukan hara lebih banyak untuk mengimbangi laju fotosintesis tersebut. Pemupukan diperlukan untuk memenuhi kebutuhan hara padi bila hara tersedia tanah tidak mencukupi. Menurut Darwis (1981) laju serapan hara oleh akar padi cenderung meningkat dengan meningkatnya intensitas radiasi surya. Beberapa hasil penelitian (IRRI, 1985) menunjukkan bahwa respons terhadap nitrogen sangat meningkat pada tingkat radiasi surya yang tinggi dan menurun jika tingkat radiasi surya rendah. Juga pada tanah yang tidak diberi nitrogen radiasi surya pengaruhnya kecil terhadap hasil.



## BAB 4

# EFISIENSI PEMANFAATAN RADIASI SURYA

Radiasi surya pada kisaran panjang gelombang PAR (*Photosynthetically Active Radiation*) berperan dalam proses fotosintesis. Laju fotosintesa meningkat sampai titik kejenuhan cahaya dengan makin tingginya kerapatan *fluks* radiasi. Untuk tanaman yang tumbuh di lapang, efisiensi penggunaan radiasi surya ( $\epsilon'$ ) biasanya dinyatakan dengan nisbah antara penambahan dari massa tanaman ( $dW$ ) dengan jumlah radiasi yang diintersepsi tajuk tanaman ( $Q_{int}$ ). Radiasi intersepsi merupakan selisih antara radiasi surya datang dengan yang diteruskan tajuk tanaman. Dalam hal ini,  $dW$  merupakan integral fotosintesis menurut luas daun dan waktu yang telah dikurangi respirasi ( $R$ ).

Monteith (1977) menganalisis hubungan akumulasi bahan kering tanaman dengan intersepsi radiasi surya, dimana efisiensi pemanfaatan radiasi surya (RUE) adalah  $\approx 1.4 \text{ g MJ}^{-1}$  untuk kebanyakan tanaman. Kiniry *et al* (1989) melaporkan nilai dari RUE untuk jagung adalah  $1.6 \text{ g MJ}^{-1}$ ,  $1.3 \text{ g MJ}^{-1}$  untuk sorgum [*Sorghum bicolor* (L.) Moench] dan bunga matahari (*Helianthus annuus* L.) dan  $1.0 \text{ g MJ}^{-1}$  untuk padi (*Oriza sativa* L.) dan gandum (*Triticum aestivum* L.). Jarak pagar berkisar antara  $0.94 - 1.30 \text{ g MJ}^{-1}$  (Rusmayadi *et al.*, 2008).

Sinclair & Horie (1989) menunjukkan perbedaan RUE di antara spesies sangat diharapkan. Kemudian, RUE akan bervariasi dalam suatu spesies, tergantung pada kejenuhan cahaya pada laju fotosintesa daun. Selain itu ia juga menunjukkan bahwa RUE

tergantung pada kandungan nitrogen daun. Prediksi pentingnya nitrogen daun telah dicobakan pada maize dan sorghum (Muchow, 1988), peanut (Wright *et al.*, 1993) dan kedele (Sinclair and Shiraiwa, 1993).

Defisit air juga secara langsung menurunkan RUE oleh karena penurunan aktivitas fotosintesis. Dan ini menurut Demetriades-Shah *et al* (1992), episode defisit air segera terjadi pada kondisi lapang. Penggunaan RUE yang merupakan pengaruh dari defisit air dapat dikuantifikasi dengan membandingkan RUE observasi dengan RUE pada kondisi perairan yang baik. Pengukuran RUE pada kenyataannya sangatlah membantu untuk mengerti konsekuensi kekeringan bagi tanaman.

Pemodelan (*modelling*) hasil tanaman dengan kondisi defisit air adalah penting untuk menjelaskan perilaku tanaman pada kondisi lapangan umumnya. Itu tidak lain disebabkan oleh kapasitas pertukaran gas dari daun, RUE tergantung pada fungsi pengaruh fisiologis dari defisit air tanah. Oleh karena itu menurut (Arkebauer *et al*, 1994) perhitungan neraca air tanah harian, sebagai konsekuensi kandungan air tanah, pengaruh defisit air tanah dapat dihubungkan secara langsung dengan RUE, pertumbuhan tanaman dan hasil. Contoh sederhana model yang sangat berhasil dipakai adalah dalam mensimulasi pertumbuhan kedelai (Muchow and Sinclair, 1986), maize (Muchow and Sinclair, 1991), gandum (Amir and Sinclair, 1991; Handoko 1992), serta jarak pagar (Rusmayadi, G., *et al.*, 2008). Beberapa faktor klimatis yang juga memengaruhi efisiensi pemantaaan radiasi surya antara lain adalah (1) lintang dan musim, (b) keawanan dan kandungan aerosol atmosfer, (c) komposisi spektral radiasi surya, (d) konsentrasi CO<sub>2</sub> di lingkungan tanaman dan (e) kuantum cahaya yang dibutuhkan dalam proses fotokimia. Sedangkan faktor tanaman dan lingkungan lainnya yang berpengaruh adalah (a) posisi dan susunan daun, (b) indeks luas daun (LAI), (c) struktur dan kadar atau jenis pigment daun, (d) ketersediaan air dan hara (Wareing dan Cooper, 1971).

## BAB 5

# MODEL SIMULASI TANAMAN PADI

### A. ANALISIS SISTEM, MODEL DAN SIMULASI

Analisis sistem adalah suatu studi tentang sistem dan atau organisasi dengan menggunakan azas-azas ilmiah yang dapat menghasilkan suatu konsepsi dan atau model. Konsepsi dan model tersebut dapat digunakan sebagai dasar kebijaksanaan, perubahan struktur, taktik dan strategi pengelolaan sistem tersebut. Sedangkan sistem adalah gambaran suatu proses atau beberapa proses (beberapa subsistem) yang teratur. Kemudian, model dapat diartikan sebagai penyederhanaan dari suatu sistem.

Dalam analisis agroekosistem dan simulasi yang banyak berperan adalah model. Model dapat berupa konsepsi mental, hubungan empirik atau kumpulan pernyataan matematik atau statistik atau dapat juga dinyatakan sebagai representasi sederhana dari suatu sistem yang kompleks (Haan, 1977). Model-model dalam bidang hidrologi umumnya dapat dikelompokkan menjadi model-model deterministik, parametrik, stokastik atau kombinasinya.

Handoko (1994) mengemukakan bahwa model dapat dipergunakan untuk berbagai keperluan yaitu (1) untuk pemahaman proses (2) prediksi serta (3) untuk keperluan manajemen. Bey (1989) berpendapat bahwa bagaimanapun baiknya model yang dirancang ia tetap mempunyai keterbatasan dan merupakan distorsi dari sistem

yang sebenarnya. Oleh karena itu, model harus digunakan secara teliti dan seksama dengan data yang sesahih dan selengkap mungkin.

## **B. MODEL SIMULASI DAN POTENSI HASIL TANAMAN**

Hasil panen yang ditentukan oleh produksi biomassa (bahan kering), merupakan perwujudan akhir hasil proses fotosintesis. Oleh karena itu produksi bahan kering merupakan fungsi dari radiasi aktif fotosintesis (PAR) yang diintersepsi oleh daun, laju pertumbuhan dan tipe daun (Chang, 1968). Lebih lanjut Thornley (1979) menyatakan bahwa produksi bahan kering berasal dari aliran asimilat yang besarnya tergantung kepada radiasi datang dan luas daun aktif berfotosintesis. Namun demikian faktor air (lengas tanah), suhu udara dan hara tanaman juga sangat berperan.

Menurut Tanaka (1976) potensi produksi suatu tanaman merupakan produksi bahan kering pada periode tertentu, dimana akar tumbuh pada kondisi lingkungan optimal, memperoleh masukan air dan hara yang cukup. Laju pertumbuhan tanaman hanya tergantung pada enersi surya yang diperoleh tanaman. Oleh sebab itu, untuk menduga potensi suatu hasil suatu tananaman pada umumnya adalah dengan mengkonversi total PAR yang diterima tanaman menjadi bahan kering sesuai dengan kemampuan genetik tanaman. Dengan teknik simulasi dan *modeling*, berbagai peubah tersebut dapat diintegrasikan secara langsung dalam menentukan potensi tanaman.

Bakema dan Jansen (1985) menyatakan bahwa model simulasi tanaman disusun oleh satu gugus persamaan yang menghitung fotosintesis potensial tanaman sebagai fungsi dari data cuaca harian dan perkembangan tanaman, serta luas daun. Penning de Vries *et al* (1989) mengisyaratkan bahwa model simulasi untuk menduga hasil tanaman setidaknya harus bertitik tolak dari peubah genetik dan cuaca. Peubah genetik digunakan antara lain adalah fenologi, laju pertumbuhan potensial dan tipe daun, sedangkan peubah cuaca adalah radiasi surya dan suhu udara. diasumsikan bahwa air dan atmosfer ( $\text{CO}_2$ ) tidak menjadi kendala atau dapat dimanipulasi.



### C. MODEL SIMULASI TANAMAN PADI

Model simulasi tanaman mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan hasil penelitian agronomi di lapangan khususnya dalam penghematan waktu dan biaya (Handoko, 1993). Lebih lanjut dijelaskan dengan menggunakan model yang telah teruji keabsahannya, model simulasi dapat digunakan untuk membantu pengambilan keputusan-keputusan secara agronomis seperti waktu tanam, kerapatan tanaman, waktu dan laju pemupukan nitrogen dan irigasi serta untuk Analisis resiko (Handoko, 1992).

Menurut Muchow *et al.* (1994) menjelaskan, model simulasi pertumbuhan tanaman adalah alat yang jitu (*powerful*) untuk meningkatkan efisiensi riset menurut Analisis perilaku (*performance*) tanaman pada lokasi yang berbeda dimana iklim merupakan peubah dan secara relatif tidak dapat diprediksi.

Biomassa tanaman ( $g\ m^{-2}$ ) dapat dijelaskan sebagai fungsi dari sejumlah radiasi yang diintersepsi ( $MJ\ m^{-2}$ ) dengan efisiensi penggunaan radiasi ( $g\ MJ^{-1}$ ). Landaian dari hubungan akumulasi biomassa dan jumlah radiasi yang diintersepsi adalah efisiensi penggunaan radiasi (RUE) dan ini bervariasi menurut umur dan nitrogen daun spesifik (SLN) (Muchow dan Davis, 1988).

Model terdiri dari empat sub model, yaitu perkembangan, pertumbuhan tanaman, neraca air dan nitrogen. Laju perkembangan dan masing-masing kejadian fenologi tanaman padi didekati dengan konsep *heat unit*. Sub model pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesa ke organ-organ tanaman (daun, batang, akar, biji) serta kehilangannya berupa respirasi. Sub model ini juga mensimulasi perkembangan luas daun untuk menduga luas daun (LAI). Komponen neraca air meliputi curah hujan, irigasi, intersepsi tajuk, infiltrasi, perkolasi, limpasan, kadar air tanah, evaporasi dan transpirasi. Sub model nitrogen menguraikan proses nitrogen dalam tanah dan tanaman.



## BAB 6

# PERCOBAAN LAPANG PEMODELAN TANAMAN PADI

Untuk membangun dan memverifikasi mdoel, penulis melakukan percobaan lapang. Percobaan ini menggunakan benih padi varietas IR 64, pupuk nitrogen, fosfor dan kalium, yang berturut-turut dalam bentuk Urea, TSP dan Kalium, bahan kimia KCl, aquadest, insektisida (Diazinon dan Ambush). Sementara media tanam yang digunakan berupa sawah seluas 2.000 m<sup>2</sup> dengan tanah yang mempunyai kedalaman olah 40 cm.

Dalam percobaan lapang ini alat yang digunakan adalah bor tanah Belani, ring sampler, timbangan digital, oven, lisimeter yang terbuat dari drum dengan diameter 50 cm sebanyak 5 pasang (terbuka dan tertutup) dan penguji kadar air gabah (Grain Moisture Meter) Model PB-1 Kett. Alat pengukur curah hujan tipe Observatorium yang terletak sekitar 100 m dari lokasi percobaan. Tube solarimeter sebanyak 5 buah yang ditempatkan di lokasi percobaan dan reciever Adlas - MC satu buah. Kadar air tanah selama pertumbuhan diukur dengan 1 set neutron probe meter tipe Sentry 200 - AP.

### 1. Metoda Percobaan

Rancangan percobaan yang digunakan adalah *Split Plot Design* (Gomez and Gomez, 1976). Perlakuan percobaannya adalah 2 tingkat penyediaan air yaitu irigasi (IR) dan tadah hujan (TH) sebagai petak utama sedangkan anak petaknya adalah 5 taraf

pemupukan nitrogen dengan dosis 0, 25, 50, 100, 200 kg ha<sup>-1</sup>, diulang empat kali. Jumlah plot yang digunakan sebanyak 40 buah, yang berukuran 5 m x 4 m dengan jarak tanam 25 cm x 25 cm.

## 2. Pelaksanaan Percobaan

Percobaan lapang dilaksanakan dengan dua tahap penanaman yang berurutan selang satu bulan. Pemupukan kalium menggunakan 100 kg K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> dan fosfor menggunakan 100 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>. Pemberian sekaligus sehari sebelum tanam. Sedangkan nitrogen sesuai dosis perlakuan diberikan dua kali (pada umur 0 dan 35 HST).

Pemberian air untuk perlakuan tadah hujan dihentikan pada saat tanaman berumur 10 hari setelah tanam. Sedangkan perlakuan irigasi diberikan dua kali seminggu dengan ketinggian air 5 cm. Untuk mempertahankan ketersediaan oksigen di dalam air, dilakukan penggantian air dengan jalan melakukan pengurasan jika air masih tergenang bersamaan dengan saat pemberian air irigasi. Satu minggu sebelum fase masak fisiologis irigasi dihentikan.

## 3. Pengamatan

### a. Unsur Iklim

Untuk mengetahui keadaan unsur iklim di lapang terbuka, tanpa pengaruh perlakuan diambil dari data pengamatan pada stasiun klimatologi Kendalpayak (Stasiun No. 52) untuk data curah hujan (mm hari<sup>-1</sup>) stasiun Fakultas Pertanian Unibraw (Stasiun No. 52C) untuk unsur lainnya seperti intensitas radiasi surya (cal cm<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>), suhu udara (°C), kelembapan nisbi (%) dan kecepatan angin (m detik<sup>-1</sup>).

Evapotranspirasi diukur dengan menggunakan dua buah drum berpasangan (pakai alas dan tanpa alas) dan ditanam pada plot percobaan perlakuan irigasi dengan pemupukan 0, 25, 50, 100 dan 200 kg N ha<sup>-1</sup>. Empat rumpun padi ditanam di dalam lisimeter. Pengukuran evapotranspirasi setiap pukul 07.00 WIB selang tiga hari.

## b. Tanah

Pada saat percobaan berlangsung nilai pF 2.54 = 45% dan pF 4.2 = 31%, bobot isi adalah 1.1 g cm<sup>-3</sup>, laju permeabilitas agak cepat, yaitu 9.6 cm jam<sup>-1</sup>, N total 0.1% yang relatif seragam sampai dengan kedalaman 40 cm dan nitrogen tanah cukup tinggi (134 kg ha<sup>-1</sup>). Sedangkan sifat kimia tanah yang diukur antara lain N, P, K, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Untuk amonium dan nitrat dianalisis pada saat fase tanam, tunas maksimum, anthesis dan masak fisiologis, yang dinalisis masing-masing dengan alat Auto-Analyzer dan Spectrometri. Kadar air tanah diukur pada saat tanam dan seminggu sekali hingga masak fisiologis pada masing-masing perlakuan.

## c. Neraca air

Kandungan air tanah diukur dengan neutron probe meter selang 1 minggu. Pengukuran dibuat pada kedalaman 20 cm dan 40 cm. Pengukuran secara gravimetri juga dilakukan pada kedalaman tersebut untuk keperluan kalibrasi.

Lahan pertanaman diasumsikan rata sehingga limpasan permukaan tidak terjadi. Pada lahan tadah hujan evapotranspirasi tanaman termasuk evaporasi tanah, dan evaporasi dari air yang intersepsi oleh daun dan diukur berdasarkan kandungan air tanah pada saat t-1 dan t, yaitu:

$$ET_a = R + SWC_t - SWC_{t-1} + I_t + D_t$$

ET<sub>a</sub> adalah evapotranspirasi tanaman (mm), SWC adalah kandungan air tanah rata-rata seluruh profil (mm), I adalah irigasi yang diberikan (mm), R adalah curah hujan (mm), dan D adalah draenase (mm), yang pada percobaan ini tidak diukur

Evapotranspirasi potensial (ET<sub>p</sub>) dan proporsi radiasi yang diintersepsi oleh kanopi tanaman digunakan untuk menduga transpirasi maksimum (T<sub>m</sub>). Transpirasi maksimum ini dan kandungan air tanah (θ) digunakan untuk menduga transpirasi aktual (T<sub>a</sub>) menurut Stapper (1984).

$$T_m = \{1 - \exp^{-0,45 LAI}\} ET_p$$

$$T_a = \frac{T_m(\theta - \theta_{wp})}{\{0,4(\theta_{fc} - \theta_{wp})\}} \quad \text{dengan } \theta > \theta_{wp}$$

$$T_a = T_m \quad \text{dengan } \theta \geq \{\theta_{wp} + 0,4(\theta_{fc} - \theta_{wp})\}$$

LAI adalah indeks luas daun. Aktual evaporasi tanah (Ea) dihitung dengan mengurangkan nilai ETa dan Ta.

#### d. Nitrogen tanah

Kandungan nitrogen tanah dalam bentuk (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) dan nitrat (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) diukur sebanyak empat kali selama periode pertumbuhan. Contoh tanah diambil dengan bor berdasarkan kedalaman 0-20 dan 20-40 cm menurut jumlah ulangan masing-masing perlakuan. Contoh seberat 30 g tanah diekstrak dengan 80 ml 2.5 N KCl. Penetapan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> dengan Auto-Analyzer dan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dengan Spectrometri (Morgan,1941 dan Wolf, 1982).

#### e. Tanaman

Untuk mengetahui keadaan pertumbuhan dan produksi tanaman dilakukan beberapa pengamatan terhadap tanaman, yaitu:

- Fase perkembangan tanaman yang meliputi saat tanam, anakan maksimum, anthesis dan masak fisiologis. Fase-fase tersebut diamati langsung di lapang dan berdasarkan data yang tercatat sebelumnya.
- Anakan setiap minggu.
- Biomassa tanaman diambil setiap dua minggu sekali (g m<sup>-2</sup>). Contoh dipisahkan akar, batang, daun dan malainya kemudian di oven pada 70°C.
- Indeks luas daun (LAI), diukur secara gravimetri.
- Komponen hasil seperti jumlah gabah, persentase gabah isi dan berat 1000 butir
- Hasil gabah (g m<sup>-2</sup>) dan
- Nitrogen total tanaman pada seluruh bagian komponen organ (batang dan daun) yang dianalisis menurut metoda Kjeldahl.

## BAB 7

# MODEL SIMULASI TANAMAN PADI

Percobaan ini menggunakan model simulasi tanaman padi (SHIERARY) yang telah dikembangkan oleh Handoko (1994). Sistem ini mempunyai resolusi harian dan terdiri dari empat sub model, yaitu perkembangan, pertumbuhan, neraca air dan nitrogen. Sebagai masukkan model adalah inisialisasi, parameter dan peubah luar yaitu nitrogen dan unsur cuaca. Sedangkan luarannya di antaranya adalah fase perkembangan, LAI, biomassa total dan berat gabah.

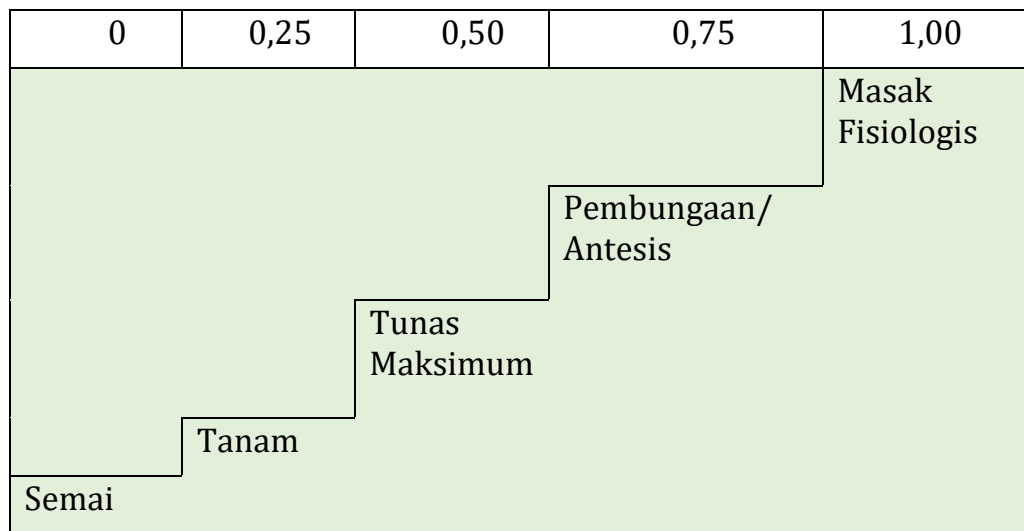
### A. SUBMODEL PERKEMBANGAN

Padi merupakan tanaman hari netral sehingga laju perkembangan dan kejadian fenologinya dapat didekati dengan konsep *heat unit* atau satuan panas. Laju perkembangan tanaman terjadi bila suhu rata-rata harian melebihi suhu dasar. Kejadian fenologi dihitung mulai semai sampai dengan masak fisiologis dan diberi skala 0 - 1, yang dibagi menjadi lima kejadian yaitu semai ( $s = 0$ ), tanam ( $s = 0.25$ ), tunas maksimum ( $s = 0.50$ ), pembungaan ( $s = 0.75$ ) dan panen ( $s = 1.00$ ). Fase perkembangan ( $s$ ) antara masing-masing kejadian fenologi tersebut dihitung dengan persamaan berikut:

Periode	Perhitungan Fase Perkembangan (s)	
S - T	:	$s = 0,25(\bar{T} - T_{01}) / TU_1$ $\bar{T} > T_{01}$ (1a)
T - TM	:	$s = 0,25 + 0,25(\bar{T} - T_{02}) / TU_2$ $\bar{T} > T_{02}$ (1b)
TM - A	:	$s = 0,50 + 0,25(\bar{T} - T_{03}) / TU_3$ $\bar{T} > T_{03}$ (1c)
A - MF	:	$s = 0,75 + 0,25(\bar{T} - T_{03}) / TU_3$ $\bar{T} > T_{04}$ (1d)

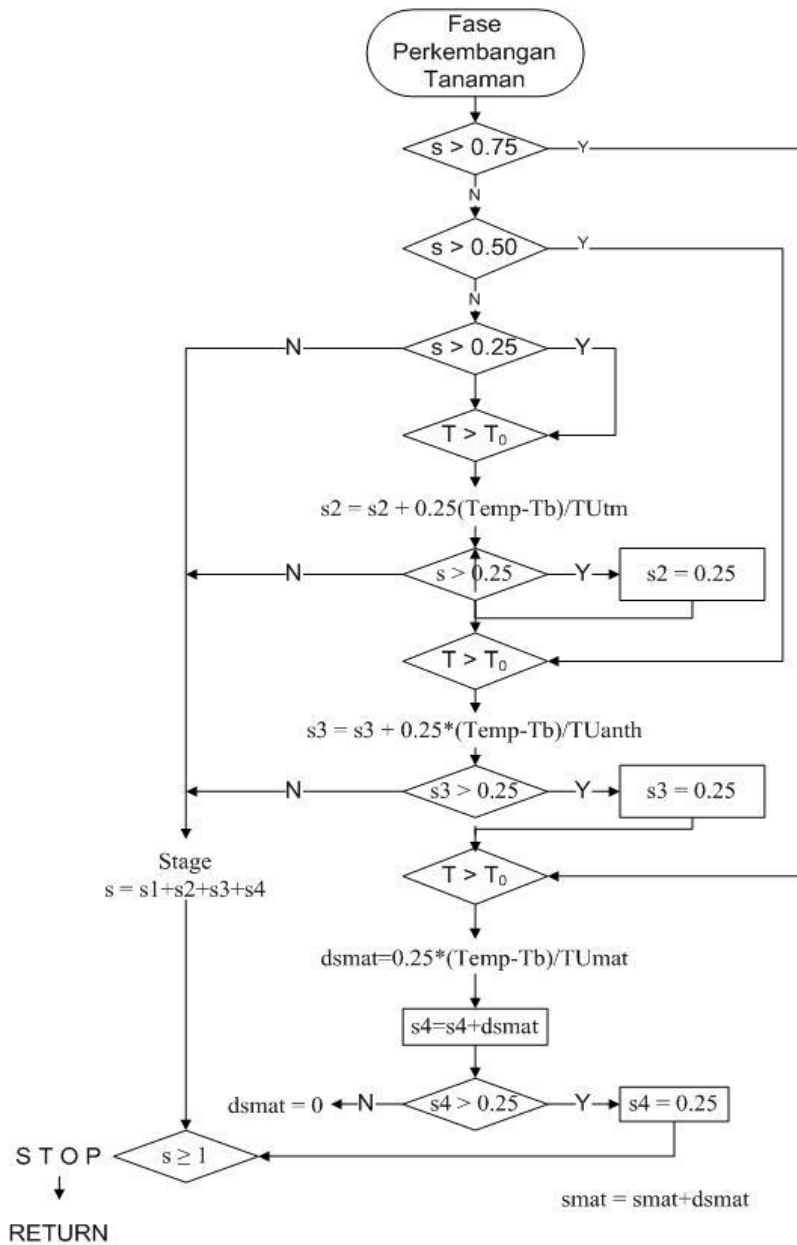
Angka 1, 2, 3 dan 4 menyatakan periode antara kejadian fenologi atau fase perkembangan, T0 adalah suhu dasar atau suhu dorman yang dalam model ini ditetapkan sebesar 17°C dan TU adalah thermal unit (d°C). Kejadian-kejadian fenologi ini diilustrasikan dalam

Gambar 1 **Error! Reference source not found.** Sementara itu diagram Forester model perkembangan tanaman padi disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Diagram Sub-Model Perkembangan Tanaman Padi

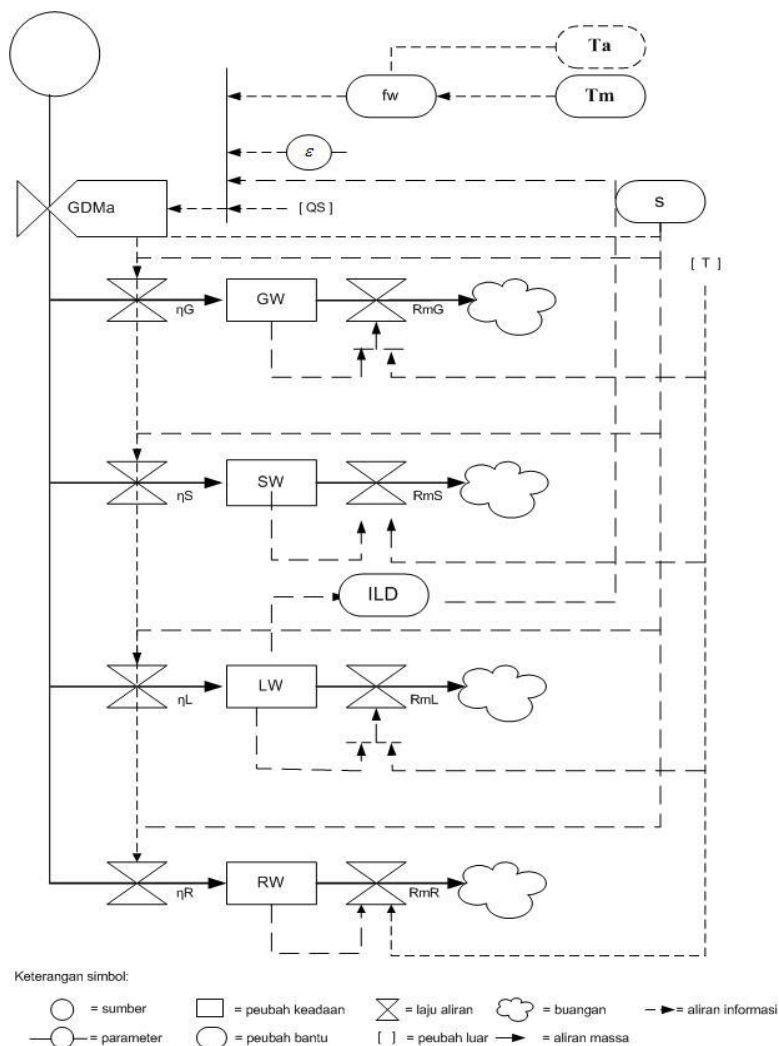




Gambar 2. Diagram Forester Sub-Model Perkembangan Tanaman Padi

## B. SUBMODEL PERTUMBUHAN

Submodel pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesis ke organ-organ tanaman (daun, batang, akar dan biji) serta kehilangannya berupa respirasi, selain itu juga mensimulasi perkembangan luas daun untuk menduga indeks luas daun (LAI). menunjukkan diagram Forrester submodel pertumbuhan ini.



Gambar 3. Diagram Forrester Submodel Pertumbuhan Padi

## 1. Produksi *Biomassa*

Produksi biomassa potensial harian dihitung berdasarkan efisiensi penggunaan radiasi surya yang diintersepsi tajuk tanaman. Hukum Beer digunakan untuk menghitung besarnya radiasi intersepsi tersebut sebagai berikut:

$$Q_{int} = (1 - \tau)Q_s \quad (2)$$

Dan

$$\tau = e^{-k LAI} \quad (3)$$

$Q_{int}$  adalah radiasi intersepsi (MJ m<sup>-2</sup>),  $Q_s$  adalah radiasi surya di atas tajuk tanaman atau yang terukur di stasiun klimatologi (MJm<sup>-2</sup>),  $\tau$  adalah proporsi radiasi surya yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman,  $k$  adalah koefisien pemadaman yang ditentukan berdasarkan nilai rata-rata selama sehari, yang selanjutnya dirata-ratakan selama musim pertumbuhan dan nilainya sekitar 0.5 dan LAI adalah indeks luas daun (*leave area index*).

Produksi biomassa potensial dihitung berdasarkan hasil kali antara efisiensi penggunaan surya ( $\epsilon$ ) dengan radiasi intersepsi ( $Q_{int}$ ). Nilai efisiensi penggunaan radiasi ditentukan sebesar  $\epsilon = 0.0014$  kg MJ<sup>-1</sup>.

$$B_b = \epsilon(e^{-k LAI})Q_s \quad (4)$$

$B_b$  adalah produksi biomassa potensial (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>) dan  $\epsilon$  adalah efisiensi penggunaan radiasi (kg MJ<sup>-1</sup>) yang dihitung menurut Monteith (1977):

$$\epsilon = \frac{dW}{Q_{int}} \quad (5)$$

$dW$  adalah penambahan massa tanaman (g m<sup>-2</sup>).

Produksi biomassa potensial tersebut menganggap ketersediaan air bukan merupakan faktor pembatas. Produksi biomassa aktual dihitung dengan mempertimbangkan ketersediaan air, yang dihitung berdasarkan nisbah antara stomata aktual ( $\phi_a$ ) dengan nilai maksimumnya ( $\phi_m$ ). Berikut ini perhitungan faktor ketersediaan air ( $f_w$ ) dan produksi biomassa aktual ( $B_a$ ).

$$f_w = \frac{\varphi_a}{\varphi_m} \quad (6)$$

$$B_a = f_w \cdot B_b \quad (7)$$

Ba dalam kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>. Hantaran stomata aktual dihitung berdasarkan transpirasi aktual (submodel neraca air) dan defisit tekanan uap air sedangkan  $\varphi_m$  dihitung dari fungsi radiasi surya neto, Qsn, (Denmead dan Millar, 1976) sebagai berikut.

$$\varphi_m = 0,5 + 0,02Q_m \quad (8)$$

$\varphi_m$  adalah hantaran stomata maksimum (mm s<sup>-1</sup>) dan Qsn adalah radiasi surya neto (Wm<sup>-2</sup>).

Dalam model ini, produksi biomassa aktual dibagi antara daun, batang, akar dan biji yang perbandingannya tergantung pada fase perkembangan tanaman (s). Sebagian biomassa masing-masing organ akan berkurang melalui respirasi pertumbuhan (Rg) dan respirasi pemeliharaan (Rm) yang dihitung berdasarkan suhu udara dan massa masing-masing organ (McCree, 1970). Pertumbuhan masing-masing organ (x) dihitung dari selisih antara alokasi bahan kering ke organ tanaman dan yang hilang melalui respirasi sebagai berikut.

$$dW_x = \eta_x B_a - R_g - R_m = \eta_x (1 - k_g) B_a - k_m W_x Q_{10} \quad (9)$$

$$Q_{10} = 2^{(T-20)/10} \quad (10)$$

dWx adalah penambahan massa organ x (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>), Rm adalah respirasi pemeliharaan (kg ha<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>),  $\eta_x$  adalah proposi biomassa yang dialokasikan ke organ x (daun, batang, akar dan biji), Ba adalah koefisien respirasi pemeliharaan, kg adalah koefisien pemeliharaan pertumbuhan dan Wx adalah organ x (kg ha<sup>-1</sup>)

Proporsi biomassa yang dialokasikan pada masing-masing organ ( $\eta_x$ ) yang dihitung berdasarkan fungsi fase perkembangan tanaman, didekati secara empiris berdasarkan data pengamatan lapang. Pada awal pertumbuhan, produksi biomassa hanya dialokasikan ke daun, batang dan akar dengan alokasi terbanyak pada daun. Sampai pembungaan, alokasi biomassa ke daun dan akar berkurang sedangkan alokasi ke batang bertambah dengan fase perkembangan tanaman. Setelah fase pembungaan, seluruh produksi

biomassa dialokasikan ke biji. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung alokasi biomassa ke masing-masing organ.

$$\eta_S = 0.497 \exp^{(0.0103s)} \quad s \leq 0.75 \quad (11a)$$

$$\eta_L = 0.9517 - 0.2691s \quad s \leq 0.75 \quad (11b)$$

$$\eta_R = 1 - \eta_S - \eta_L \quad s \leq 0.75 \quad (11c)$$

$$\eta_G = 0, \quad s \leq 0.75 \quad (11d)$$

$$\eta_L = 0, \quad s > 0.75 \quad (11e)$$

$$\eta_R = 0, \quad s > 0.75 \quad (11f)$$

$$\eta_S = 0, \quad s > 0.75 \quad (11g)$$

$$\eta_G = 1, \quad s > 0.75 \quad (11h)$$

L, S, R, dan G masing-masing menyatakan daun, batang, akar, dan biji.

## 2. Indeks Luas Daun

Dalam model indeks luas daun (LAI) menentukan jumlah radiasi dan curah hujan yang diintersepsi tanaman serta transpirasi. Menurut diagram Forrester, LAI merupakan peubah bantu dan dalam model ini perubahan LAI dihitung dari perkalian antara luas daun spesifik (sA) dengan pertumbuhan atau laju perubahan massa daun (dWL).

$$dILD = s_A \cdot dW_L \quad (12)$$

dLAI adalah perubahan LAI, sA adalah luas daun spesifik ( $\text{ha kg}^{-1}$ ), dWL adalah pertumbuhan daun ( $\text{kg ha}^{-1} \text{d}^{-1}$ ). Parameter sA atau kadang-kadang digunakan istilah massa daun spesifik ( $sW = 1/sA$ ) diturunkan dari data pengukuran luas daun dan massa daun padi.

## C. SUBMODEL NERACA AIR

Komponen neraca air meliputi curah hujan, irigasi, intersespsi tajuk, infiltrasi, perkolasi, limpasan permukaan, kadar air tanah, evaporasi dan transpirasi. Model ini memerlukan masukan berupa

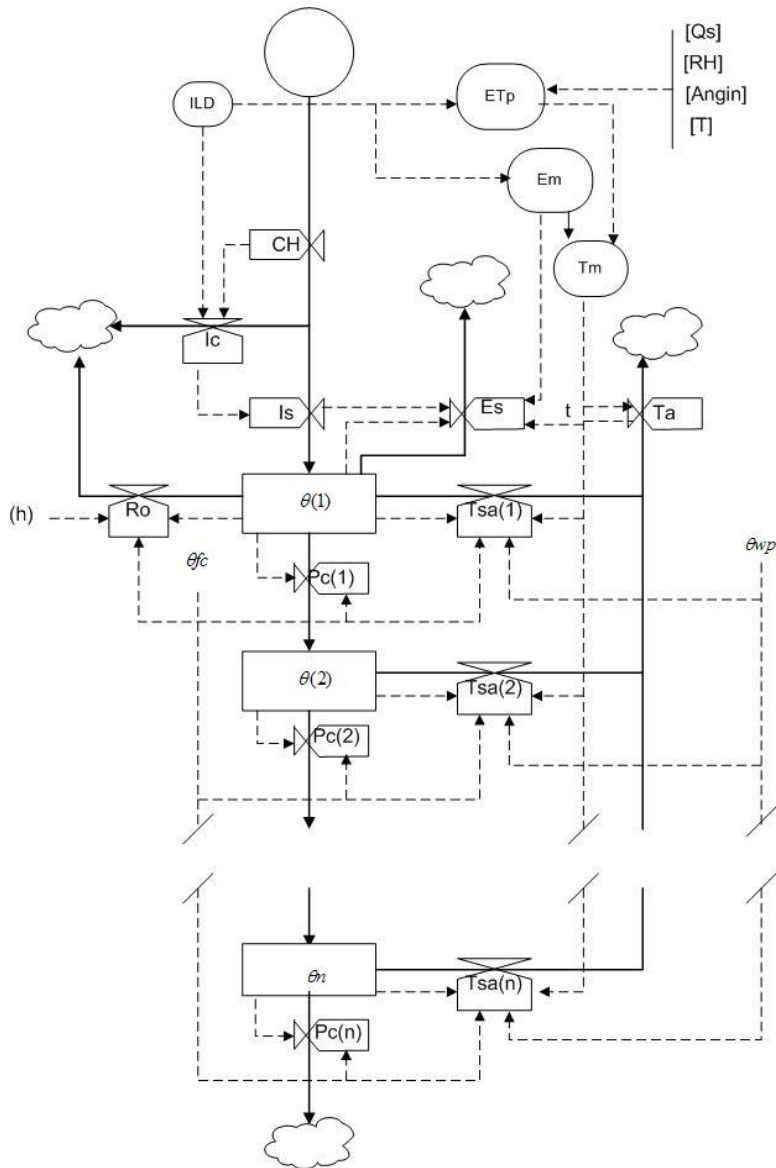
unsur-unsur cuaca harian, yaitu suhu udara, kelembaban, radiasi surya, kecepatan angin dan curah hujan. Di samping itu diperlukan peubah tanaman LAI, yang disimulasi pada submodel pertumbuhan. Parameter yang diperlukan meliputi sifat fisik tanah seperti kapasitas lapang, titik layu permanen dan parameter penguapan Ritchie (1972).

Dalam

Gambar 4 menyajikan diagram Forrester model neraca air ini. Hujan dan irigasi merupakan sumber air (*source*) dari model ini, kecuali pada lahan tadah hujan yang menggantungkan air hanya dari hujan. Dalam model ini hujan jatuh pada permukaan tajuk tanaman, sebagian air tertahan pada tajuk tersebut dan sisanya jatuh ke permukaan tanah. Air yang intersepsi tajuk kemudian akan menguap ke atmosfer. Sisanya yang sampai ke permukaan tanah, akan diserap tanah berupa infiltrasi. Model ini berasumsi tidak terjadi limpasan permukaan (*runoff*) sehingga aplikasinya ditujukan pada lahan-lahan yang datar.

Dalam tanah, air menuju ke lapisan yang lebih bawah (perkolasi) bila kandungan air pada lapisan tersebut telah melebihi kapasitas lapang. Dalam model ini, proses tersebut akan terjadi sampai lapisan tanah terbawah dan metoda perhitungannya disebut dengan metode jungkitan (*tipping bucket method*). Air yang keluar dari lapisan terbawah tidak dapat dimanfaatkan tanaman dan hilang berupa drainase.

Di samping intersepsi dan drainase, kehilangan air tanah lainnya berupa penguapan tanah atau evaporasi ( $E_a$ ) dan transpirasi ( $T_a$ ). Kedua proses ini disebut dengan evapotranspirasi ( $E T_a$ ). Kondisi atmosfer menentukan penguapan tanah maksimum ( $E_m$ ) dan transpirasi maksimum ( $T_m$ ). Penguapan tanah dihitung dengan metoda dua tahap Ritchie (1972). Bila air tanah cukup tinggi (tahap - 1) laju penguapan tanah akan maksimum ( $E_m$ ) dan laju penguapan akan turun menurut waktu setelah mencapai tahap tertentu (tahap - 2). Transpirasi dihitung dari nilai maksimumnya ( $T_m$ ) dan faktor ketersediaan air pada tiap lapisan tanah.



Gambar 4. Diagram Forrester submodel neraca air tanaman padi

### 1. Karakteristik Tanah

Dalam model ini, titik layu permanen dibatasi dengan tegangan air sebesar  $\Psi = -1.5$  Mpa sedangkan kapasitas lapang sebesar  $\Psi = -30$  kPa. Bila kandungan air lebih besar dari kapasitas lapang ( $\Psi > -30$

kPa), air akan menuju lapisan tanah di bawahnya karena gaya gravitasi dan gerakan air ini disebut perkolasi. Perkolasi akan berhenti bila tekanan air tanah mencapai kapasitas lapang.

Sifat fisik tanah lainnya yang diperlukan model ini berhubungan dengan penguapan, yaitu parameter  $U$  dan  $\alpha$ . Apabila data tentang kedua parameter ini tidak tersedia, dapat diduga dengan konduktivitas air jenuh,  $K_{sw}$  (saturated hydraulic conductivity).

## 2. Intersepsi Tajuk Tanaman

Jumlah air yang diintersepsi tajuk tanaman ( $I_c$ ) tergantung oleh curah hujan ( $P$ ) dan indeks luas daun ( $LAI$ ) sebagai berikut (Zinke, 1967):

$$I_c = \min(ILD, CH), \quad 0 < LAI \leq 3 \quad (13a)$$

$$I_c = \min(1.27, CH), \quad LAI > 3 \quad (13b)$$

### a. Infiltrasi dan Perkolasi

Infiltrasi ( $I_s$ ) dihitung dari selisih curah hujan ( $P$ ) atau irigasi ( $I_r$ ) dan infiltrasi tajuk tanaman:

Infiltrasi ( $I_s$ ) dihitung dari selisih curah hujan ( $CH$ ) dan infiltrasi tajuk tanaman:

$$I_s = CH - I_c = P + I_r - I_c \quad (14)$$

Perkolasi dari tiap lapisan tanah  $m$   $\{P_c(m)\}$  terjadi apabila kandungan air tanah melebihi kapasitas lapang  $\{\theta_{fc}(m)\}$  yang dihitung dengan metode jungkitan, yaitu:

$$P_c(m) = |\theta(m) - \theta_{fc}(m)|, \quad \theta(m) > \theta_{fc}(m) \quad (15a)$$

$$P_c(m) = 0, \quad \theta(m) \leq \theta_{fc}(m) \quad (15b)$$

### b. Evapotranspirasi

- Transpirasi dan Evaporasi Tanah Maksium

Evapotranspirasi potensial ( $ET_p$ ) yang dihitung dengan metoda Penman (1948) dianggap merupakan jumlah dari evaporasi dan transpirasi maksimum, atau evapotranspirasi maksimum ( $ET_m$ ). Evaporasi maksimum dihitung sebanding dengan transmisi energi radiasi surya melalui tajuk tanaman



yang dihitung dengan Hukum Beer. Berikut adalah perhitungan evaporasi (Em) dan transpirasi (Tm) maksimum.

$$ETm = ETP = \left\{ \Delta Q_n + \gamma \int (u)(e_s - e_a) \right\} / \left\{ \lambda (\Delta + \gamma) \right\} \quad (16)$$

$$Em = ETm \left( e^{-kILD} \right) \quad (17)$$

$$Tm = \left( 1 - e^{-kILD} \right) ETm \quad (18)$$

$\Delta$  adalah kemiringan kurva hubungan antara tekanan uap air jenuh dan suhu udara (Pa K-1),  $Q_n$  adalah radiasi neto ( $W m^{-2}$ ),  $\gamma$  adalah tetapan psikrometer,  $\int(u)$  adalah fungsi aerodinamik ( $MJ m^{-2} Pa^{-1}$ ),  $(e_s - e_a)$  adalah defisit tekanan uap air (Pa) dan  $\lambda$  adalah panas spesifik untuk penguapan ( $2.454 MJ kg^{-1}$ ).

- Evaporasi Tanah Aktual.

Evaporasi tanah aktual (Ea) dihitung dengan metoda Ritchie (1972) yang terdiri dari dua tingkat evaporasi. 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. Setelah nilai U terlampaui (tahap -2), yaitu tanah sudah cukup kering, Ea merupakan fungsi waktu pada tahap - 2 ( $t_2$ ) dan Em sebagai berikut.

$$\text{Tahap 1:} \quad Ea = Em \quad \sum Em < U \quad (19)$$

$$\text{Tahap 2:} \quad Ea = \alpha t_2^{0.5} - \alpha (t_2 - 1)^{0.5} \quad \sum Em \geq U \quad (20)$$

di mana  $t_2$  adalah jumlah hari setelah terjadinya evaporasi tahap-2.

- Transpirasi Aktual

Transpirasi aktual (Ta) dihitung berdasarkan fungsi transpirasi maksimum (Tm) dan kadar air tanah pada lapisan akar.

Dalam model ini, akar akan menggunakan air tanah pertama-tama dari lapisan teratas. Bila  $Ta < Tm$  maka akar akan mengambil air dari lapisan berikutnya, demikian seterusnya sampai  $Ta = Tm$  atau batas kedalaman akar telah tercapai. Namun demikian, model ini dapat dijadikan menjadi satu lapisan tanah yaitu dengan membuat  $m = 1$ . Berikut perhitungan Ta yang

merupakan penjumlahan serapan air oleh akar pada masing-masing lapisan tanah (m).

$$f_w(m) = \{\theta(m) - \theta_{wp}(m)\} / \{0.4[\theta_{fc}(m) - \theta_{wp}(m)]\}, \quad (22a)$$

jika  $\theta_{fc}(m) \geq \theta(m) > \theta_{wp}(m)$

$$f_w(m) = 1, \quad \theta(m) > \theta_{fc}(m) \quad (22b)$$

$$f_w(m) = 0, \quad \theta(m) < \theta_{wp}(m), r(m) = 0 \quad (22c)$$

Laju penyerapan air oleh akar pada tiap lapisan m:

$$Tsa(m) = f_w(m)Tm, \quad Ta < Tm \quad (22a)$$

$$Tsa(m) = 0 \quad Ta \geq Tm \quad (22b)$$

$f_w(m)$  adalah fungsi kadar air tanah pada lapisan tanah m,  $\theta$  adalah kadar air tanah,  $\theta_{fw}$  kadar air tanah pada kapasitas lapang dan  $\theta_{wp}$  adalah kadar air tanah pada titik layu permanen  $T_r(m)$  adalah laju penyerapan air oleh akar pada lapisan m (mm).

#### c. Neraca Air.

Perhitungan neraca air dilakukan pada tiap lapisan tanah. Karena evaporasi dan juga masuknya air irigasi terjadi pada lapisan permukaan (m=1) maka neraca air ini dibagi menjadi lapisan atas dan bawah sebagai berikut:

Lapisan atas:

$$\theta_t(1) = \theta_{t-1}(1) - Pc_t(1) + Is_t - Ea_t \quad (24a)$$

Lapisan bawah

$$(m > 1): \theta_t(m) = \theta_{t-1}(m) - Pc_t(m-1) - Pc_t(m) - Tsa_t(m) \quad (24b)$$

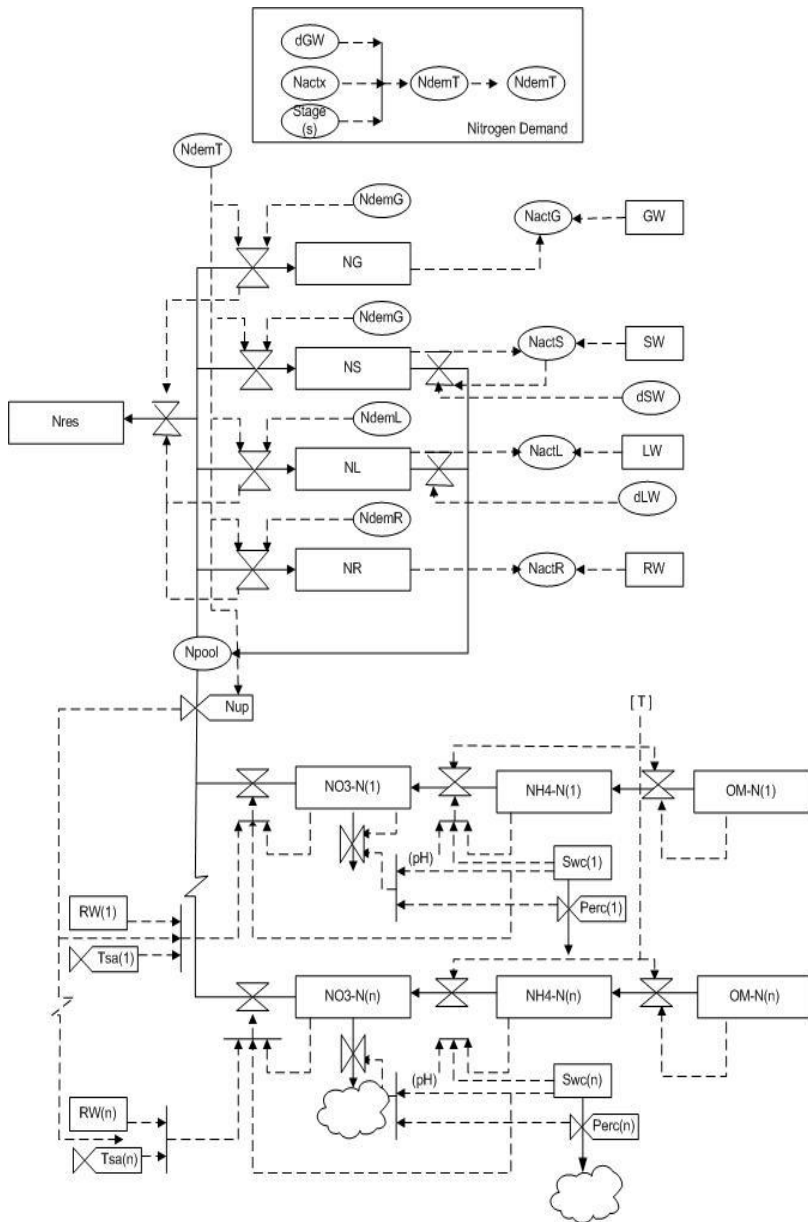
t menyatakan hari pada saat perhitungan dilakukan.

#### D. SUBMODEL NITROGEN

Dalam submodel ini digambarkan proses nitrogen tanaman dan tanah. menunjukkan diagram forrester submodel nitrogen ini.

Untuk pertumbuhan tanaman, sumber utama nitrogen berasal dari berbagai lapisan tanah. Pengambilan nitrogen oleh tanaman kemudian dibagi ke organ-organ tanaman. Sumber kedua merupakan mobilisasi selama pelayuan (*senescence*). Sesudah pembungaan nitrogen dimobilisasi dari daun dan batang yang merupakan sumber utama untuk akumulasi nitrogen oleh biji. Jika kebutuhan nitrogen tidak dapat dipenuhi oleh mobilisasi tanaman mengambil nitrogen dari tanah tergantung dari kebutuhan, persediaan tanah ( $\text{NO}_3^-$ ), kadar air dan bobot akar pada masing-masing lapisan.

Proses nitrogen dalam tanah dipengaruhi oleh amonifikasi, nitrifikasi dan juga oleh pencucian. Selama amonifikasi, nitrogen organik dikonversi menjadi  $\text{NH}_4^+$  kemudian dialokasikan menjadi  $\text{NO}_3^-$  dalam proses nitrifikasi. Ada dua tahap untuk menghitung secara terpisah laju amonifikasi dan nitrifikasi.



Gambar 5. Diagram Forrester submodel neraca nitrogen padi (dimodifikasi dari Handoko, 1992)

Model ini tidak mensimulasi denitrifikasi sebab proses ini hanya penting pada tanah-tanah yang tergenang dan model ini tidak mensimulasi air yang tergenang. Model sudah mempertimbangkan volatilisasi jika pupuk yang digunakan berbentuk  $NH_4^+$  yang diterapkan di permukaan tanah.

Sejumlah perhitungan dihubungkan dengan temperatur di dalam profil tanah. Bentuk model ini tidak mensimulasi variasi dalam profil. Perhitungan didasarkan kepada temperatur udara.

## 1. Nitrogen Tanaman

- Kebutuhan Nitrogen

Kebutuhan nitrogen dari organ  $x$  ( $Ndem_x$ ) selama sebar hingga anthesis tergantung pada laju pertumbuhan ( $dW_x$ ), konsentrasi nitrogen [ $Nact_x$ ] dan konsentrasi maksimum [ $Nmax_x$ ] sebagai berikut:

$$Ndem_x = 0.01dW_x [Nmax_x], [Nact_x] < [Nmax_x] \quad (25a)$$

= 0 untuk lainnya

Konsentrasi nitrogen diekspresikan dalam persentase berat kering (%). Kebutuhan nitrogen tanaman ( $Ndem_T$ ) didefinisikan sebagai jumlah kebutuhan individual organ:

$$Ndem_T = \sum Ndem_x \quad (25b)$$

Sesudah pembungaan (anthesis), kebutuhan nitrogen organ vegetatif menjadi nol, dengan demikian kebutuhan tanaman dicurahkan menjadi kebutuhan biji ( $Ndem_g$ ) sebagai berikut:

$$Ndem_T = Ndem_g = Wg \{ [Nmax_g] - [Nact_g] \} 10^{-1} \quad (25c)$$

- Serapan Nitrogen.

Sebagaimana serapan air, akar menyerap nitrogen pertama dari lapisan permukaan kemudian ke lapisan bawahnya di dalam zona perakaran sampai kebutuhan tanaman terpenuhi. Dalam masing-masing lapisan (1), serapan diperhitungkan dengan aliran massa (*mass flow*) dan serapan aktif.

Aliran massa dihitung sebagai produk dari aliran air ke akar  $\{T_r(1)\}$  dan konsentrasi nitrogen tanah (*nitrate*)  $\{NO_{3c}(1)\}$ ,

$$Nup_{mf}(1) = T_{sa}(1)NO_{3c}(1) \quad (26a)$$

Dalam lapisan 1,  $NO_{3c}(1)$  dihitung dari nisbah ketersediaan nitrogen  $\{NO_3(1)\}$  dan kandungan air  $\theta(1)$ .

$$NO_{3c}(1) = \frac{NO_3(1)}{\theta(1)} \quad (26b)$$

Serapan aktif dihitung dengan menghitung persamaan Michaelis-Menten yaitu:

$$Nup_{at}(1) = \frac{RW\sigma_n NO_{3c}(1)}{[K_m + NO_{3c}(1)]} \quad (26c)$$

$W_r(1)$  adalah berat akar di lapisan 1 ( $kg\ ha^{-1}$ ),  $\sigma_n$  adalah serapan nitrogen per satuan berat akar ( $kg\ N\ kg^{-1}\ d^{-1}$ ) dan  $K_m$  adalah konsentrasi setengah jenuh ( $kg\ N\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ). Nilai  $K$  ( $1\ kg\ N\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ ) diturunkan dari data percobaan lapangan Prince dan Burton (1956) dan  $\sigma_n$  adalah  $0.01\ kg\ N\ kg^{-1}\ d^{-1}$  berdasarkan suatu percobaan larutan nitrogen (Woodend et al., 1986).

Total nitrogen yang diserap diseluruh profil ( $Nup_T$ ) adalah:

$$Nup_T = \sum Nup(1) \quad (26d)$$

$$Nup(1) = Nup_{mf}(1) + Nup_{at}(1), \quad Ndem_T > 0$$

= 0, untuk lainnya

- Mobilisasi Nitrogen

Daun dan batang mengandung struktural dan nitrogen labil. Selama pelayuan, nitrogen labil dimobilisasi antara organ-organ sewaktu struktural nitrogen yang tersisa dalam jaringan yang mati. Pelayuan daun dan batang memobilis nitrogen ( $dN_{moby}$ ) sebagai produk laju pelayuan dan konsentrasi nitrogen  $[Nact_y]$  di atas suatu konsentrasi minimum  $[N_{min}]$ :

$$dN_{moby} = D_y \{ [Nact_y] - [N_{min}] \} 10^{-2} \quad (28)$$

Jumlah nitrogen yang diserap ( $N_{upT}$ ) dan nitrogen yang dimobilisasi ( $\sum dN_{moby}$ ), disekat pada masing-masing organ menurut kebutuhannya relatifnya ( $N_{dem_x}/N_{dem_T}$ ). Perbedaan antara nitrogen yang tersekat dan nitrogen yang hilang karena pelayuan dikenal sebagai perubahan harian kandungan nitrogen dalam daun dan batang ( $dN_y$ ). Asumsi model adalah tidak ada nitrogen yang hilang karena pelayuan akar yaitu perubahan harian kandungan nitrogen ( $dN_r$ ) dan dihitung hanya dari serapan harian.

$$dN_y = (N_{dem_y} / N_{dem_T}) N_{up} + \sum dN_{moby} - N_{act_y} D_y \quad (29a)$$

$$dN_r = (N_{dem_r} / N_{dem_T}) N_{up} \quad (29b)$$

subkrip y dan r mewakili daun atau batang dan akar.

Selama pengisian biji, nitrogen dimobilisasi dari daun dan batang ke biji tergantung kepada kebutuhan. Kebutuhan nitrogen ditentukan oleh berat biji ( $W_g$ ), konsentrasi nitrogen aktual [ $N_{act_g}$ ] dan konsentrasi maksimum, [ $N_{max_g}$ ] = 3%, sebagai:

$$N_{dem_g} = W_g \{3 - [N_{act_g}]\} 10^{-2} \quad (29c)$$

Tanaman menyerap nitrogen dari tanah jika kebutuhan tidak terpenuhi oleh mobilisasi. Persamaan berikut menguraikan peningkatan harian nitrogen biji.

$$\begin{aligned} dN_g &= \sum dN_{moby} + N_{up}, & N_{dem_g} > 0 \\ &= 0 & N_{dem_g} = 0 \\ &= N_{dem_g} & (\sum dN_{moby} + N_{up}) > N_{dem_g} \end{aligned} \quad (29d)$$

Jika pemberian nitrogen ( $\sum dN_{moby} + N_{up}$ ) melebihi kebutuhan biji ( $N_{dem_g}$ ), maka kelebihannya hilang ke biji dan sisanya dalam jaringan mati

## 2. Nitrogen Tanah

- Amonifikasi

Laju amonifikasi harian dalam masing-masing lapisan  $\{dNH_4(1)\}$  dapat dihitung sebagai fungsi nitrogen organik, kelembapan tanah dan temperatur ( $Q_{10} = 2^{(T - 10)/20}$ ) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} dNH_4(1) &= Q_{10} k_{am} O_n(1), & \theta(1) &\geq \theta_{wp}(1) \\ &= 0, & \theta(1) &< \theta_{wp}(1) \end{aligned} \quad (30)$$

$O_n(1)$  adalah nitrogen organik dalam lapisan ( $kg\ ha^{-1}$ ). Konstanta laju ( $k_{am}$ ) mempunyai nilai  $96\ 10^{-6}\ d^{-1}$  diturunkan dari data Burns (1980).

- Nitrifikasi

Dalam banyak lapisan, laju nitrifikasi ( $dNO_{3p}(1)$ ) tergantung pada  $NH_4^-$   $\{NH_4(1)\}$  seperti berikut.

$$dNO_{3p}(1) = k_{nit} NH_4(1) \quad (31a)$$

$k_{nit}$  adalah konstanta laju nitrifikasi. Kumar et al. (1989) menunjukkan bahwa lamanya transformasi  $NH_4^-$  menjadi  $NO_3^-$  terletak antara 14 hingga 49 hari tergantung tipe pupuk dan kedalaman tanah. Berdasarkan data tersebut model menggunakan nilai  $k_{nit} = 0.05\ d^{-1}$ .

Laju nitrifikasi aktual  $\{dNO_{3p}(1)\}$  dihitung dari nilai potensial  $\{dNO_{3p}(1)\}$  diterapkan untuk pengaruh kelembapan tanah  $\{f_{\theta}(1)\}$ , temperatur ( $Q_{10}$ ) dan pH  $\{f_{pH}(1)\}$  sebagai:

$$dNO_{3a}(1) = Q_{10} dNO_{3p}(1) \max\{f_{\theta}(1), f_{pH}(1)\} \quad (31b)$$

$$f_{\theta}(1) = \frac{-0.039 + 1.02\theta(1)}{\theta_{fc}(1)} \quad (31c)$$

$f_{pH}(1)$  adalah laju relatif nitrifikasi (jarak 0 - 1) dalam responsya ke pH dalam jarak 5 sampai 8. Persamaan 31c menurut Stanford dan Epstein (1974).

- Pencucian (*Leaching*)



Nitrogen tercuci dari masing-masing lapisan ( $L_{NO_3}(1)$ ) dengan perkolasi air ( $P_c(1)$ ) seperti berikut:

$$L_{NO_3}(1) = \frac{P_c(1)NO_3(1)}{\{\theta_{fc}(1) + P_c(1)\}} \quad (32)$$

Burn (1980) menggunakan pendekatan ini untuk menghitung kehilangannya dari seluruh profil tanah. Pada tahapan ini juga meliputi distribusi kembali dari nitrogen dalam profil tanah selama pencucian.

- Profil Neraca Nitrogen

Sebagaimana dengan air tanah, neraca nitrogen tanah dipisahkan antara lapisan permukaan dan lapisan bawah permukaan (*subsurface*). Skema perhitungan pupuk nitrogen, dipakai sebagai  $NO_3^-$  ( $F_{NO_3}$ ) atau  $NH_4^+$  ( $F_{NH_4}$ ) ke lapisan permukaan. Volatilisasi ( $V_{NH_4}$ ) hanya terjadi untuk  $F_{NH_4}$  yang dipakai pada permukaan dan lajunya tergantung  $F_{NH_4}$  yang tersisa. Neraca nitrogen sebagai berikut:

Lapisan permukaan:

$$NO_3(m)_t = NO_3(m)_{t-1} + dNO_3(m)_t - Nup_t(m)_t - L_{NO_3}(m)_t + F_{NO_3t} \quad (33a)$$

$$NH_4(m)_t = NH_4(m)_{t-1} + dNH_4(m)_t - dNO_3(m)_t + F_{NH_4t} - V_{NH_4t} \quad (33b)$$

Lapisan bawah permukaan:

$$NO_3(n)_t = NO_3(n)_{t-1} + dNO_3(m)_t - Nup_t(m)_t - L_{NO_3}(m)_t + F_{NO_3T} \quad (33c)$$

$$NH_4(n)_t = NH_4(n)_{t-1} + dNH_4(m)_t - dNO_3(m)_t + F_{NH_4t} - V_{NH_4} \quad (33d)$$

Nitrogen organik pada masing-masing lapisan  $\{O_n(1)\}$  adalah:

$$O_n(1)_{t-1} = O_n(1)_{t-1} - dNH_4(1)_t \quad (33e)$$

Dalam model, laju transformasi nitrogen dari bahan organik menjadi amonium  $\{dNH_4(1)\}$  tergantung pada kandungan bahan organik dan ini dicirikan oleh konstanta laju amonifikasi ( $k_{am}$ ). Berdasarkan  $O_n(1)$  sekitar  $10^5$  lebih besar

dari  $dNH_4$  (1).  $O_n(1)$  yang tersisa secara relatif konstan selama beberapa tahun. Dalam model ini, pH dan  $O_n(1)$  itu sendiri menguraikan sifat kimia tanah sebah  $k_{nit}$  dan  $k_{am}$  menunjukkan aktivitas mikrobia dibawah kondisi lingkungan yang optimal.

Dalam percobaan tersebut juga dilakukan validasi sebagai upaya pengujian keakuratan dan kepekaan suatu model simulasi tanaman terhadap data yang bebas yang digunakan dalam kontruksi dari suatu model yang sesuai. Validasi dilakukan secara grafis dan uji berpasangan antara data hasil pengukuran dan peubah hasil prediksi selama periode pertumbuhan. Pengujian secara grafis, dilakukan dengan dua cara, yaitu menurut tren waktu dari peubah yang diprediksi dengan observasi, dan membuat plot garis 1:1 antara data prediksi dengan observasi. Urutan uji berpasangan adalah sebagai berikut (Steel & Torrie, 1991).

$$D_i = p_i - m_i \quad (1)$$

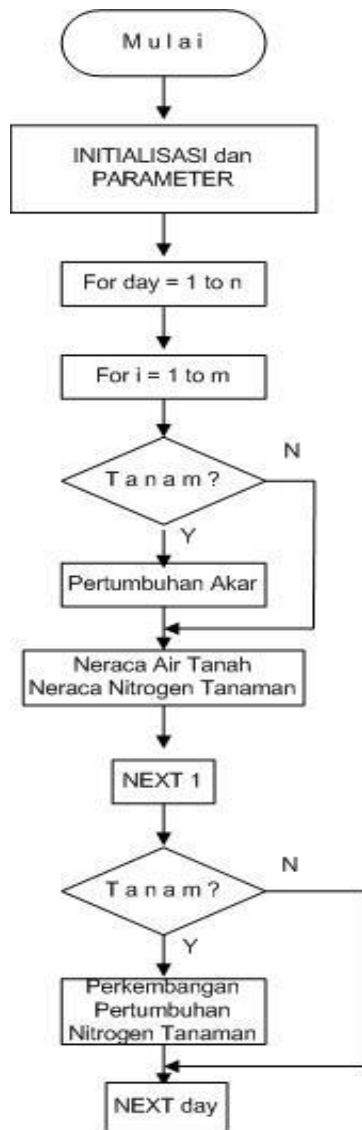
$$D = \int_i^n D_i - n^{-1} \quad (2)$$

$$SE = \sqrt{\frac{\{D_i^2 - (\sum_i^n D_i)^2\} / n}{n(n-1)}} \quad (3)$$

$$t = \frac{D}{SE} \quad (4)$$

$i$  adalah pengukuran.  $D_i$  dan  $D$  adalah rata-rata antara perediksi ( $p$ ) dan pengukuran ( $m$ ),  $SE$  adalah galat baku dari perbedaan dan  $t$ -student. Nyata bila ( $P < 0.05$ ) dan tidak nyata bila ( $P > 0.05$ ).

sementara untuk organisasi model secara keseluruhan ditunjukkan pada gambar 6 dan *list program* (dalam *software* Microsoft® Quick BASIC™) disajikan dalam lampiran. Prediksi model dibandingkan dengan data dari tanam I yaitu: (1) biomassa di atas tanah (AGB) dan hasil gabah, (2) kandungan nitrogen dalam AGB dan gabah, (3) kandungan air tanah, (4) evapotranspirasi termasuk intersepsi kanopi, (5) kandungan nitrate tanah.



Gambar 6. Organisasi Model selama Simulasi



## BAB 8

# DINAMIKA NITROGEN DAN PERTUMBUHAN HASIL PADI

### A. NERACA AIR

Kadar air tanah pada kedalaman tanah 0 – 20 cm dan 0 – 40 cm untuk perlakuan tadah hujan diperlihatkan dalam Gambar 7, dan terlihat kadar air tanah selama percobaan berlangsung sangat berfluktuasi. Kadar air tanah semua perlakuan saat tanam berada pada kapasitas lapang sampai pada fase anthesis, kemudian menurun mencapai titik layu permanen sesudah anthesis.

Neraca air masing-masing perlakuan selama periode pertumbuhan diperlihatkan dalam

Tabel 2 dan

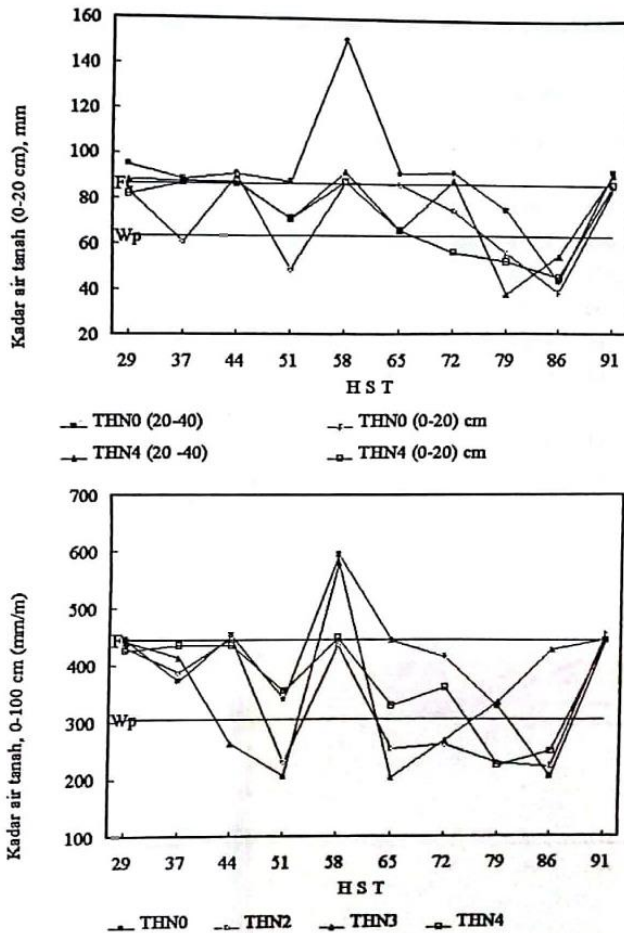
Gambar 7 menyajikan evapotranspirasi ( $ET_a$ ) dan transpirasi actual ( $T_a$ ) perlakuan--perlakuan tersebut. Jumlah air yang diberikan baik itu tadah hujan maupun irigasi, selama musim pertumbuhan adalah dari 681 mm (TH) sampai 1730 mm (IR) dan jumlah  $ET_a$  adalah

382,4 mm sampai 430,9 mm (TH) dan dari 403,0 mm sampai 470,5 mm (IR). Proporsi yang digunakan dalam transpirasi ( $T_a/E_t$ ) berkisar antara 20% (TH) sampai 45% (IR). Air yang diperkirakan mulai dari 30 sampai 50%. Air yang diperkolasi mulai dari 30 sampai 50%, seperti yang disajikan dalam

Gambar 7. Pada perlakuan tadah hujan (TH), evapotranspirasi relatif ( $E_{Ta}/E_{Tp}$ ) selama fase pertumbuhan tanaman rata-rata berkisar dari 0,8 sampai 1,0.

Tabel 2. Neraca air selama periode pertumbuhan

Perlakuan	Periode Irigasi (HST)	Jumlah kumulatif (mm)			
		Hujan	Irigasi	$E_t$	Perkolasi
IRN0	6 - 91	681	1050	470.5	479.5
IRN2	6 - 91	681	1050	464.0	818.9
IRN3	6 - 91	681	1050	438.0	778.5
IRN4	6 - 91	681	1050	403.0	944.5
THN0	6 - 10	681	50	430.9	Ttu
THN2	6 - 10	681	50	425.9	Ttu
THN3	6 - 10	681	50	392.4	Ttu
THN4	6 - 10	681	50	399.4	Ttu



Gambar 7. Kadar air tanah perlakuan tandah hujan pada kedalaman 0 – 20 cm dan 20 – 40 cm (atas) dan 0 – 100 cm (bawah) selama periode pertumbuhan.

## B. IKLIM DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

Data harian radiasi surya, curah hujan, suhu, kelembapan dan kecepatan angin disajikan pada Gambar 8. Radiasi surya bervariasi mulai dari 1.15 – 25.34 MJ m<sup>-2</sup>. Rata-rata evapotranspirasi potensial (ETp) mm hari<sup>-1</sup>.

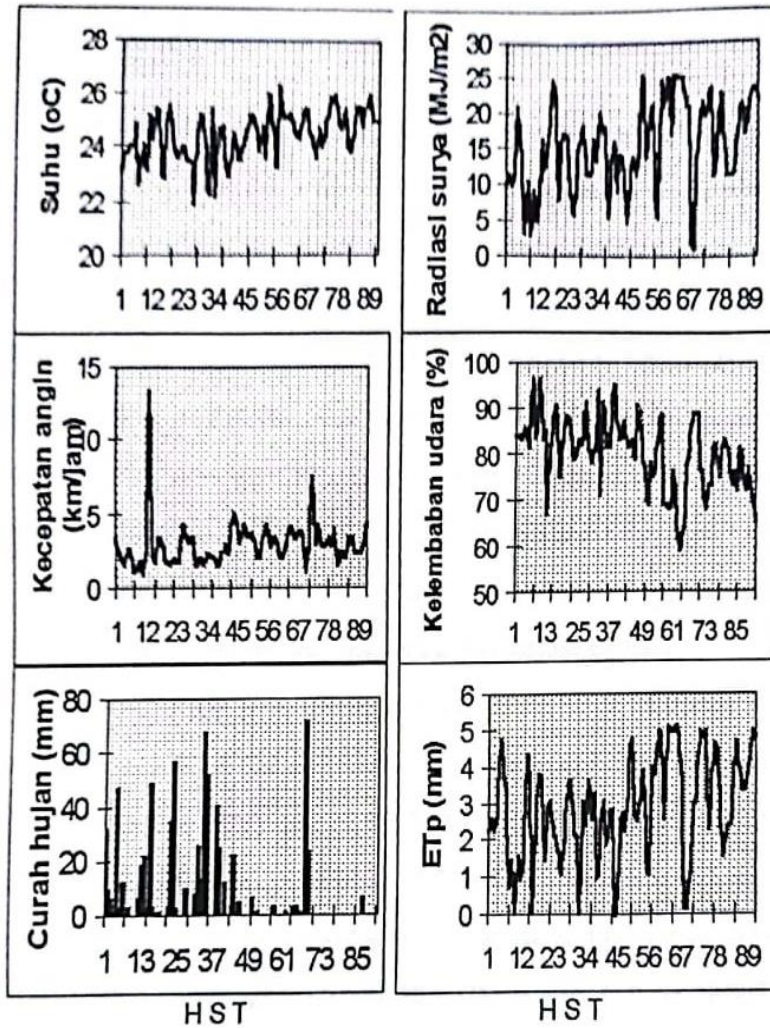
Perubahan cuaca dan panjang fase perkembangan tanaman mulai sejak sampai tanam (S – T), tanam sampai anakan maksimum (T – TM), anakan maksimum sampai anthesis (TM – AT) dan anthesis sampai masak fisiologis (AT – MF) disajikan dalam

Tabel 3. Peningkatan ETp pada akhir fase (AT – MF) berkaitan dengan fluktuasi radiasi surya, suhu dan kelembapan udara,

Tabel 3. Peubah cuaca selama fase perkembangan tanaman

Fase	Lama (hari)	Suhu (°C)	RH (%)	Angin (km jam <sup>-1</sup> )	Radiasi (MJ <sup>-1</sup> )	Hujan (mm)	ETp (mm)
S – T	31	23.8	86	2.59	412.92	688	193
T – TM	49	23.9	83	2.73	647.29	576	270
TM - AT	20	24.7	80	3.09	360.00	99	158
AT - MF	22	25.0	76	3.16	402.82	6	232





Gambar 8. Peubah cuaca harian pada periode pertumbuhan tanam I

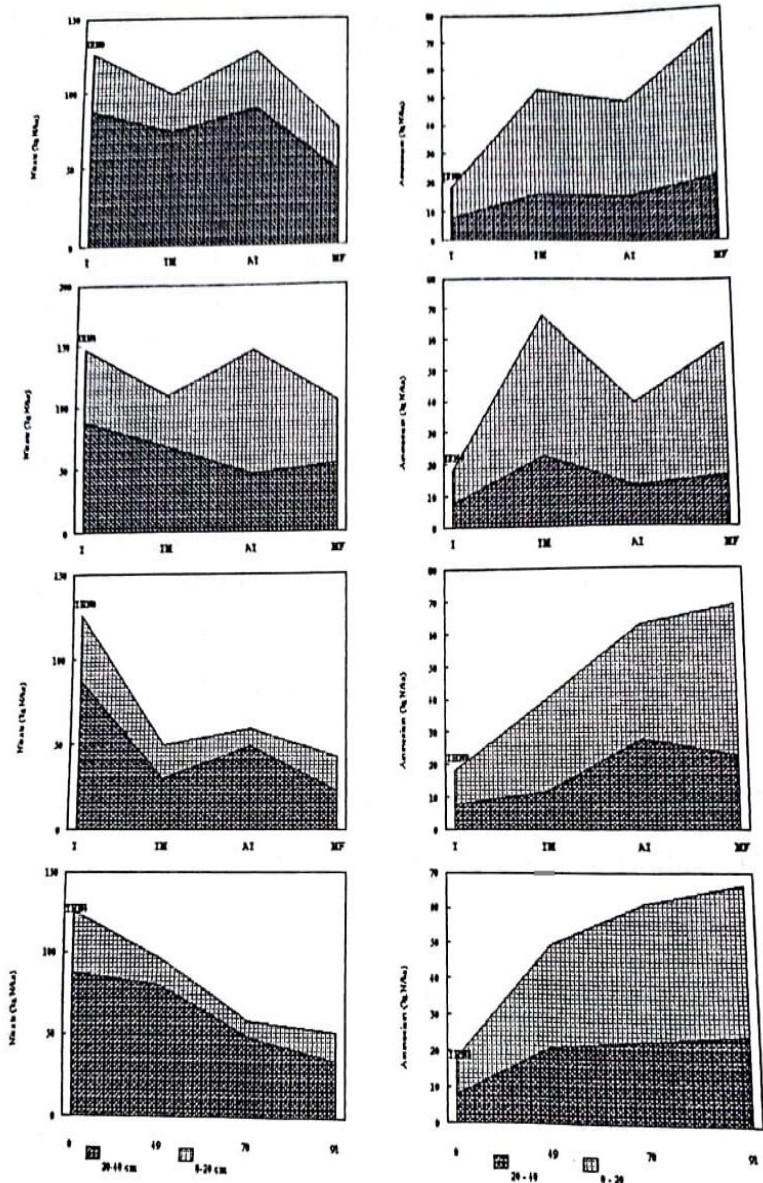
### C. NITROGEN TANAH, PERTUMBUHAN, SERAPAN NITROGEN, DAN HASIL TANAMAN

Mineral nitrogen di profil tanah dalam bentuk  $\text{NO}_3^-$  dan  $\text{NH}_4^+$  selama pertumbuhan disajikan dalam Gambar 9. Ada beberapa hal yang penting mengenai dinamika nitrogen seperti yang terlat dalam Tabel 4.

Pada saat tanam (0 HST) kandungan  $\text{NO}_3^-$  tinggi ( $75 \text{ kg N ha}^{-1}$ ) dan pada saat yang sama  $\text{NH}_4^+$  relatif rendah ( $21 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Mulai tanam sampai dengan masak fisiologi  $\text{NO}_3^-$  yang tersisa terus mengalami penurunan jika dibandingkan dengan  $\text{NH}_4^+$  yang terus meningkat. Walaupun nitrogen terus diserap tanaman, peningkatan  $\text{NH}_4^+$  menunjukkan telah terjadi proses mineralisasi.

Pada perlakuan irigasi terlihat terjadi lonjakan  $\text{NO}_3^-$  pada saat anthesis skibat dari mineralisasi  $\text{NH}_4^+$  yang terjadi sebelum fase anthesis.

Neraca hara nitrogen tanah masing-masing perlakuan sampai ke lapisan 40 cm disajikan pada Tabel 4. Nitrat  $\text{NO}_3^-$  menurun dari fase T – MF, yaitu 28.8 (IRN0), 31.8 (IRN1), 43.7 (IRN2), 38.4 (IRN3), 36.8  $\text{kg N ha}^{-1}$  (IRN4), sedangkan ammonium ( $\text{NH}_4^+$ ) meningkat sebesar 59.3, 48.5, 28.5, 37.3 dan 43.9  $\text{kg N ha}^{-1}$ . Pada perlakuan tandah hujan penurunan  $\text{NO}_3^-$  adalah 47.0 (THN0), 42.4 (THN1), 29.6 (THN2), 28.4 (THN3) dan 43.8  $\text{kg N ha}^{-1}$ , sementara  $\text{NH}_4^+$  meningkat sebesar 56.0, 43.7, 34.5, 34.5, 31.0 dan 55.2  $\text{kg N ha}^{-1}$ .



Gambar 9. Variasi kandungan ammonium dan nitrat sampai ke lapisan 40 cm, masing-masing perlakuan selama periode pertumbuhan.

Tabel 4. Neraca nitrogen masing-masing perlakuan (kg N ha<sup>-1</sup>)

Perlakuan	Tanam		Masak Fisiologis		Diserap tanaman <sup>a)</sup>	Mineralisasi <sup>b)</sup>
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
IRN0	75.1	21.7	46.3	81.0	242.9	273.4
IRN1	75.1	21.7	43.3	70.2	269.1	285.8
IRN2	75.1	21.7	31.4	50.2	281.1	265.9
IRN3	75.1	21.7	36.7	59.0	386.1	385.0
IRN4	75.1	21.7	38.3	64.7	462.6	468.8
THN0	75.1	21.7	28.1	77.7	214.0	223.3
THN1	75.1	21.7	32.7	65.4	293.3	294.6
THN2	75.1	21.7	45.5	56.2	324.9	329.8
THN3	75.1	21.7	46.7	52.7	384.4	389.3
THN4	75.1	21.7	31.3	76.9	418.5	429.9

a) dihitung hanya dari bagian tanaman di atas tanah (Above Ground Biomass)

b) Mineralisasi diperoleh dari  $f = (c + d + e) - (a + b)$

Mineralisasi bersih dihitung dari total mineralisasi nitrogen (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrogen terserap seperti yang terlihat pada Tabel 4. Laju mineralisasi nitrogen perlakuan THN0 leboh rendah (223.3 kg N ha<sup>-1</sup>) dibandingkan dengan perlakuan lainnya dengan jangkauan 273 – 468.8 kg N ha<sup>-1</sup>).

Pada saat masak fisiologi (MF), sebaran biomassa total mulai dari 7.0 ton ha<sup>-1</sup> sampai dengan 13.0 ton ha<sup>-1</sup> dengan LAI maksimum dari 2.6 sampai 4.1 (

Tabel 5) dan Gambar 10 dan 11). Pada kebanyakan kasus, LAI maksimum terjadi sebelum anthesis (AT) sedangkan biomassa total terjadi sesudah anthesis.

Rata-rata LAI adalah 3.3 pada perlakuan irigasi dan 3.2 pada perlakuan tadah hujan. AGA (biomassa di atas tanah) yang diproduksi perlakuan irigasi adalah 9.728 kg ha<sup>-1</sup> dan tadah hujan adalah 9.766 kg ha<sup>-1</sup> sehingga seperti LAI, AGB antara kedua perlakuan tersebut sama. Ini dapat dijelaskan karena jumlah hujan yang diterima adalah

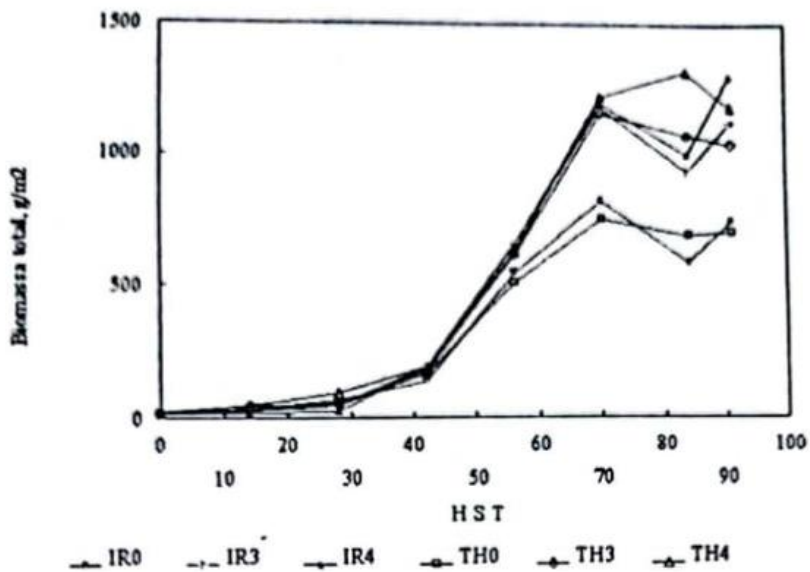
681 mm atau 228 mm per bulan sehingga periode pertumbuhan selesai. Kebutuhan air padi selama periode adalah 200 – 300 mm (IRRI, 1975 & 1978). Jadi pengaruh air irigasi yang diberikan dapat dikatakan tidak berarti.

Hubungan antara biomassa di atas tanah (AGB) dan evapotranspirasi (ETa) dan juga transpirasi (Ta) diperlihatkan pada Gambar 12 dan 13. Efisiensi transpirasi ( $TE=AGB/Ta$ ). Secara keseluruhan efisiensi transpirasinya adalah  $34.3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  untuk perlakuan tadah hujan, untuk perlakuan irigasi adalah  $33,3 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ , sedangkan efisiensi penggunaan air ( $WUE=AGB/ETa$ ) antara  $26.7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$  untuk perlakuan tadah hujan, untuk irigasinya antara  $29.9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ . Jadi, WUE perlakuan tadah hujan lebih rendah dibandingkan irigasi dan TUE yang terjadi sebaliknya.

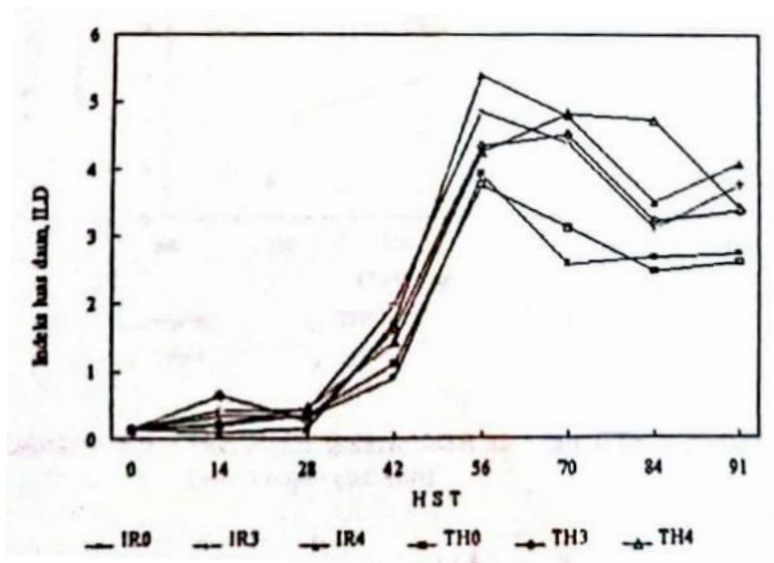
Tabel 5. Biomassa di atas tanah (AGB), indeks luas daun (LAI), dan AGN selama periode pertumbuhan

Perlakuan	H S T						
	14	28	42	56	70	84	91
a) AGB ( $\text{g m}^{-2}$ )							
IRN0	24.96	50.08	106.72	483.20	730.40	539.52	686.24
IRN2	24.16	56.16	171.04	443.52	1014.40	719.64	804.26
IRN3	21.12	35.04	170.72	576.64	1053.44	867.36	1047.68
IRN4	13.60	17.60	152.16	580.48	1064.32	919.20	1217.44
THN0	18.88	44.32	135.84	448.32	678.40	625.12	647.52
THN2	39.04	79.68	161.76	594.72	1085.12	942.72	948.64
THN3	46.08	46.08	170.00	609.44	1154.24	1073.44	972.00
THN4	46.08	91.84	188.00	620.80	1221.12	1319.68	1107.20
<i>Lsd</i>			114.19		168.96	278.96	165.25
b) LAI							
IRN0	0.3	0.3	0.9	3.9	2.6	2.6	2.7
IRN2	0.5	0.5	1.4	4.5	4.3	2.9	2.9
IRN3	0.4	0.4	1.9	4.8	4.4	3.1	3.7
IRN4	0.1	0.1	1.7	5.4	4.8	3.5	4.1
THN0	0.2	0.3	1.1	3.7	3.1	2.4	2.6
THN2	0.3	0.5	1.1	4.6	4.1	2.9	3.3
THN3	0.6	0.3	1.6	4.3	4.5	3.2	3.4
THN4	0.2	0.4	1.4	4.2	4.8	4.7	3.4
<i>Lsd</i>			1.0	1.0	0.7	1.0	0.7

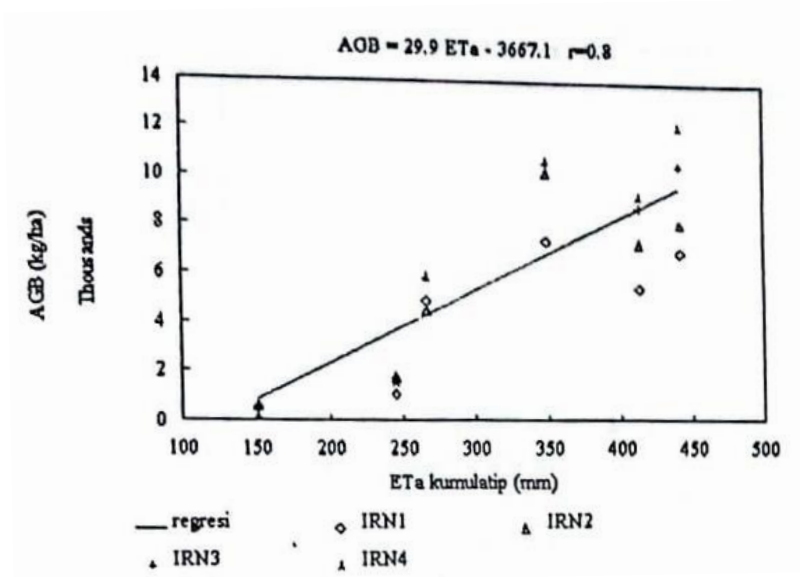
Perlakuan	H S T						
	14	28	42	56	70	84	91
c) AGN ( $\text{g m}^{-2}$ )							
IRN0	0.5			13.50	20.56		24.29
IRN2	0.5			14.41	29.57		28.11
IRN3	0.5			15.23	28.68		38.60
IRN4	0.5			17.82	38.32		46.26
THN0	0.5			14.96	18.52		21.40
THN2	0.5			15.47	29.68		32.49
THN3	0.5			18.26	33.91		38.38
THN4	0.5			15.47	37.68		41.85
Lsd				2.81	4.56		6.24

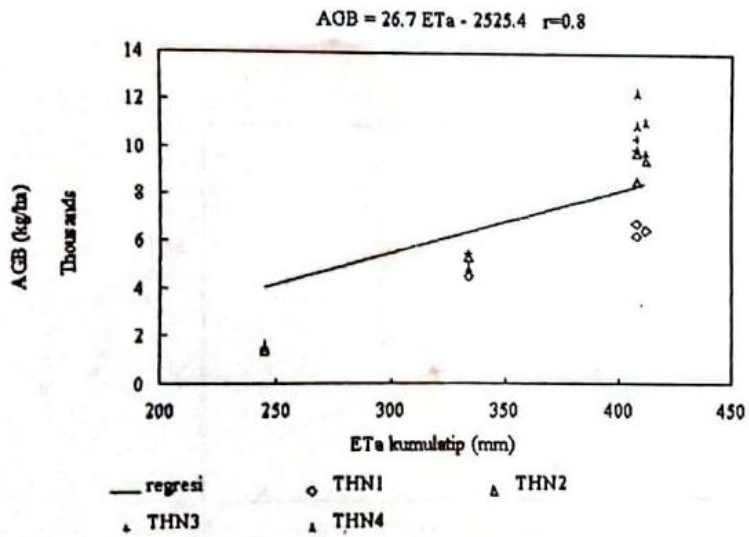


Gambar 10. Laju AGB selama periode pertumbuhan tanaman



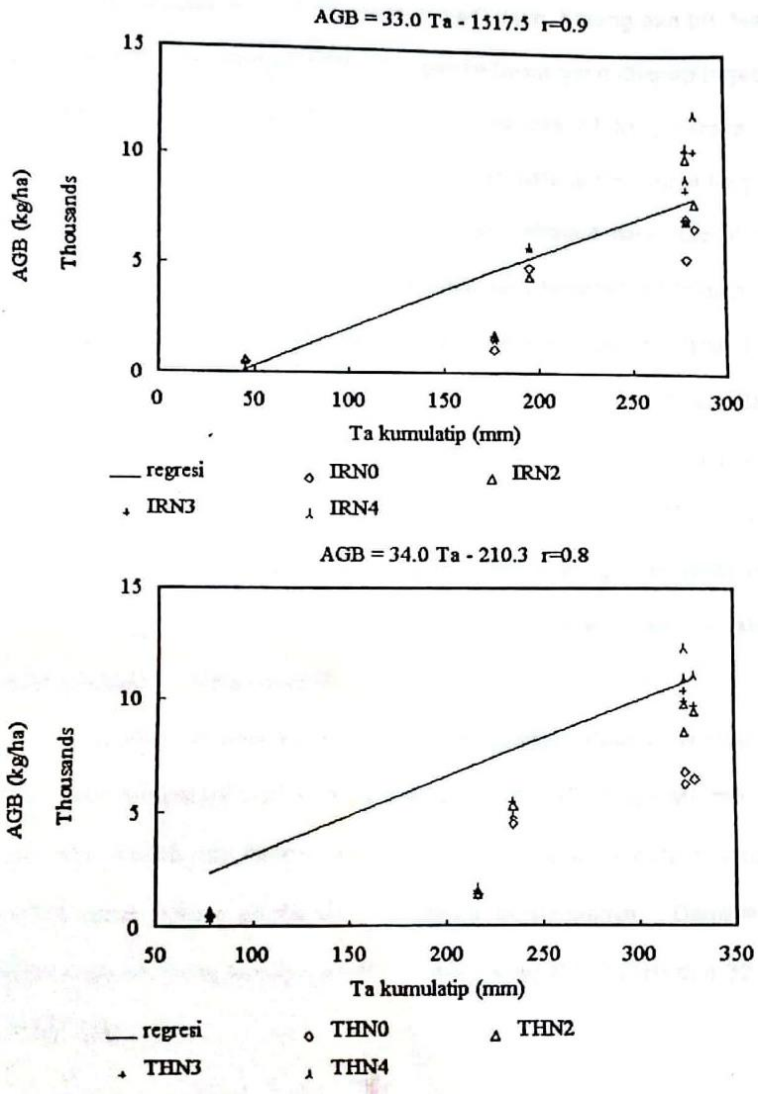
Gambar 11. Indeks luas daun selama periode pertumbuhan tanaman





Gambar 12. Hubungan antara AGB dengan ETa kumulatif, irigasi (atas) dan tadah hujan (bawah)





Gambar 13. Hubungan antara AGB dengan Ta kumulatif untuk semua perlakuan irigasi (atas dan tadah hujan (bawah))

Kadar nitrogen komponen organ seperti daun, batang dan biji disajikan dalam

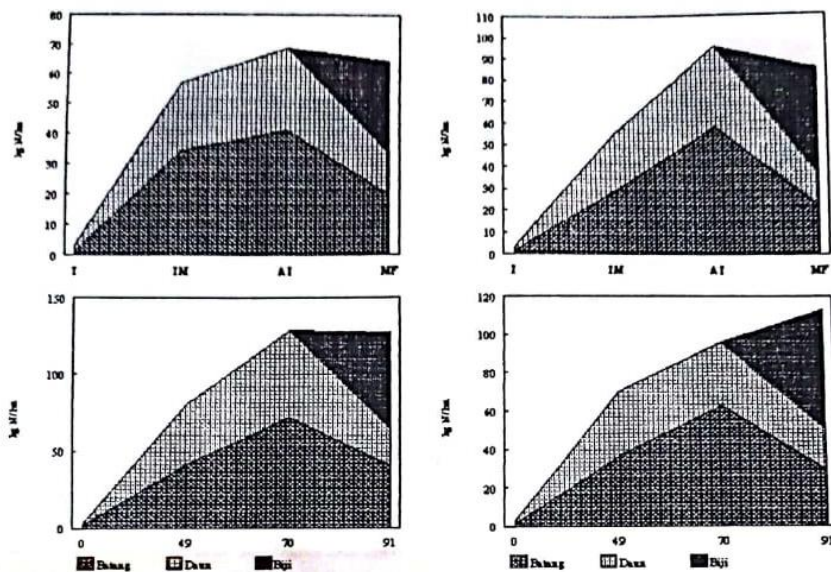
Gambar 14 sampai dengan Gambar 18. Nitrogen terbesar yang diserap terjadi dari TM sampai AT (yaitu 6,3 kg N ha<sup>-1</sup> hari<sup>-1</sup>. Sesudah

anthesis, AT,  $\text{NO}_3^-$  secara relatif kecil dan yang diserap berkurang, kadar nitrogen batang meningkat sampai AT dalam semua perlakuan, demikian pula dengan nitrogen daun kecuali tanah hujan (THN0). Sesudah AT, kadar nitrogen dari tanaman perlakuan tanah hujan relative konstan, ini berarti peningkatan kadar nitrogen biji lebih banyak disebabkan oleh nitrogen yang dimobilisasi dari batang dan daun (

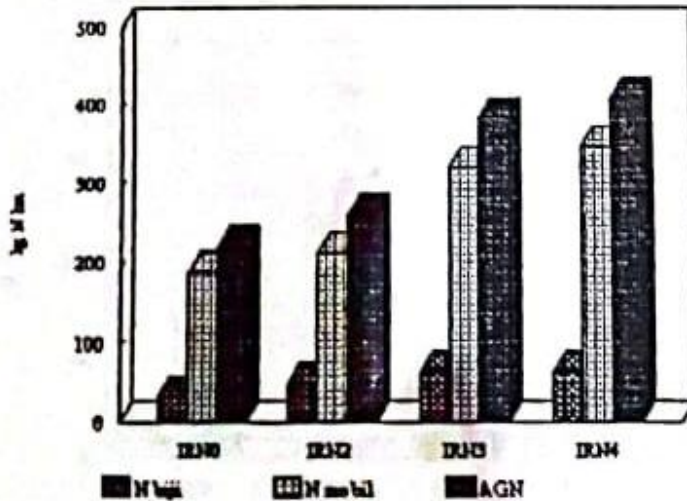
Gambar 17). Kadar nitrogen daun meningkat sampai AT dalam semua perlakuan kecuali THN0, peningkatan nitrogen daun terjadi pada TM, sementara pertumbuhan vegetatif terus berlangsung, sehingga nitrogen tersebut banyak digunakan untuk pertumbuhan vegetative. Ini disebabkan antara lain oleh tingkat mineralisasi  $\text{NO}_4^-$  yang rendah (

Tabel 5. Biomassa di atas tanah (AGB), indeks luas daun (LAI), dan AGN selama periode pertumbuhan).

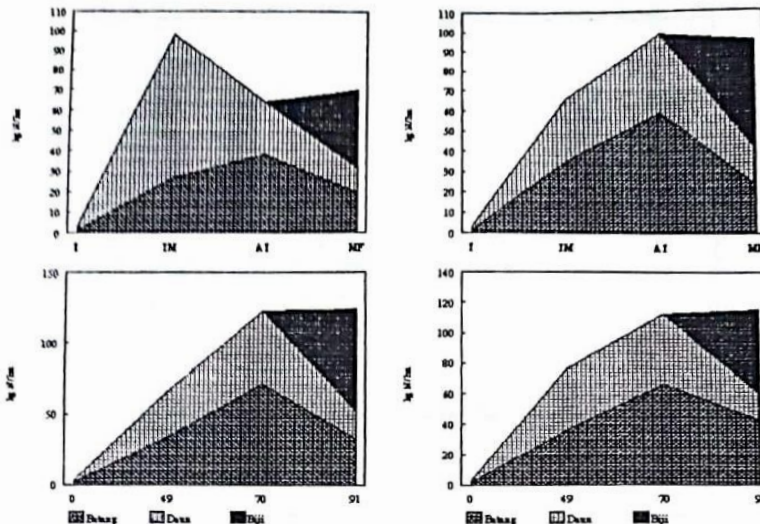
Penurunan konsentrasi nitrogen disajikan dalam Gambar 16a dan b. Nilai maksimum sekitar 2,5% kemudian dari AT sampai MF mengalami penurunan drastis dan tersisa sekitar 1%. Konsentrasi batang dan daun tersebut untuk semua perlakuan tidak nyata perbedaannya. Demikian pula dengan N gabah yang berkisar antara  $31.6 - 72.4 \text{ kg N ha}^{-1}$  (TH) dan  $32.5 - 63.1 \text{ kg N ha}^{-1}$  (IR).



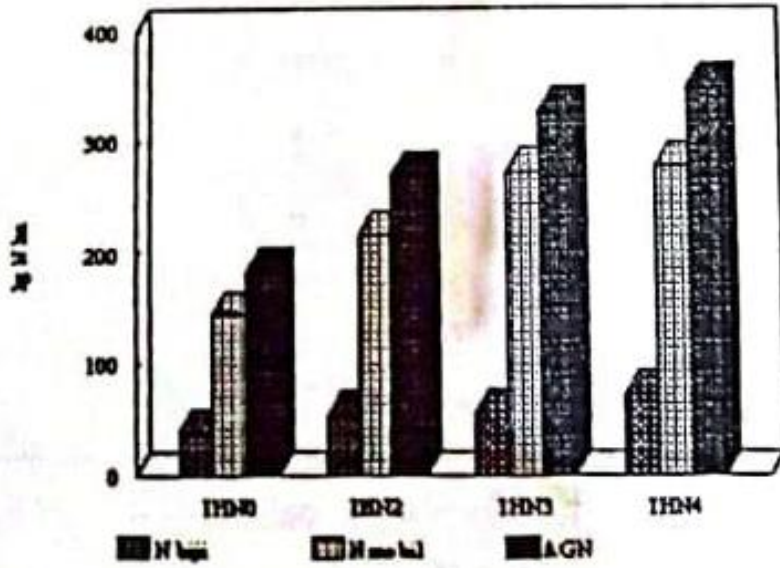
Gambar 14. Kandungan nitrogen bagian AGB masing-masing perlakuan irigasi selama periode pertumbuhan



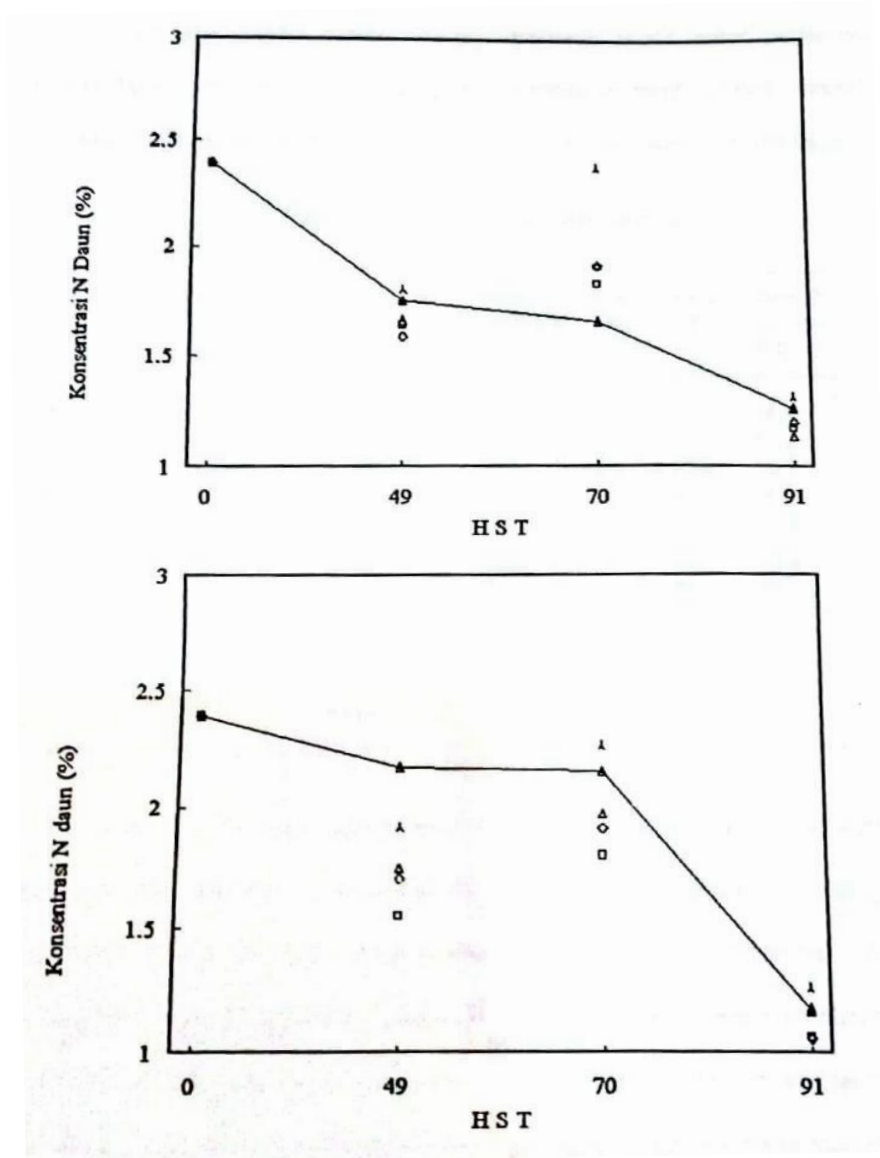
Gambar 15. Kandungan nitrogen dalam biji, nitrogen yang dimobilisasi dari daun dan batang selama periode pengisian biji pertumbuhan.



Gambar 16. Kandungan nitrogen bagian AGB masing-masing perlakuan tadah hujan selama periode pertumbuhan



Gambar 17. Kandungan nitrogen dalam biji, nitrogen yang dimobilisasi dari daun dan batang selama periode pengisian biji pertumbuhan perlakuan tadah hujan



Gambar 18. Penurunan konsentrasi nitrogen daun untuk semua perlakuan irigasi (atas) dan tadah hujan (bawah)

#### D. KOMPONEN HASIL

Berat gabah dan jumlah gabah rata-rata berbeda nyata antar perlakuan pemupukan,

Tabel 6. Sementara itu, komponen hasil lainnya seperti persentase gabah isi, berat 1000 butir gabah tidak menunjukkan perbedaan.

Tabel 6. Komponen hasil tanaman

Perlakuan	Berat 1000 butir gabah (g)	Berat Gabah (ton ha <sup>-1</sup> )	Persen Gabah Isi (%)	HI <sub>B</sub> (%)	HI <sub>N</sub> (%)	Jumlah Gabah (1000 m <sup>-2</sup> )
IRN0	24.35	1.692	35.2	31	33.9	7.9
IRN1	25.90	2.591	33.7	36	37.6	10.1
IRN2	26.20	2.501	35.0	31	38.8	8.1
IRN3	30.38	3.225	46.3	35	38.5	9.9
IRN4	26.73	3.158	42.4	31	6.8	9.8
THN0	19.13	1.164	29.3	13	38.3	6.1
THN1	22.78	1.673	37.5	25	35.7	8.2
THN2	24.25	1.195	35.8	14	34.0	6.3
THN3	29.18	2.547	44.7	28	35.6	9.6
THN4	24.13	2.323	42.2	27	32.1	11.5
<i>lsd</i>	5.6	0.145	21.3	12	2.4	5.8

Indeks Hasil (IH<sub>g</sub>= gabah/AGB) mempunyai jangkauan 28 - 42%, sementara IH<sub>N</sub> (nitrogen gabah/AGN, %) mempunyai jangkauan 39 sampai 44%. Gabah yang dihasilkan pada perlakuan irigasi adalah 3.3 ton ha<sup>-1</sup> dan 3.7 ton ha<sup>-1</sup> pada perlakuan tadah hujan. Walaupun secara statistik perbedaan berat gabah kedua perlakuan tersebut tidak nyata, namun terlihat dari data tersebut bahwa perlakuan tadah hujan lebih besar dibandingkan irigasi, ini karena berat 1000 gabah perlakuan tadah hujan adalah 26.7 g, sementara perlakuan irigasi hanya 25.1 g.

## E. INTERSEPSI RADIASI SURYA

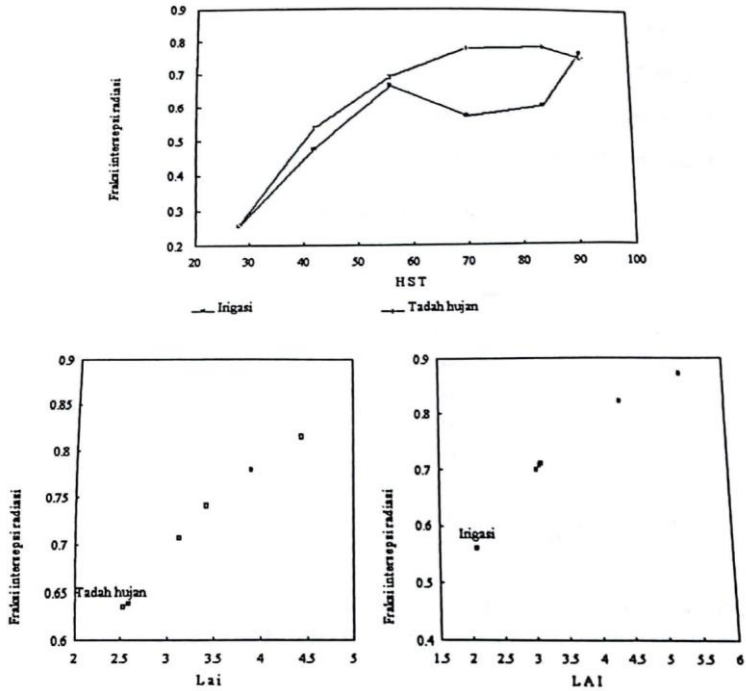
Radiasi yang diintersepsi selama periode pertumbuhan disajikan dalam

Tabel 7. Intersepsi radiasi surya meningkat sampai indeks luas daun mencapai optimum, kemudian turun lagi dengan bertambahnya umur tanaman karena banyak daun yang mengering dan rontok.

Tabel 7. Intersepsi radiasi surya ( $\text{MJ m}^{-2}$ )

Perlakuan	HST					
	28	42	56	70	84	91
Stasiun	278.3	626.9	885.9	1157.8	1408.0	1480.0
IRN0	114.5	306.5	466.0	635.6	773.0	600.2
IRN2	168.0	529.7	648.5	886.8	1078.6	966.5
IRN3	147.9	422.5	653.8	934.3	1136.3	929.3
IRN4	122.8	421.9	658.2	930.8	1132.1	761.0
THN0	95.5	336.6	489.9	783.8	953.2	442.3
THN2	138.2	355.4	569.6	671.8	1060.0	717.8
THN3	117.8	383.6	615.7	947.1	1152.0	573.4
THN4	141.8	433.8	674.1	971.4	1181.0	1011.0

Intersepsi radiasi surya meningkat menurut umur tanaman sampai MF. Gambar 4.16.a memperlihatkan fraksi radiasi surya yang diintersepsi, Gambar 4.16b memperlihatkan hubungan fraksi radiasi surya dengan LAI.



Gambar 19. Fraksi radiasi yang diintersepsi, ( $f_i$ ) (atas) dan hubungan antara  $f_i$  dengan LAI, tadah hujan (kiri bawah) dan irigasi (kanan bawah)

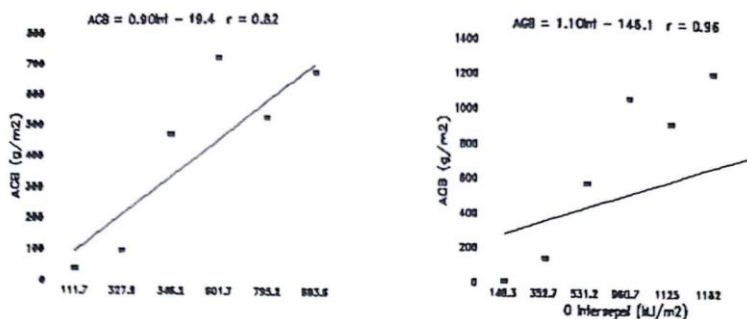
Fraksi intersepsi radiasi berkisar dari 0,45 sampai 0,8 (TH) dan 0.5 sampai 0.75 (IR). Secara relatif kedua perlakuan tersebut mengintersepsi sejumlah radiasi yang sama. Hubungan  $f_i$  dan LAI perlakuan TH berkisar dari 0.6 sampai 0.85 sedangkan perlakuan irigasi berkisar dari 0.55 sampai dengan 0.0

## F. EFISIENSI PENGGUNAAN RADIASI (RUE)

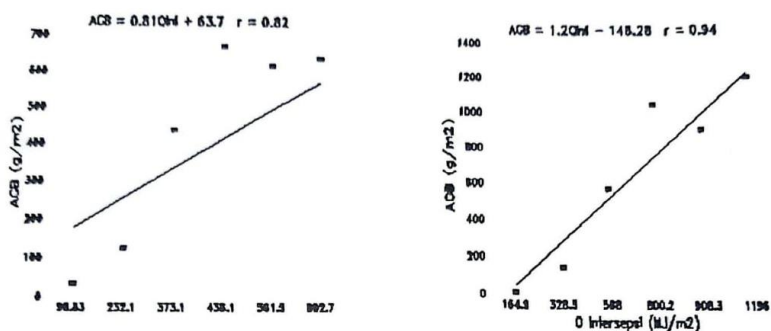
Pada Gambar 20 dan 21 menunjukkan hubungan antara intersepsi radiasi surya ( $Q_{Int}$ ) dengan biomassa di atas tanah (AGB). Hasil kurva *fitted* tersebut diperhitungkan sejak umur 28 HST. Efisiensi penggunaan cahaya terendah adalah  $0.9 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.82$  dan tertinggi adalah  $1.1 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.96$  untuk perlakuan



irigasi. Pada perlakuan tadah hujan efisiensi penggunaan cahaya terendah adalah  $0.8 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.82$  dan tertinggi adalah  $1.2 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.94$ .



Gambar 20. Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) pada perlakuan irigasi, searah jarum jam IRN0, IRN2, IRN3 dan IRN4.



Gambar 21. Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) pada perlakuan tadah hujan, searah jarum jam, THN0, THN2, THN3 dan THN4

Jumlah curah hujan yang diterima semua perlakuan selama periode pertumbuhan adalah 681 mm. Jumlah ini cukup jika dibandingkan dengan kebutuhan air tanaman (ETa). Pada perlakuan irigasi, sebelum AT, rata-rata ETa adalah  $4.4 \text{ mm hari}^{-1}$  sewaktu ETp meningkat dari  $2 \text{ mm}$  pada saat tanam sampai  $5.8 \text{ mm hari}^{-1}$  pada saat

anthesis. Setelah AT (periode pengisian biji) ETa meningkat sekitar 6.2 mm pada saat ETp menjadi 6.4 mm.

Pada sawah tadah hujan (THN0), sebelum AT, rata-rata ETa adalah 5.8 mm hari<sup>-1</sup>, Ketika ETp sekitar 6.4 mm hari<sup>-1</sup>. Pada ETa sawah tadah hujan terlihat melebihi ETa sawah irigasi, jadi hal ini menunjukkan bahwa pada perlakuan tadah hujan selama periode pertumbuhan tersebut air bukan factor pembatas. Akibat hal tersebut segala proses amonifikasi dan nitrifikasi dalam tanah berlangsung cepat.

Nitrogen tanaman diserap utamanya terjadi sebelum AT sementara penurunan NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tanah dari tanam sampai dengan AT. Hal ini juga menunjukkan bahwa laju serapan berkaitan dengan pertumbuhan tanaman, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> tanah dan kelembapan tanah.

Efisiensi penggunaan air (WUE) dan transpirasi (TU) dalam percobaan ini adalah 33 – 34 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (TUE) dan 26 – 29 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup> (WUE). Nilai WUE irigasi yang besar (29 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) dikarenakan pemberian air irigasi pada kondisi curah hujan yang tinggi menyebabkan efisiensi penggunaan air.

Efisiensi penggunaan radiasi (RYE) berkisar dari 0.9 – 1.1 g MJ<sup>-1</sup> (IR) dan 0.8 – 1.2 g MJ<sup>-1</sup> (TH). Kiniry et al. (1989) melaporkan RUE tanaman padi sekitar 1.0 g MJ<sup>-1</sup>. RUE juga terlihat responsif terhadap nitrogen tanaman, yaitu dengan nilai RUE yang semakin meningkat mengikuti taraf pemupukan.



## BAB 9

# INTERAKSI AIR, NITROGEN DAN PERTUMBUHAN HASIL PADI

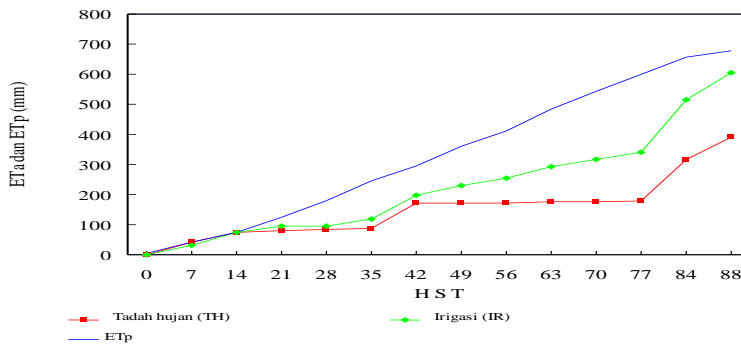
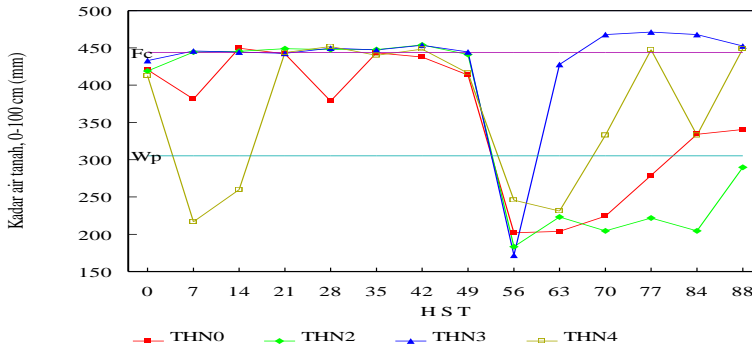
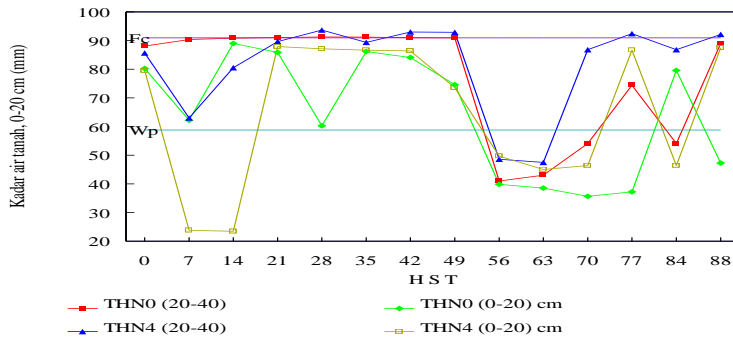
### A. KADAR AIR TANAH

Kadar air tanah pada kedalaman tanah 0-20 dan 0-100 cm untuk perlakuan tadah hujan diperlihatkan pada Gambar 21. Dalam gambar tersebut terlihat bahwa pada awal pertumbuhan kadar air tanah berada pada kapasitas lapang dan jika curah hujan melebihi  $ETa$  maka akan terjadi drainase.

Kadar air tanah mengalami penurunan mencapai titik layu permanen pada saat AT, bahkan THN4 terjadi dua kali, yaitu sebelum TM dan AT. Penurunan kadar air tanah tersebut berkaitan dengan curah hujan yang relatif kecil selama periode AT tersebut (Gambar 22). Di samping itu juga disebabkan oleh laju permeabilitas tanah yang agak cepat ( $9.6 \text{ cm jam}^{-1}$ ).

Selama periode pertumbuhan, kadar air tanah pada perlakuan pemupukan terjadi penurunan yang lebih cepat dibandingkan dengan tanpa pemupukan (Gambar 22a.b).

Neraca air masing-masing perlakuan selama periode pertumbuhan disajikan dalam Tabel 8. Jumlah air yang diberikan baik curah hujan maupun irigasi, selama periode pertumbuhan adalah dari 627 mm (TH) hingga 1714 mm (IR) dan total  $ETa$  adalah 362.8 mm hingga 411.6 mm (TH) dan dari 597.0 mm hingga 655.4 mm (IR).  $ETa$  kumulatif dan  $ETp$  disajikan pada Gambar 22c.



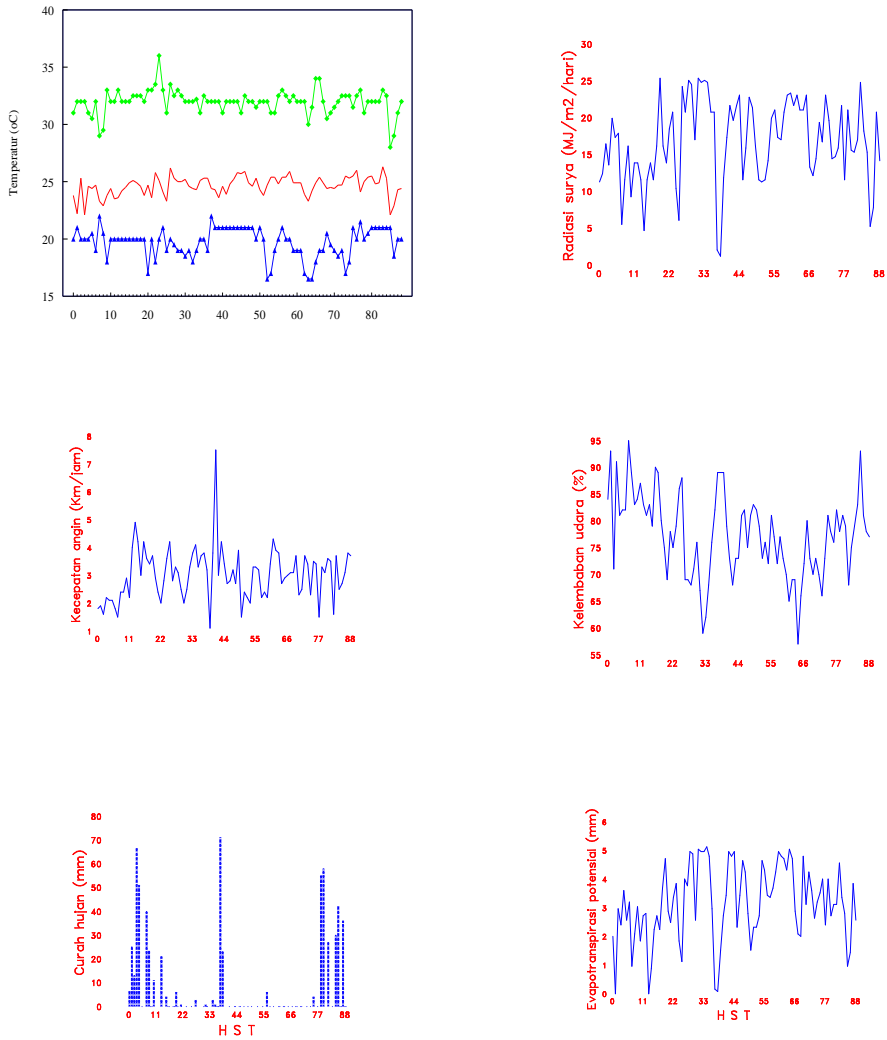
Gambar 22. Kadar air tanah perlakuan tadah hujan pada kedalaman 0 - 20 cm, atas dan 0 - 100 cm, tengah, ETa dan ETp, bawah, selama periode pertumbuhan.

Tabel 8. Neraca air selama periode pertumbuhan

Neraca air (mm)			Neraca nitrogen (kg N ha <sup>-1</sup> )					
Perlakuan	Hujan	Irigasi ETa	Tanam Masak		Nitrogen			
			Fisiologis		terserap			
			NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>		
IRN0	664	1050	637.4	136.1	35.9	25.6	54.6	214.1
IRN2	664	1050	632.4	136.1	35.9	49.4	68.7	335.9
IRN3	664	1050	597.4	136.1	35.9	46.8	64.3	432.6
IRN4	664	1050	652.4	136.1	35.9	38.5	66.7	477.5
THN0	664	50	362.8	136.1	35.9	104.6	41.8	198.9
THN2	664	50	384.2	136.1	35.9	82.2	33.5	367.8
THN3	664	50	405.7	136.1	35.9	107.2	34.4	413.3
THN4	644	50	411.6	136.1	35.9	80.0	35.7	459.2

## B. IKLIM DAN PERKEMBANGAN TANAMAN

Data radiasi surya, curah hujan, suhu, kelembaban dan kecepatan angin disajikan pada Gambar 23. Radiasi surya bervariasi mulai 1.15 - 25.34 MJ m<sup>-2</sup>. Rata-rata evapotranspirasi potensial (ETp) 2.8 mm hari<sup>-1</sup>.



Gambar 23. Peubah cuaca harian selama periode pertumbuhan tanaman tanam II.

Peubah cuaca dan panjang hari fase perkembangan tanaman muLAI sebar hingga tanam (S-T), tanam hingga tunas maksimum (T-

TM), tunas maksimum hingga anthesis (TM-AT) dan dari anthesis sampai masak fisiologis (AT-MF) disajikan dalam

Tabel 9. Kecuali fase TM - AT, perkembangan tanam II lebih cepat daripada tanam I. Hal ini konsisten dengan meningkatnya suhu selama periode pertumbuhan berlangsung.

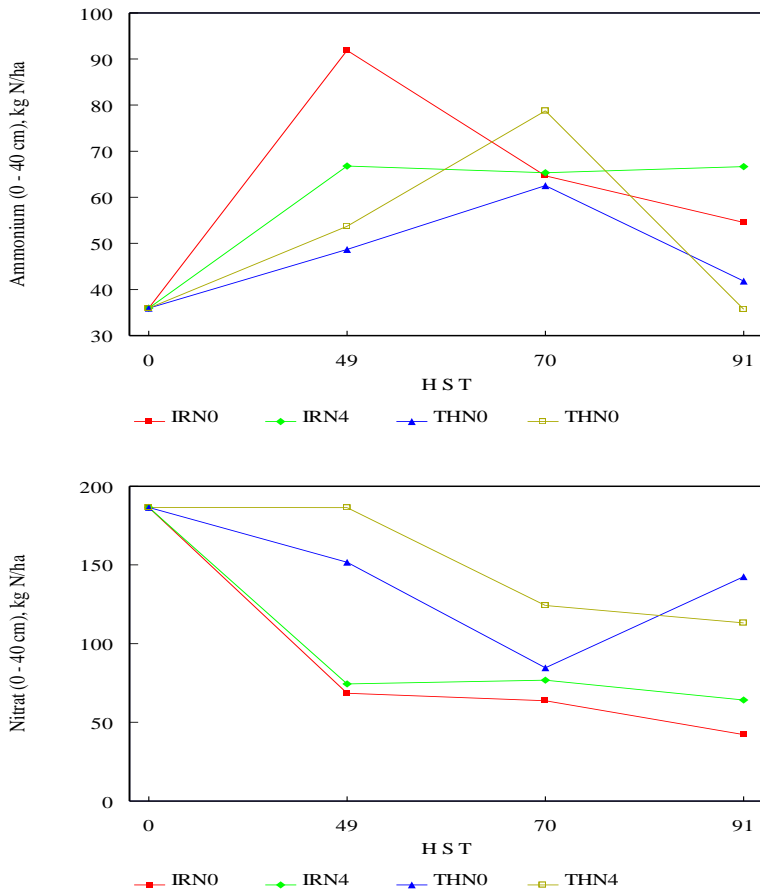
Tabel 9. Peubah cuaca selama fase perkembangan tanaman

Fase	Lama (hari)	Suhu (C)	RH (%)	Angin (km jam <sup>-1</sup> )	Radiasi (MJ m <sup>-2</sup> )	Hujan (mm)	ETp (mm)
Percobaan I, 21 Februari 1995:							
S - T	31	23.8	86	2.59	412.92	688	193
T - TM	49	23.9	83	2.73	647.29	576	270
TM - AT	20	24.7	80	3.09	360.00	99	158
AT - MF	22	25.0	76	3.16	402.82	6	232
Percobaan II, 23 Maret 1995:							
S - T	23	24.0	83	2.91	301.07	200	143
T - TM	40	24.4	80	2.93	628.00	369	221
TM - AT	28	24.9	74	3.81	51.240	6	222
AT - MF	20	24.8	77	3.05	329.40	252	149

### C. NITROGEN TANAH

Neraca nitrogen tanah masing-masing perlakuan disajikan dalam Tabel 8. Mineral nitrogen tanah (NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup>) saat tanam relatif tinggi, diperkirakan telah terjadi mineralisasi jauh sebelum tanam. Kadar NO<sub>3</sub><sup>-</sup> dan NH<sub>4</sub><sup>+</sup> selama pertumbuhan disajikan pada Gambar 23. Kecuali (THN0), NH<sub>4</sub><sup>+</sup> hingga fase AT meningkat, sehingga NO<sub>3</sub><sup>-</sup> menurun atau dengan kata lain peningkatan tersebut akibat pemupukan dan proses mineralisasi. Saat MF, kadar mineral nitrogen perlakuan tanpa pupuk lebih besar daripada dengan pemupukan. Jumlah NO<sub>3</sub><sup>-</sup> pada perlakuan tanpa pupuk ini disebabkan jumlah yang diserap lebih kecil dibandingkan perlakuan lainnya.





Gambar 24. Kadar amonium (atas) dan nitrat (bawah) hingga kedalaman 40 cm, selama periode pertumbuhan.

#### D. PERTUMBUHAN TANAMAN, SERAPAN NITROGEN DAN HASIL

Saat MF sebaran biomassa total muLAI 5.9 ton ha<sup>-1</sup> hingga 10.9 ton ha<sup>-1</sup> dengan LAI dari 2.2 hingga 3.7 (Tabel 5 dan Gambar 24). LAI maksimum terjadi sebelum AT sedangkan biomassa total sesudahnya.

Pada perlakuan tadah hujan, nitrogen yang diserap meningkat dengan pemupukan dari 198.9 (THN0) hingga ke 367.8 (THN2), 413.3 (THN3) dan 459.2 (THN4). Perlakuan irigasi, nitrogen yang diserap oleh IRN2, IRN3 dan IRN4 perbedaannya lebih besar dari perlakuan IRN0 yaitu 100 - 200 kg ha<sup>-1</sup>.

Biomassa dan nitrogen tanaman yang diserap sebagai tanggapan terhadap perlakuan irigasi dan pemupukan disajikan pada Tabel 5 dan

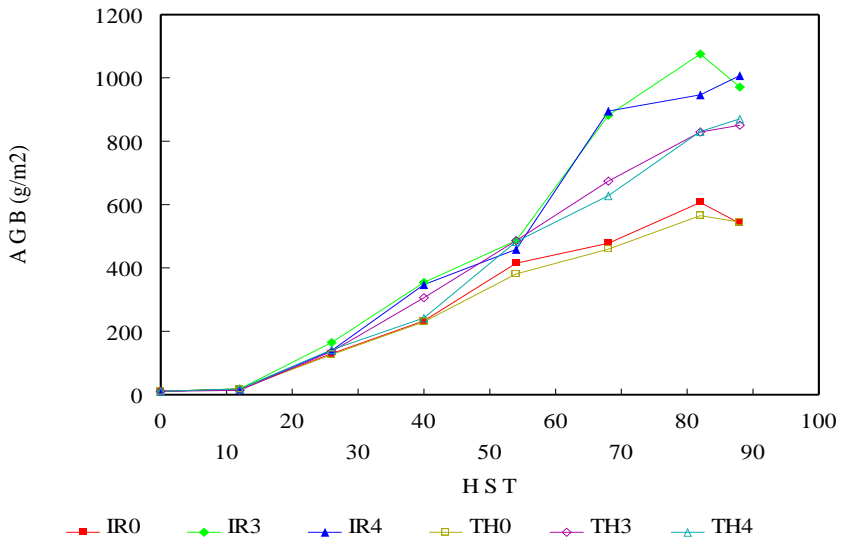
Gambar 24. Pemupukan N umur 35 HST pada perlakuan tadah hujan nyata menyokong pertumbuhan dan serapan nitrogen sesudah AT. Pemakaian nitrogen meningkatkan konsentrasi organ tanaman (batang dan daun) seperti terlihat pada Gambar 24. Gambar 25 menunjukkan pola berat daun spesifik (SLW nisbah antara berat daun dengan LAI) dan nitrogen daun spesifik (SLN, nisbah antara kandungan nitrogen dengan LAI) menurut waktu. Selama AT - MF, SLW meningkat dari 400 menjadi 500 kg N ha<sup>-1</sup> dan SLN menurun dari 9 menjadi 7 kg N ha<sup>-1</sup>.

Hubungan antara efisiensi penggunaan air (WUE) dan efisiensi transpirasi (TUE) dengan AGB disajikan dalam Gambar 26. WUE dan TUE tersebut dihitung sejak 26 HST. WUE tanpa pupuk (THN0) lebih rendah (11.3 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) daripada dengan pupuk (THN4) (18.4 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>). Begitu pula TUE untuk THN0 (25.6 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) dan (49.9 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) untuk THN4.

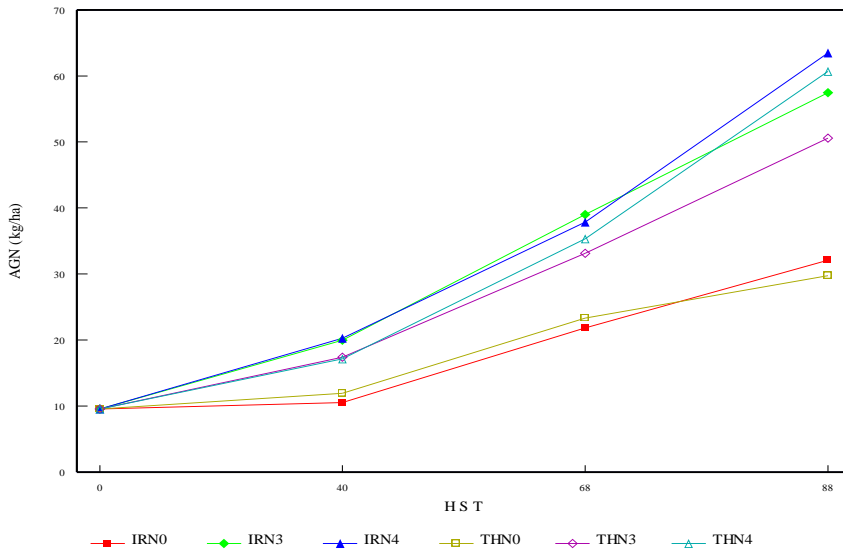
Tabel 10. Biomassa di atas tanah (AGB) indeks luas daun (LAI) selama periode pertumbuhan

Perlakuan	HST							
	14	28	42	56	70	84	88	
<b>a) AGB (g m<sup>-2</sup>)</b>								
IRN0	23.36	173.60	285.92	486.24	554.24	678.56	920.32	
IRN2	32.86	187.36	358.08	521.92	763.20	927.04	839.52	
IRN3	25.12	217.60	419.68	553.12	1094.24	1221.92	1039.84	
IRN4	22.72	188.16	409.44	528.32	1001.60	1050.72	1087.52	
THN0	27.68	170.40	284.00	448.96	549.76	643.20	607.36	
THN2	21.28	172.48	315.52	519.52	692.00	820.96	837.92	
THN3	19.52	183.20	364.48	553.60	798.56	914.24	925.76	
THN4	24.16	188.16	348.32	539.04	726.88	920.32	953.12	
<i>lsd</i>								181.61

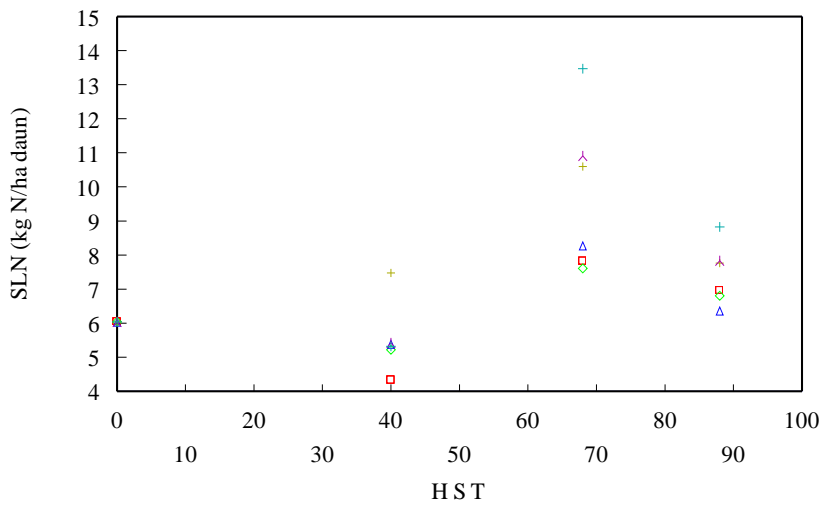
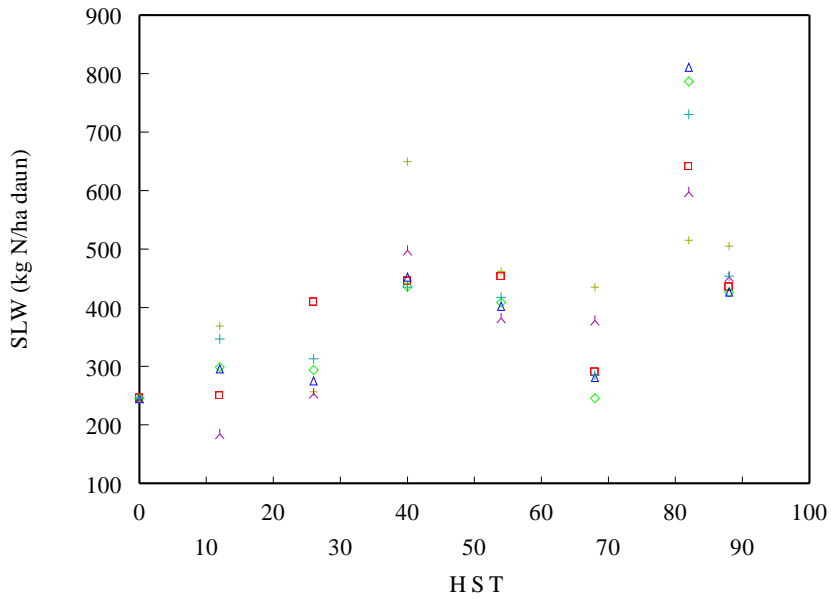
Perlakuan	HST						
	14	28	42	56	70	84	88
<b>b) Indeks luas daun</b>							
IRN0	0.3	1.5	2.6	3.6	3.8	2.6	2.5
IRN2	0.4	1.8	2.9	4.1	5.2	3.3	2.6
IRN3	0.3	2.5	3.5	5.0	6.6	3.5	3.7
IRN4	0.3	2.4	3.3	4.9	5.7	3.1	3.3
THN0	0.2	2.4	1.8	2.8	2.8	2.8	2.2
THN2	0.3	2.7	2.5	4.3	4.8	3.5	3.4
THN3	0.3	2.9	2.9	4.4	5.1	3.9	3.5
THN4	0.2	2.1	3.1	4.4	5.0	3.4	3.4
<i>lsd</i>		0.8	1.9	0.7	0.7	0.7	
<b>c) A G N (g m<sup>-2</sup>)</b>							
IRN0	0.5 (Awal)		8.4		11.1		21.4
IRN2			13.8		12.5		33.5
IRN3			15.9		16.4		43.3
IRN4			16.2		17.5		47.7
THN0			9.5		12.4		19.9
THN2			11.7		13.5		36.7
THN3			13.9		16.5		41.3
THN4			13.7		15.5		45.9
<i>lsd</i>			1.1		8.3		3.1



Gambar 23. Laju biomassa total selama periode pertumbuhan tanaman

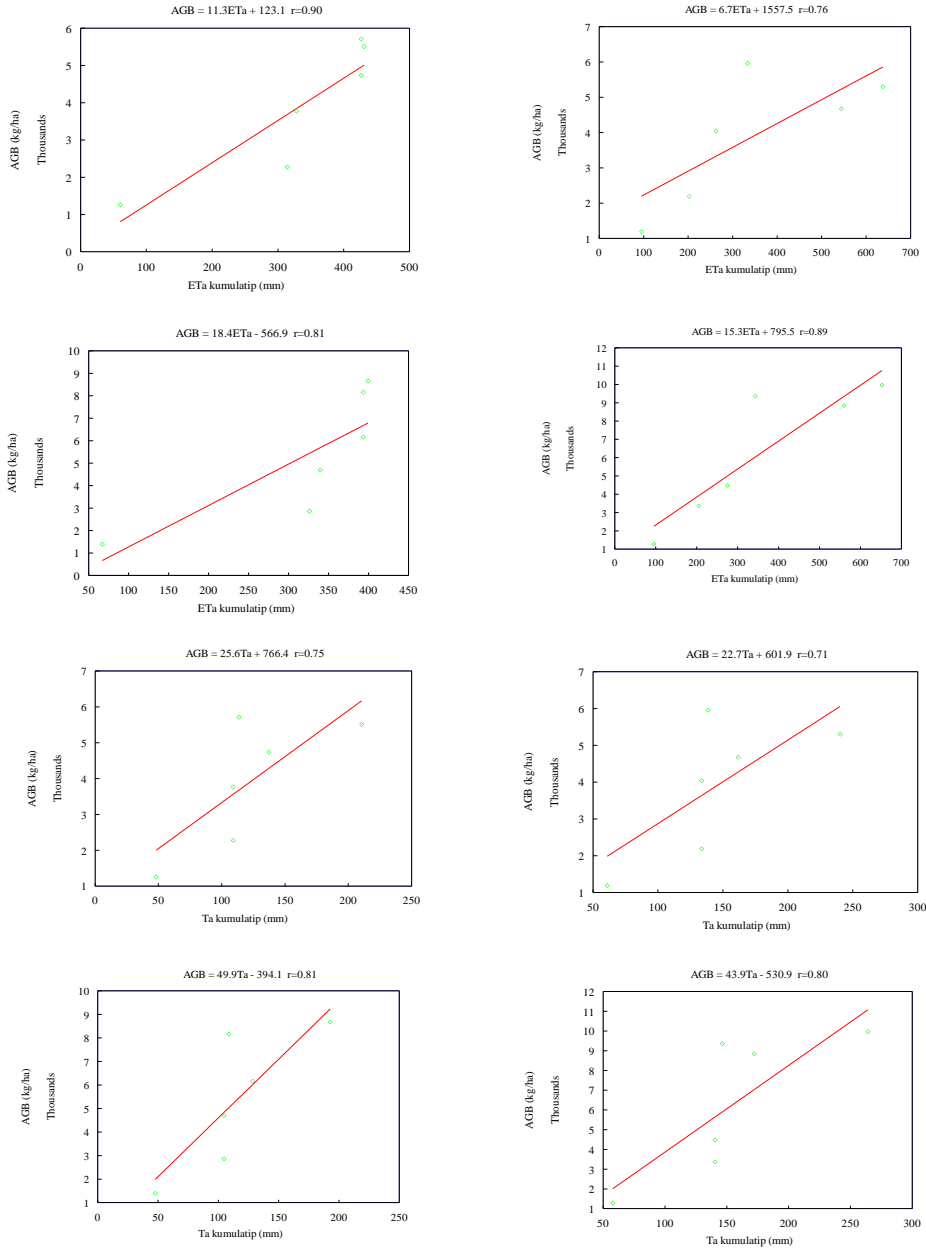


Gambar 24. AGN masing-masing perlakuan selama periode pertumbuhan tanaman



□ IRN0      ◇ IRN3      △ IRN4  
 + THN4      ˆ THN3      + THN4

Gambar 25. Variasi berat daun spesifik (SLW), atas, dan nitrogen daun spesifik (SLN) bawah, selama periode pertumbuhan.



Gambar 26. WUE perlakuan THN0 dan THN4 (kiri atas), IRN0 dan IRN4 (kanan atas) dan TUE, THN0 dan THN4 (kiri bawah), IRN0 dan IRN4 (kanan bawah)

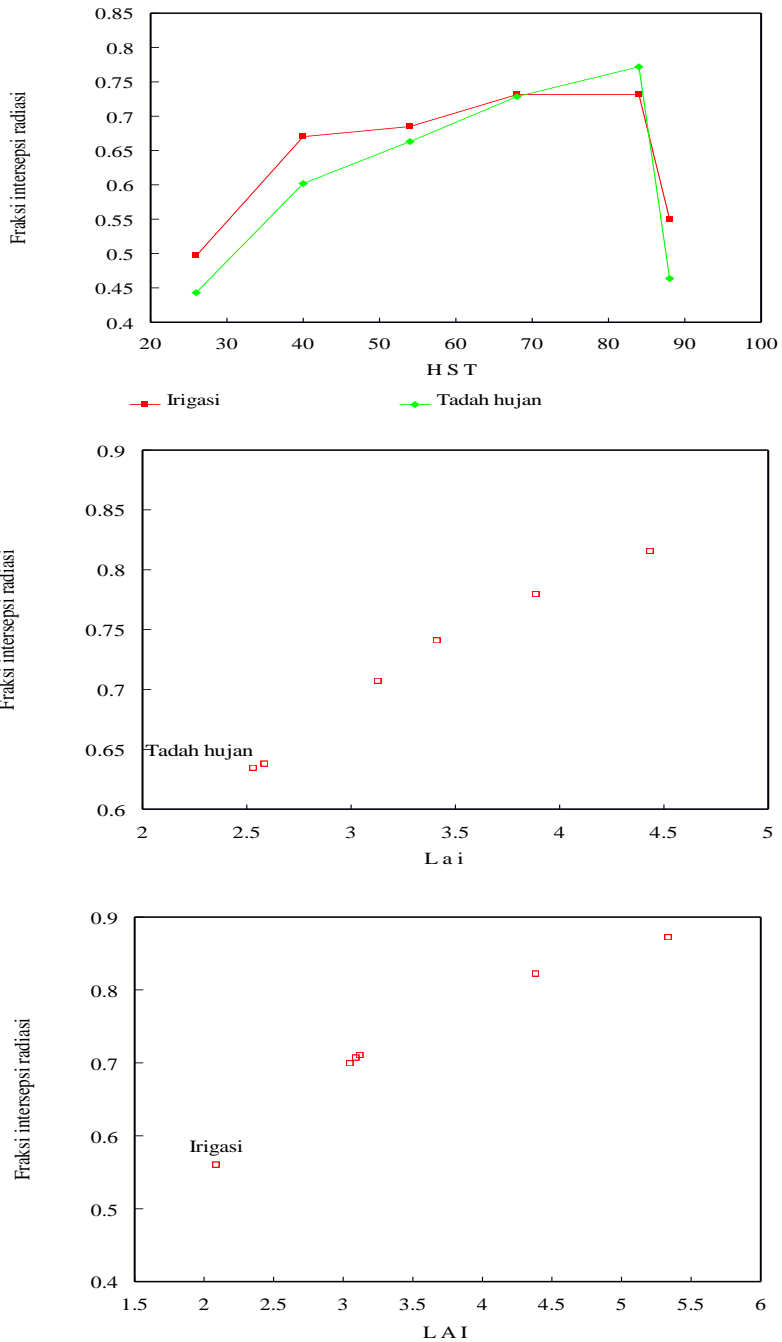
Berat dan jumlah gabah rata-rata berbeda nyata antar perlakuan pemupukan (Tabel 11). Sedangkan komponen hasil Lainnya seperti persentase gabah isi, berat 1000 butir gabah tidak menunjukkan perbedaan yang nyata.

Tabel 11. Komponen hasil tanaman

Perlakuan	Berat1000 butir gabah (g)	Berat Gabah (ton ha-1)	Persen Gabah Isi (%)	HI B (%)	HI N (%)	Jumlah Gabah (1000 m-2)
IRN0	24.35	1.692	35.2	31	33.9	7.9
IRN1	25.90	2.591	33.7	36	37.6	10.1
IRN2	26.20	2.501	35.0	31	38.8	8.1
IRN3	30.38	3.225	46.3	35	38.5	9.9
IRN4	26.73	3.158	42.4	31	36.8	9.8
THN0	19.13	1.164	29.3	13	38.3	6.1
THN1	22.78	1.673	37.5	25	35.7	8.2
THN2	24.25	1.195	35.8	14	34.0	6.3
THN3	29.18	2.547	44.7	28	35.6	9.6
THN4	24.13	2.323	42.2	27	32.1	11.5
<i>lsd</i>	5.6	0.145	21.3	12	2.4	5.8

#### E. INTERSEPSI RADIASI SURYA DAN EFISIENSI PENGGUNAAN RADIASI

Intersepsi radiasi surya meningkat menurut umur tanaman hingga MF. Gambar 27 memperlihatkan fraksi radiasi surya yang diintersepsi. Pada gambar tersebut juga diperlihatkan hubungan fraksi radiasi surya dengan LAI.

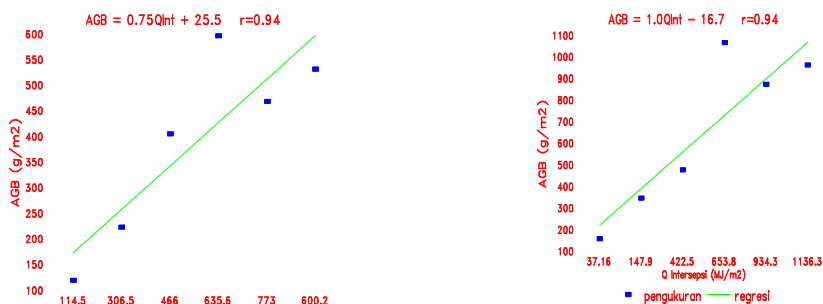


Gambar 27. Fraksi radiasi intersepsi,  $f_i$ , (atas) dan hubungan antara  $f_i$  dan LAI, tadah hujan (tengah), irigasi (bawah)

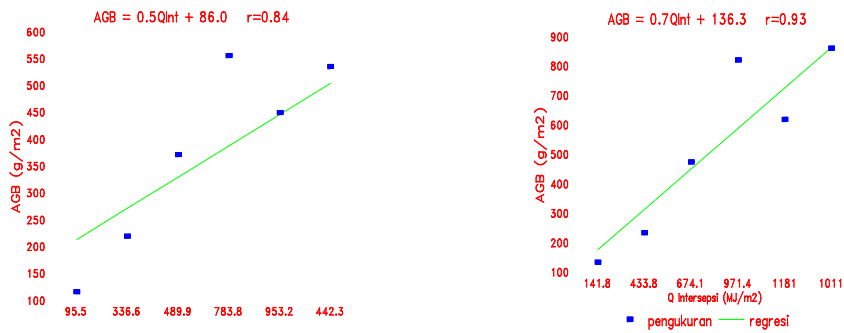


Fraksi radiasi intersepsi, berkisar dari 0.45 hingga 0.8 (TH) dan 0.5 hingga 0.75 (IR). Pada saat masak fisiologis, radiasi yang diintersepsi hanya sekitar 40%.

Gambar 28 dan 29 menunjukkan hubungan antara intersepsi radiasi surya ( $Q_{Int}$ ) dengan biomassa di atas tanah (AGB). Hasil kurva penyesuaian (*fitted*) tersebut diperhitungkan sejak umur 28 HST. Efisiensi penggunaan radiasi surya terendah adalah  $0.7 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.94$  dan tertinggi adalah  $1.0 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.92$  untuk perlakuan irigasi. Pada perlakuan tadah hujan efisiensi penggunaan cahaya terendah adalah  $0.5 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.84$  dan tertinggi adalah  $0.7 \text{ g MJ}^{-1}$  dengan  $r = 0.93$ .



Gambar 28. Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) pada perlakuan irigasi, IRN0 (kiri) dan IRN4 (kanan)



Gambar 29. Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) pada perlakuan tadah hujan, THN0 (kiri) dan THN4 (kanan)

Jika dibandingkan dengan tanam I, maka RUE tanam II, terlihat lebih kecil, utamanya pada perlakuan tadah hujan. Laju perkembangan 3% lebih cepat daripada tanam I dan ini dapat diterangkan sebagai akibat dari suhu yang lebih tinggi selama periode pertumbuhan.

Sepanjang periode anthesis (AT) kadar air tanah hampir pada kondisi kapasitas lapang, akibatnya tidak ada pengaruh pemberian air irigasi pada pertumbuhan tanaman. Curah hujan menjaga kecukupan pemberian air tanah hingga masak fisiologis (MF), pada perlakuan tadah hujan ketika profil tanah mengering dengan cepat, utamanya perlakuan pemupukan karena besarnya LAI (THN4).

Pemupukan nitrogen secara nyata meningkatkan kadar mineral nitrogen tanah ( $\text{NO}_3^-$ ). Perbedaan dalam nitrogen tanah hanya nyata untuk  $\text{NO}_3^-$ .

Peningkatan serapan nitrogen tanaman pada perlakuan pemupukan berakibat terhadap tingginya konsentrasi nitrogen dan kadar nitrogen dalam bagian tanaman (batang dan daun) dan perbedaan antara perlakuan nyata. Pada perlakuan tadah hujan perbedaan hanya pada THN4. Konsentrasi nitrogen yang tinggi dalam bagian tanaman, pada perlakuan pemupukan, berhubungan erat dengan laju pertumbuhan yang tinggi, efisiensi penggunaan cahaya (RUE) dan efisiensi penggunaan air (WUE).

AGB pada saat masak fisiologis (MF) mempunyai kisaran 5.9 - 10.9 ton ha<sup>-1</sup> sedangkan tanam I mempunyai kisaran 6.9 - 12.2 ton ha<sup>-1</sup>. Beberapa alasan biomassa yang dihasilkan rendah ini antara lain adalah, pertama, suhu udara yang relatif lebih tinggi selama pertumbuhan vegetatif yang berakibat cepatnya fase perkembangan tanaman dan mengurangi penimbunan biomassa. Kedua, terutama pada perlakuan tadah hujan, air sebagai pembatas pada saat terakhir periode pertumbuhan vegetatif, di sini kandungan air tanah turun hingga titik layu permanen (50-80 HST). Ketiga, akibat jumlah radiasi yang diterima Tanam I lebih besar jika dibandingkan dengan Tanam II, terutama pada fase anthesis (AT) hingga masak fisiologis (MF), yaitu 402.82 MJ<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>, sementara Tanam II hanya 329.4 MJ<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> hari<sup>-1</sup>.

Jumlah gabah 1000 butir merupakan komponen penting dalam menentukan perbedaan hasil gabah, sebab rata-rata berat gabah 19.1 - 30.4 g. Kisaran hasil gabah antara perlakuan sempit (1.2 - 3.2 ton ha<sup>-1</sup>). Indeks Hasil (IH<sub>B</sub>) relatif kecil (13.1 - 35%) dan ini konsisten dengan ukuran gabah (19.1 - 30.4 g). Berat gabah yang kecil ini karena masa pengisian biji yang pendek hanya 20 hari dibandingkan dengan sebelum anthesis (AT) sekitar 28 hari. Jika dibandingkan dengan tanam I, lama periode pengisian gabah adalah 22 hari dengan pra-anthesis 20 hari menghasilkan IHB sekitar 42%.

Indeks Hasil nitrogen (HI<sub>N</sub>) berkisar dari 32.1 - 38.8 selalu lebih besar dari IH<sub>B</sub> seperti yang terjadi pada tanam I. Ini berarti konsentrasi dan kandungan nitrogen gabah meningkat dengan pemberian nitrogen yang bervariasi antara 19.4 - 55.2 kg N ha<sup>-1</sup>.

# BAB 10

## SIMULASI TANAMAN PADI

### A. TAMPILAN MODEL

Tampilan model diperlihatkan pada Gambar 30, dengan prediksi model yang dibandingkan dengan data percobaan tanam I yaitu:

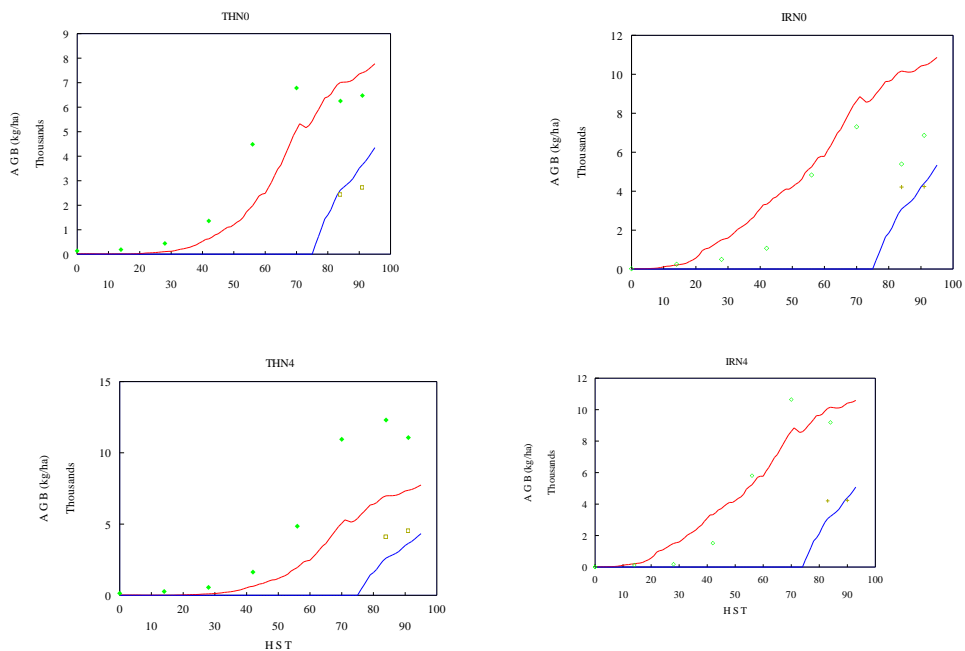
1. Biomassa di atas tanah (AGB) dan hasil gabah (Gambar 30.1)
2. Kandungan nitrogen dalam AGB (Gambar 30.2)
3. Kandungan air tanah dalam dua lapisan (0-20 dan 0-40 cm) (Gambar 30.3)
4. Evapotranspirasi (Gambar 30.4)
5. Kandungan nitrat tanah dalam dua lapisan (0-20 dan 0-40 cm) (Gambar 30.5)

Masukan peubah untuk model meliputi informasi cuaca, tanah dan teknik agronomi. Model sebagai tanggapan tanaman terhadap peubah cuaca harian, radiasi surya, temperatur udara, kelembaban, kecepatan angin dan curah hujan.

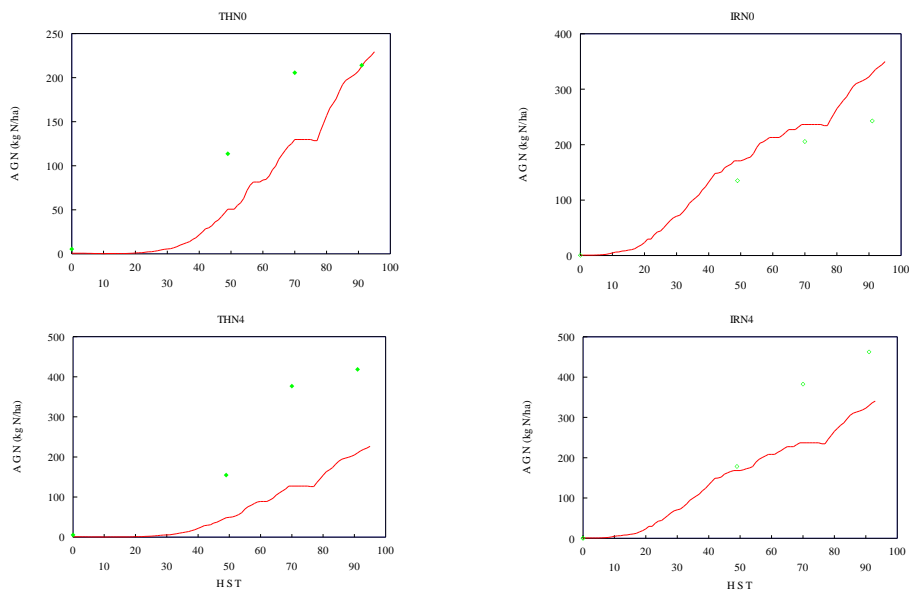
Informasi sifat tanah, baik sifat kimia seperti neraca nitrogen (nitrogen tanah dan pH) maupun fisik tanah seperti kemampuan tanah menahan air (titik layu permanen, kapasitas lapang dan kedalaman tanah) dan evaporasi tanah. Teknik agronomi waktu tanam, laju pemupukan dan irigasi. Informasi tambahan Lainnya sebagai kondisi awal pada saat tanam adalah mineral nitrogen ( $\text{NH}_4^+$  dan  $\text{NO}_3^-$ ) dan kandungan air tanah.

Model dirancang untuk membantu mempelajari tanggapan tanaman-lingkungan dan keputusan agronomi. Untuk itu model harus dapat mensimulasi tampilan tanaman padi terhadap peubah lingkungan berupa kondisi kadar air dan nitrogen. Validasi ini memerlukan uraian rinci tentang tanggapan tanaman terhadap variabilitas cuaca dari hari ke hari dan berkaitan dengan kelembaban dari nitrogen tanah. Berdasarkan pengujian dengan data percobaan tanam I, model mampu mensimulasi sebagai tanggapannya terhadap pemberian air dan nitrogen namun validasi yang lebih rinci diperlukan, utamanya terhadap ketersediaan nitrogen yang bervariasi.

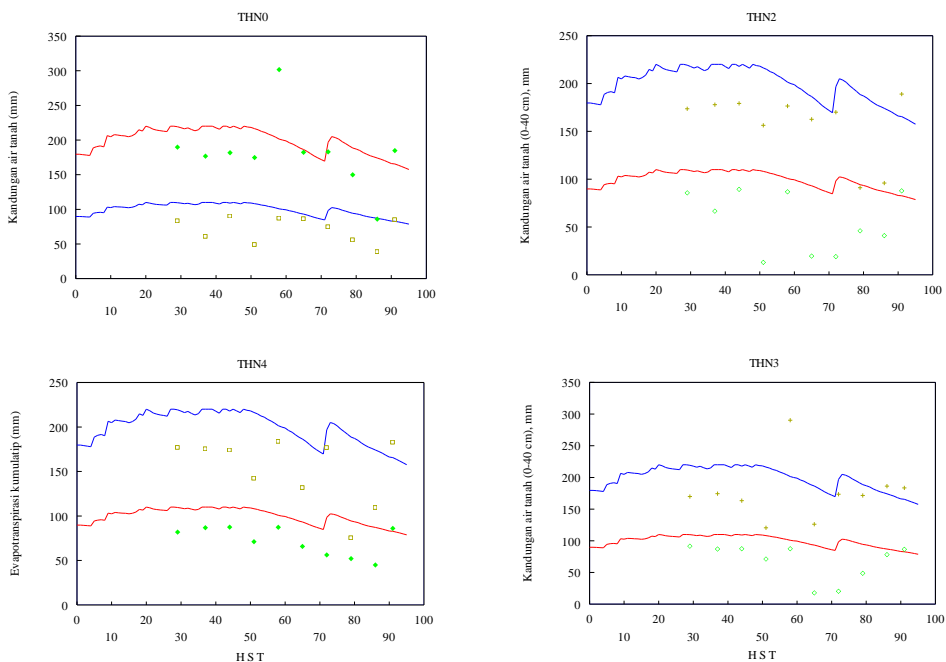
Validasi model dengan data percobaan disajikan dalam bagian 30.2. di mana model diuji dengan data percobaan tanam II.



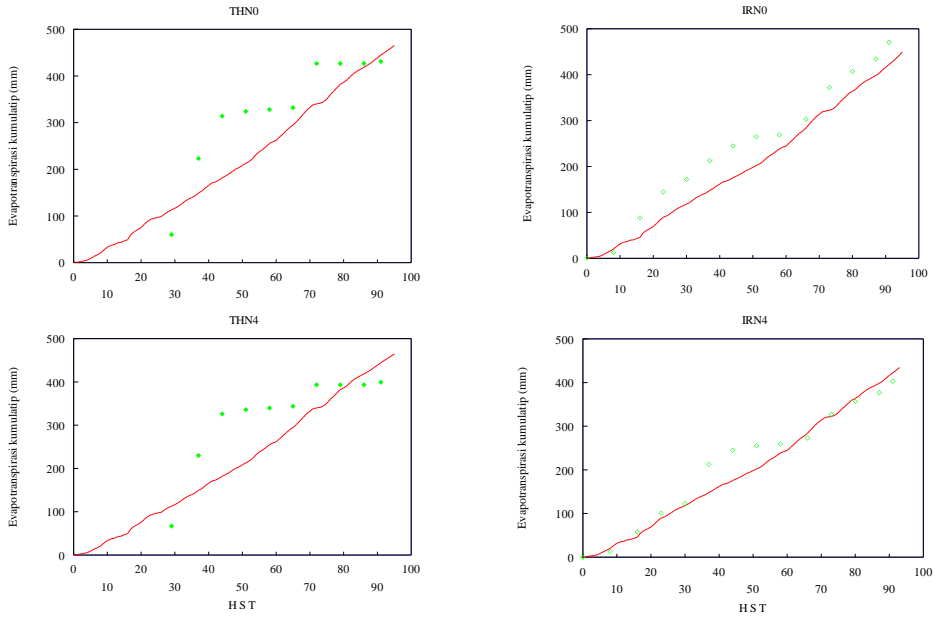
Gambar 30.1. Prediksi (garis) dan pengukuran (simbol) AGB dan hasil gabah. Garis vertical mencirikan galat baku pengukuran.



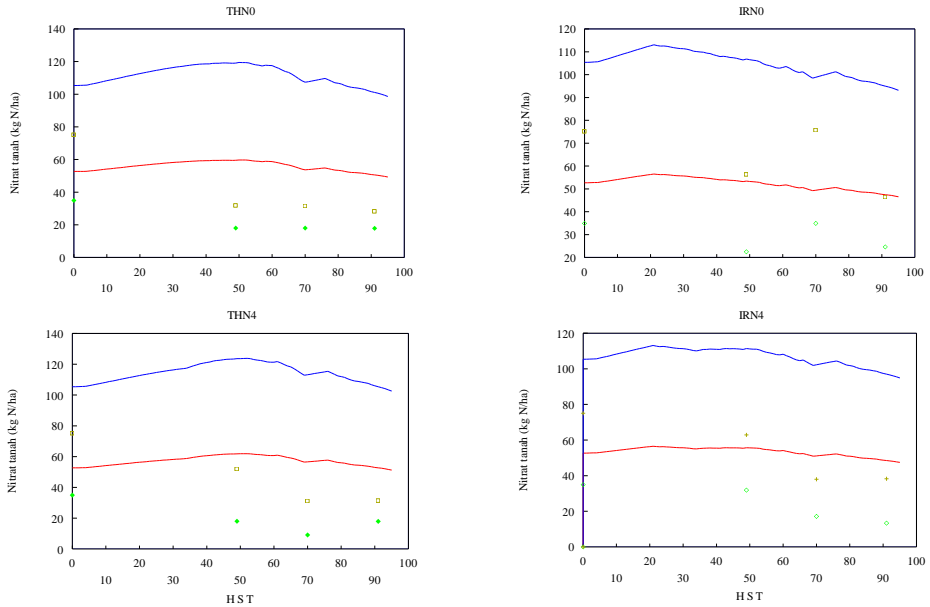
Gambar 30.2. Prediksi dan pengukuran AGN selama periode pertumbuhan.



Gambar 30.3. Prediksi dan pengukuran kandungan air tanah pada lapisan 0-20 cm dan 0-40 cm selama periode pertumbuhan.



Gambar 30.4. Prediksi dan pengukuran evapotranspirasi aktual selama periode pertumbuhan.



Gambar 30.5. Prediksi dan pengukuran nitrat tanah pada lapisan 0-20 cm dan 0-40 cm selama periode pertumbuhan.

## B. VALIDASI MODEL SIMULASI

Persentase hasil validasi model simulasi padi (SHIERARY) dengan uji-t berpasangan (*paired t-test*) disajikan dalam Tabel 12.

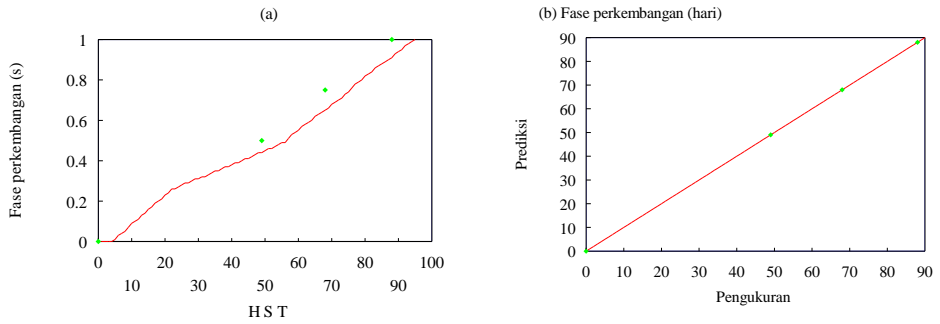
Tabel 12. Prosentase Hasil Uji berpasangan t-Student

Peubah	Satuan	% (tidak nyata)
I. Submodel Perkecambahan Lama Fase	Hari	100
II. Submodel Pertumbuhan		
A G B	kg ha-1	80
Gabah	kg ha-1	70
L A I	(tanpa satuan)	20
III. Submodel Neraca Air		
K A T (0-40 cm)	Mm	0
Eta	Mm	60
IV. Submodel Nitrogen		
A G N	kg N ha-1	90
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (0-40 cm)	kg N ha-1	100

### 1. Fase Perkembangan

Karena tidak ada perbedaan dalam fase perkembangan tanaman dengan perlakuan yang bervariasi, maka hanya menampilkan perbandingan tunggal. Untuk Indonesia laju perkembangan hanya ditentukan oleh *respons thermal* (Handoko, 1994; Handoko et. al.,1996). Tahapan perkembangan juga menentukan serapan nitrogen untuk didistribusikan pada komponen-komponen sesuai kebutuhan nitrogen.



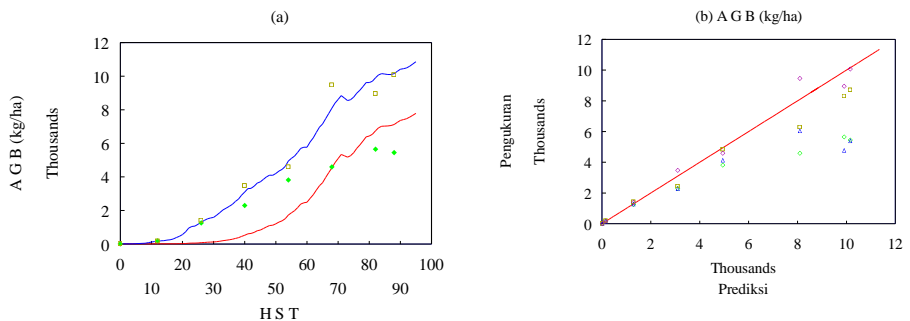


Gambar 31. Prediksi dan pengukuran fase perkembangan tanaman selama periode pertumbuhan (a), dan perbandingan lama fase antara prediksi dan pengukuran (b). Garis pada (a) adalah model. Garis pada (b) adalah perbandingan 1:1.

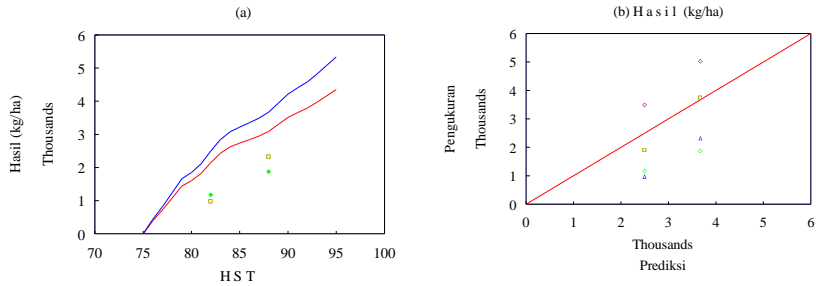
## 2. Fase Pertumbuhan Tanaman

- Biomassa di atas tanah (AGB) dan gabah.

Prediksi model AGB dan gabah menunjukkan, bahwa model mampu mensimulasi sekitar 70-80% (Tabel 13). Gambar 32 menyajikan AGB untuk perlakuan irigasi dan tadah hujan ( $0 \text{ kg N ha}^{-1}$ ). Gambar 33 menyajikan gabah untuk perlakuan tadah hujan ( $0$  dan  $200 \text{ kg ha}^{-1}$ ).



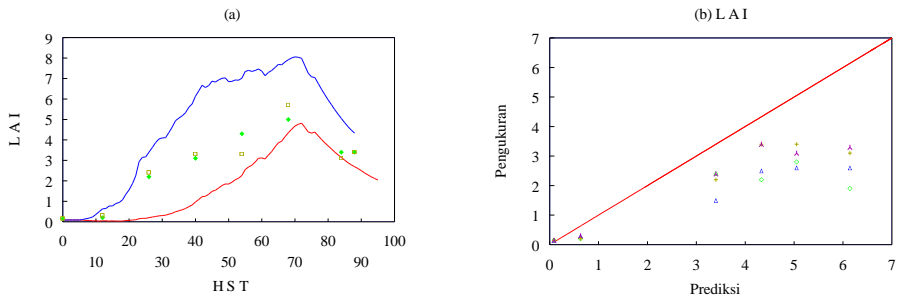
Gambar 32. Prediksi dan pengukuran biomassa di atas tanah selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a) dan perbandingan antara prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b). Garis vertikal adalah simpangan baku.



Gambar 33. Prediksi dan pengukuran gabah untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan antara prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

- Indeks luas daun (LAI).

Uji t-student menunjukkan bahwa model hanya mampu mensimulasi sekitar 20% antara pengukuran dan prediksi LAI (Tabel 14). Model (perlakuan irigasi) hanya mampu mensimulasi sampai 30 HST seperti yang ditunjukkan pada Gambar 34.



Gambar 34. Prediksi dan pengukuran indeks luas daun (LAI) selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan antara prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

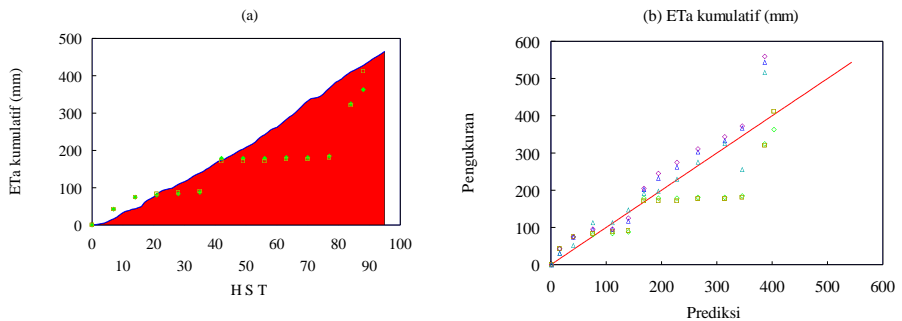
Model mensimulasi pertumbuhan masing-masing komponen tanaman dari asimilasi dan respirasi (pertumbuhan dan pemeliharaan) atau *senescence*. Pertumbuhan gabah tergantung pada asimilasi, asimilasi pra-anthesis yang

disimpan dalam batang dan jumlah gabah. AGB pada AT menentukan jumlah gabah.

### 3. Neraca Air

- Evapotranspirasi.

Gambar 35a dan b menyajikan evapotranspirasi kumulatif (ETa) untuk dua perlakuan dan perbandingan prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan. Secara umum uji tersebut baik. Pada saat tanaman berumur antara 50 - 80 hari, model (perlakuan tadah hujan) memprediksi ETa yang lebih besar dari pengukuran, walaupun secara kumulatif jumlahnya hampir sama. Hal ini berkaitan dengan curah hujan yang rendah pada periode tersebut, sedangkan model menghitung laju ETa.

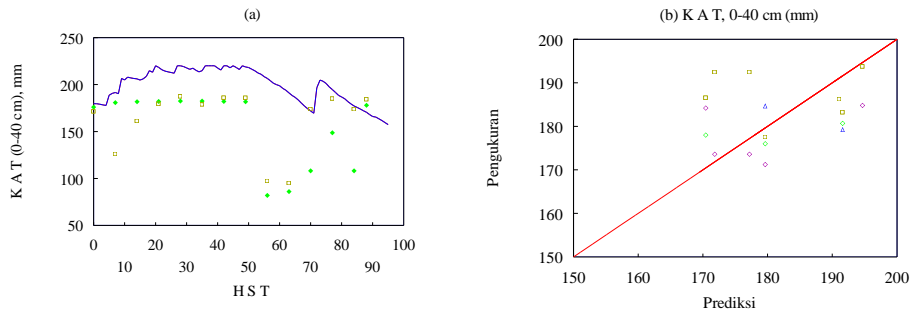


Gambar 35. Prediksi dan pengukuran evapotranspirasi kumulatif selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

- Kadar Air Tanah

Kadar air tanah hingga kedalaman 40 cm disajikan dalam Gambar 36a dan perbandingan antara pengukuran dan prediksi semua perlakuan disajikan dalam Gambar 36b. Uji t menunjukkan bahwa prediksi model berbeda nyata dari pengukuran. Terlihat pada Gambar 36 bahwa antara 50 - 80 HST model memprediksi terlalu tinggi dibandingkan dengan hasil pengukuran. Ini berkaitan dengan ETa yang tinggi pada

periode tersebut (Gambar 35), akibat kadar air tanah yang lebih tinggi pada model.

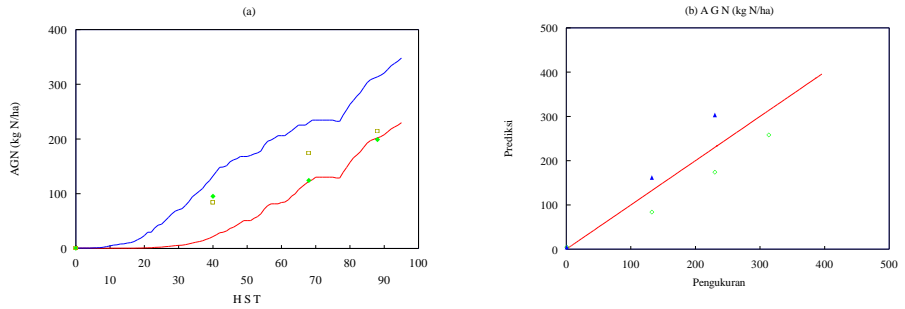


Gambar 36. Prediksi dan pengukuran kadar air tanah (0 - 40 cm) selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

#### 4. Nitrogen

- Nitrogen terserap.

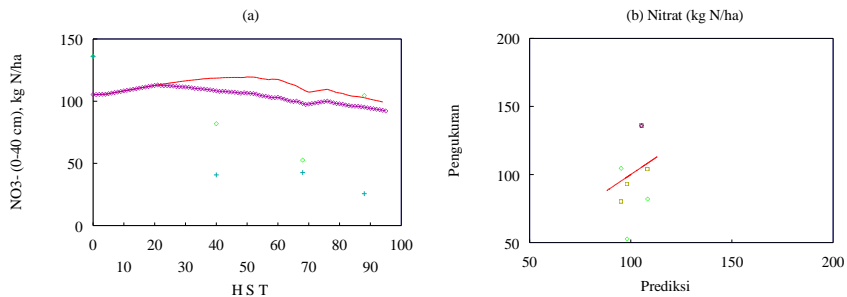
Prediksi dan pengukuran nitrogen terserap dalam biomassa di atas tanah (AGN) disajikan pada Gambar 4.40a dan 4.40b yang menunjukkan perbandingan antara prediksi dan pengukuran AGN. Hasil uji t tidak menunjukkan perbedaan nyata, kecuali THN0. Walaupun tidak menunjukkan perbedaan nyata, namun pada perlakuan irigasi (Gambar 37) model cenderung mensimulasi AGN lebih besar daripada pengukuran. Kemungkinan kehilangan nitrogen tanah di lapang lebih besar dibandingkan hasil simulasi antara LAIn melalui denitrifikasi pada kondisi anaerobik (perlakuan irigasi).



Gambar 37. Prediksi dan pengukuran kadar nitrogen dalam AGB selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan antara prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

- Nitrogen tanah

Hasil uji t menunjukkan tidak ada perbedaan nyata antara model dan data pengukuran nitrat tanah. Pada Gambar 38 terlihat nitrat tanah model (perlakuan irigasi) lebih besar dibandingkan pengukuran dan hal ini menjelaskan penyerapan N pada model lebih besar dibandingkan pengukuran (38).



Gambar 38. Prediksi dan pengukuran nitrat tanah selama periode pertumbuhan untuk dua perlakuan (a), dan perbandingan antara prediksi dan pengukuran untuk semua perlakuan (b).

# BAB 11

## PERTUMBUHAN PADI DAN FAKTOR YANG MEMENGARUHINYA

### A. NERACA AIR

Pada tanam I, penanaman dilakukan pada tanah basah mulai sejak tanam (T) hingga anthesis (AT). Jumlah hujan yang diterima selama periode tersebut adalah 681 mm dan digunakan tanaman untuk evapotranspirasi sebesar 412 mm. Sedangkan pada tanam II, jumlah curah hujan yang diterima adalah 627 mm dan evapotranspirasinya adalah 391 mm dengan kadar air tanah mencapai titik layu permanen setelah tunas maksimum (TM) hingga AT, kemudian naik lagi hingga kapasitas lapang akibat penambahan curah hujan.

Baik tanam I maupun tanam II, peningkatan evapotranspirasi potensial (ET<sub>p</sub>) diikuti oleh meningkatnya evapotranspirasi aktual (ET<sub>a</sub>). Evapotranspirasi meningkat dengan suplai air dengan perbedaan (68 mm) antara kedua perlakuan kontrol di kedua periode tersebut.

Data TII menunjukkan bahwa efisiensi transpirasi (TUE) (35-39 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) lebih besar dari efisiensi penggunaan air (WUE) (12-16 kg ha<sup>-1</sup> mm<sup>-1</sup>) karena 30 - 45% dari evapotranspirasi (ET) hilang sebagai evaporasi tanah (E<sub>a</sub>). WUE menurun dengan irigasi, mengisyaratkan pentingnya E<sub>a</sub> dari tanah basah. WUE dan TUE yang tinggi pada perlakuan TH mempunyai hasil yang rendah (1.8 ton ha<sup>-1</sup>) dibandingkan dengan IR (>2.6 ton ha<sup>-1</sup>). Hasil ini menegaskan efisiensi adalah satu dari beberapa kriteria yang menentukan

pertumbuhan tanaman. WUE ternyata lebih besar pada perlakuan pemupukan seperti yang diperlihatkan oleh TI dan TII. Peningkatan efisiensi ini disebabkan oleh meningkatnya LAI yang pada akhirnya mengurangi  $E_a$ . WUE yang tinggi pada perlakuan pemupukan disebabkan oleh lebih besarnya transpirasi dan kurangnya  $E_a$  akibat pertumbuhan daun yang cepat.

## **B. NERACA NITROGEN TANAH**

Dinamika nitrogen tanah dipelajari dalam bentuk nitrat dan amonium. Variasi antara perlakuan nitrogen (tanam I dan II) yang berbeda nyata hanya dalam bentuk nitrat. Pada tanam II (TII) umumnya nitrat menurun sejak dari T hingga fase masak fisiologis (MF) 25 - 49 kg N ha<sup>-1</sup> pada perlakuan irigasi (IR) dan hingga AT 46 - 100 kg N ha<sup>-1</sup> pada tadah hujan (TH). Ini berkaitan dengan serapan tanaman 214 - 477 kg N ha<sup>-1</sup> dan 199 - 459 kg N ha<sup>-1</sup>.

## **C. EFISIENSI PENGGUNAAN RADIASI**

Efisiensi penggunaan radiasi (RUE) tergantung kepada besarnya biomassa di atas tanah (AGB) yang dihasilkan dengan total radiasi yang diintersepsi. Peningkatan RUE berkaitan erat pula dengan suplai air, dengan perbedaan defisit air selama 20 hari RUE meningkat dari 0.5 g MJ<sup>-1</sup> menjadi 0.8 g MJ<sup>-1</sup> pada perlakuan THN0 (kontrol kedua periode tanam). RUE juga mengalami peningkatan dengan bertambahnya nitrogen tanaman seperti yang diperlihatkan oleh TI dan TII yang mencapai 1 hingga 1.2 g MJ<sup>-1</sup>. Hasil ini menegaskan kembali penelitian yang terdahulu bahwa RUE sangatlah ditentukan oleh defisit air (Demetriades-Shah *et al.*, 1992; Arkebauer *et al.*, 1994) dan kadar nitrogen daun (Muchow and Davis; 1988; Sinclair and Horie, 1989).

## **D. G A B A H**

Periode pertumbuhan TII, lebih cepat 3 hari dan kadar air tanah pada saat T lebih kecil dari TI. Kadar nitrogen tanah cukup tinggi pada kedua tanam tersebut (96.8 dan 172 kg N ha<sup>-1</sup>). AGB yang

dihasilkan TI berkisar antara 6.5 - 12.2 ton ha<sup>-1</sup>, dan TII antara 5.9 - 10.9 ton ha<sup>-1</sup>. Perbedaan antara perlakuan kontrol TH kedua periode tanam (40 kg ha<sup>-1</sup>) adalah karena sumbangan supLAI air dan lamanya periode pertumbuhan.

Walaupun pada TII tanaman tumbuh pada nitrogen tanah yang cukup tinggi, AGB responsif terhadap pemupukan. Pada THN3 (100 kg N ha<sup>-1</sup>) umur 42 HST, peningkatan produksi biomassa adalah 3.2 ton kg ha<sup>-1</sup> pada saat MF.

Hasil gabah berkisar antara 1.2 - 3.2 ton ha<sup>-1</sup> (TII) dan antara 2.1 - 4.5 ton ha<sup>-1</sup> (TI). Perbedaan hasil gabah antar perlakuan di kedua periode tanam tersebut menegaskan bahwa tanaman responsif terhadap suplai air.

Hasil gabah tergantung pula pada jumlah gabah dan berat gabah. Pada TI, ketika air bukan faktor pembatas, variasi gabah antara perlakuan (2.1 - 4.5 ton ha<sup>-1</sup>) oleh karena perbedaan jumlah gabah (88 000 - 16 700 m<sup>-2</sup>) dan berat gabah (24.4 - 27.1 mg). Namun, hasil pada TII, hasil gabah (1.2 - 3.2 ton ha<sup>-1</sup>) karena jumlah gabah (6 100 - 9 900 m<sup>-2</sup>) dan berat gabah (19.1 - 30.4 mg). Kecilnya gabah, 19.1 mg (TH) karena air sangat membatasi selama pengisian biji dan kecilnya hasil diduga oleh karena kekeringan sebelum dan sesudah AT (50-80 HST). Pada lahan yang beririgasi mampu menghasilkan gabah yang besar (30.4 mg) dan yang tertinggi (3.2 ton ha<sup>-1</sup>) serta jumlah gabah (9 900 m<sup>-2</sup>). Kombinasi ini menegaskan bahwa pertumbuhan pra-anthesis sangat menentukan hasil.

Nitrogen terserap berkisar antara 214 - 418 kg ha<sup>-1</sup> pada TI dan antara 198 - 459 kg ha<sup>-1</sup> pada TII. Tingginya serapan akibat supLAI air yang cukup. Respon serapan nitrogen terhadap suplai air ditunjukkan oleh perbedaan antara kontrol perlakuan, dimana nitrogen terserap pada TI lebih dari 16 kg ha<sup>-1</sup> dari TII. Peningkatan serapan nitrogen tidak hanya meningkatkan pertumbuhan tetapi juga besarnya konsentrasi nitrogen dalam daun dan batang. Nitrogen yang disimpan dalam daun dan batang akan ditranslokasikan ke gabah. Pada TI, nitrogen gabah berkisar antara 31 - 72.4 kg ha<sup>-1</sup>, dengan nilai terkecil pada perlakuan kontrol tadah hujan. Pada TII berkisar dari 17 - 55.2 kg ha<sup>-1</sup>. Terlihat disini perbedaan antara kontrol (TI dan TII) 14 kg ha<sup>-1</sup>, sementara perbedaan nitrogen yang diserap adalah 16 kg ha<sup>-1</sup>. Ini



membuktikan bahwa organ vegetatif (batang dan daun) adalah sumber nitrogen penting untuk gabah.

Hasil gabah yang tinggi TI juga disebabkan oleh RUE yang lebih besar dibandingkan TII, dengan periode defisit yang lebih pendek, yaitu 10 hari (75-85 HST) terjadi peningkatan gabah dari 1.2 ton ha<sup>-1</sup> menjadi 2.7 ton ha<sup>-1</sup>. Peningkatan nitrogen tanaman diikuti pula oleh peningkatan RUE dan ini juga berperan terhadap gabah yang dihasilkan, yaitu antara 1.2 - 3.2 ton ha<sup>-1</sup> (TII) dan 2.1 - 4.5 ton ha<sup>-1</sup> (TI).

## E. MODEL SIMULASI TANAMAN

Percobaan TI dan II menyediakan data untuk validasi model simulasi dalam pengaruh interaksi air-nitrogen. Model ini untuk membantu penelitian respons tanaman-lingkungan dan manajemen agronomi tanaman dalam lingkungan curah hujan yang bervariasi.

Statistik deskriptif secara umum dipakai untuk memvalidasi model simulasi tanaman, namun metoda tersebut jangkauannya terbatas. Statistik deskriptif hanya menunjukkan rata-rata tampilan model dan dalam beberapa kasus, persentase secara grafis mempunyai keuntungan dalam memprestasikan tampilan dinamika dari model tanaman. Model dalam percobaan sekarang ini mempergunakan uji-t student berpasangan dan juga berdasarkan presentase grafis.

## F. INPUT PARAMETER DAN PEUBAH

Model terdiri dari empat submodel, (1) perkembangan, (2) pertumbuhan tanaman, (3) air, dan (4) nitrogen, dan memerlukan informasi terhadap cuaca, kultivar, tanah dan agronomi. Peubah cuaca, berbasis harian, meliputi radiasi surya, suhu, kelembapan, kecepatan angin dan curah hujan. Model memerlukan karakteristik kultivar untuk memprediksi perkembangan berdasarkan *respons thermal*. Input parameter sifat tanah baik kimia - nitrogen organik - untuk menghitung laju mineralisasi, maupun fisik untuk menentukan kapasitas tanah menahan air (WHC) dan Ea. Model memerlukan peubah tanah pada awal simulasi, yaitu nitrogen mineral tanah, dalam bentuk NH<sub>4</sub><sup>+</sup>

dan  $\text{NO}_3^-$ , serta kadar air tanah. Teknik agronomi meliputi waktu, laju pemupukan nitrogen dan waktu tanam.

## **G. SUB MODEL PERKEMBANGAN**

Submodel perkembangan menghitung tahapan perkembangan dimana asimilasi tanaman dipisahkan antara komponen organ selama perkembangan tanaman. Laju perkembangan hanya ditentukan oleh *respons thermal*. Tahapan perkembangan juga menentukan serapan nitrogen dan itu dipisahkan antara komponen-komponen organ sesuai kebutuhan nitrogen.

Dalam validasi, prediksi selama fase perkembangan tidak berbeda nyata dengan data observasi. Namun, validasi lebih lanjut perlu dilakukan karena validasi saat ini hanya mempergunakan perbandingan tunggal untuk masing-masing lama fase akibat tidak adanya perbedaan dalam perlakuan yang bervariasi. Ini penting jika model dipergunakan untuk mensimulasi pertumbuhan tanaman dengan jarak berupa perilaku perkembangan.

## **H. SUB MODEL PERTUMBUHAN**

Hasil validasi menunjukkan model memprediksi AGB dan hasil gabah dengan baik untuk kisaran seluruh perlakuan. Model hanya baik dalam mensimulasi LAI dengan data observasi untuk perlakuan THN0 dan THN1.

## **I. SUB MODEL AIR**

Evapotranspirasi merupakan peubah yang disimulasi dengan baik (untuk perlakuan irigasi) oleh model selama periode pertumbuhan. Model mensimulasi kadar air tanah (KAT) namun antara 50 - 80 HST memprediksi terlalu tinggi dibandingkan dengan pengukuran perlakuan tadah hujan.

## **J. SUB MODEL NITROGEN**

Dalam submodel nitrogen, tanaman menyerapnya dalam bentuk nitrat. Ini konsisten dengan dengan data percobaan dimana penurunan nitrat selama musim pertumbuhan menegaskan bahwa yang utama diserap adalah bentuk nitrat. Model menghitung serapan nitrogen dari lapisan tanah karena aliran massa dan serapan aktif. Berdasarkan validasi, prediksi dan pengukuran kadar nitrogen dalam AGB cukup baik.

Proses nitrogen dalam tanah meliputi dua konversi dari mineralisasi, yaitu amonifikasi dan nitrifikasi dan juga pencucian. Laju potensial proses tersebut ditentukan oleh tarap pertama dari kinetik. Laju aktual diperhitungkan laju potensial terkoreksi bagi kelembaban dan suhu hanya untuk nitrifikasi. Sebagai tambahan, model mempertimbangkan kehilangan volatilisasi jika tipe pupuk  $\text{NH}_4^+$  dipakai dipermukaan.

Amonifikasi dan nitrifikasi meningkat dengan suhu - suhu udara-. Suhu tanah yang didapat dari suhu udara ini yang berperan terhadap tingginya prediksi model. Suhu tanah model diduga timbul lebih cepat dari suhu tanah. Selain itu dalam sawah irigasi kemungkinan kehilangan nitrogen dalam proses denitrifikasi cukup besar dan berperan terhadap prediksi model yang tinggi.

## **K. PERCOBAAN SIMULASI**

Tampilan model simulasi diperagakan secara kualitatif menurut jangkauan teknik agronomi. Respons simulasi meliputi pertumbuhan vegetatif dan produktif dengan pilihan teknik agronomi seperti laju dan waktu tanam dan laju pemupukan.

Model telah memprediksi pengaruh laju tanam terhadap biomassa dan hasil dengan dua kondisi kelembaban pada saat tanam. Respons biomassa dan hasil gabah bervariasi dengan laju tanam tergantung kepada kelembaban awal dan curah hujan musiman serta pola responnya berbeda antara biomassa dan hasil gabah.

Di bawah kondisi basah, biomassa meningkat secara asymtot dengan laju pemupukan. Demikain pula dengan kondisi kering. Hasil gabah meningkat dengan pemakaian N dalam musim basah namun hasil berkurang defisit air selama pengisian biji.



## BAB 12

# PENUTUP

Ketersediaan air dari curah hujan dengan variabilitas yang besar merupakan salah satu pembatas produksi padi di daerah Malang yang mewakili daerah relatif kering. Dua periode tanam (TI dan TII) telah mendemonstrasikan variabilitas ini. Defisit air tanah pada pra-anthesis juga mengakibatkan hasil gabah lebih rendah yaitu  $1.2 \text{ ton ha}^{-1}$ . Namun, tanaman tumbuh dengan baik sebagai responnya terhadap ketersediaan air yang cukup sebelum anthesis (TI), kelembapan tanah awal dan radiasi surya yang lebih tinggi saat anthesis hingga masak fisiologis sehingga ketiga faktor tersebut menghasilkan hasil gabah tinggi ( $> 2.7 \text{ ton ha}^{-1}$ ).

Pada Penanaman Kedua (TII), pertumbuhan, serapan nitrogen dan hasil gabah responsif terhadap perlakuan nitrogen. Di samping itu kisaran hasil yang relatif sempit ( $1.2 - 3.2 \text{ kg ha}^{-1}$ ) karena periode pengisian biji yang relatif pendek (20 hari). Kandungan nitrogen yang besar dalam bagian vegetatif tanaman pada perlakuan pemupukan erat kaitannya dengan kandungan nitrogen gabah yang tinggi. Ini menegaskan bahwa akumulasi nitrogen dalam bagian vegetatif sebagai sumber nitrogen biji merupakan hal yang penting. Nitrogen tanah menurun menurut waktu sampai anthesis tergantung kesetimbangan nitrogen dalam sistem tanah-tanaman. Nitrogen dalam bentuk nitrat meningkat karena mineralisasi yang cepat selama pengisian biji yang erat kaitannya dengan peningkatan suhu.

Model tanaman yang mensimulasi dinamika air dan nitrogen pada tanaman padi telah diuji dalam penelitian ini. Model tersebut telah dirancang untuk menjelaskan keragaan tanaman padi akibat

pengaruh irigasi, curah hujan, pemupukan serta sifat fisik dan kimia tanah. Model terdiri dari empat submodel, yaitu perkembangan, pertumbuhan serta dinamika air dan dinamika nitrogen. Model tersebut juga responsif terhadap pertumbuhan akibat pengaruh unsur-unsur cuaca harian meliputi radiasi surya, suhu udara, kelembaban, kecepatan angin dan curah hujan.

Prediksi model umumnya memperlihatkan kesamaan dengan pengukuran, kecuali untuk KAT dan LAI. Secara kualitatif model mampu mensimulasi pengaruh perlakuan yang menggambarkan teknik agronomi, yaitu irigasi dan pemupukan. Hasil simulasi juga mendukung hipotesis respons pertumbuhan vegetatif dan produktif pada ketersediaan air dan nitrogen tanaman.

Model simulasi SHIERARY, dapat disarankan untuk diaplikasikan dalam melihat potensi tanaman padi suatu wilayah dengan aneka variabilitas iklim-tanah-tanaman. Perbaikan model tersebut perlu dilanjutkan terutama pada submodel neraca air untuk mensimulasi kadar air tanah. Untuk mengaplikasikan model tersebut pada wilayah yang kondisi agroekologisnya berbeda dengan lokasi penelitian, perlu dilakukan verifikasi model di wilayah bersangkutan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Amir, J. and T.R. Sinclair. 1991. A model of water limitation on spring wheat growth and yield. *Field Crop Res.* 28:59-69.
- Arkebauer, T.J., A. Weiss, T.R. Sinclair and A. Blum. 1994. In defence of radiation use efficiency: a response to Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agric. For. Meteorol.*, 68:221-227.
- Bell, M.J., G.C. Wright and G.L. Hammer. 1992. Night temperature affects radiation-use efficiency in peanut. *Crop Sci.* 32:1329-1335.
- Bey, A. 1989. *Metoda Kausal dan Time Series untuk Analisis Data Iklim. Agroklimatologi.* IPB dan BKS-B. Bogor. 56p.
- Bakema, A.H and D.M. Jansen. 1983. Use of simulation model for evaluating of weather effects contribution for the International Upland Rice Conference, Jakarta.
- Chambers, R.E. 1978. *Klimatologi Pertanian Dasar. Bagian Klimatologi Pertanian, Fak. Pertanian.* IPB. Bogor. 131p.
- Chandler, R.F.Jr. 1979. *Rice in The Tropics: A Guide to the Development of National Program.* West View Press, Inc. USA.
- Chang, Jen-Hu. 1968. *Climate and Agriculture. An Ecological Survey.* Adline Publishing Co. Chicago. 304p.
- Charles-Edwards, D.A., Doley, D. and Rimmington, G.M. 1986. *Modeling Plant Growth and Development.* Academic Press. Sydney. 235p.
- Connor, D.J., Theiveyanathan, S. and Rimmington, G.M. 1992. Development, growth, water use and yield of a spring and winter wheat in response to time of sowing. *Aust.J.Agric.Res.* 43:493-516.
- Darwis, S.N. 1982. *Effisiensi Pemupukan Nitrogen terhadap Padi Sawah pada Beberapa Lokasi Agroklimat.* Disertasi Doktor, Fakultas Pascasarjana, IPB. Bogor.
- De Datta, SK. 1981. *Principles and practices of rice production.* A Wiley-Interscience Publication. John Wiley & Sons, New York. 618p.



- dan B.S Vergara. 1975. Crop Environment of Upland Rice (Major Research in Upland Rice). IRRI. Los Banos. 87-114.
- Demetriades-Shah, T.H., M. Fuchs, E.T. Kanemasu and Flitcroft. 1992. A Note Caution Concerning the Relationship between Cumulated Interceptep Solar Radiation and Crop Growth. *Agric.For-est Meteorol.* 58:193-207.
- Doorenbos, J. dan A.H Kassam. 1986. Yield Respon to Water. FAO Irrigation and Draenage Paper. Rome. 193p.
- Fagi, A.M. and S.K. De Datta. 1981. Environmental factors affecting nitrogen efficiency in flooded tropical rice. *Fertilizer Research* 2: 53-67.
- France, J and J.H.M Thornley. 1984. *Mathematical Models in Agriculture: a quantitative approach to problems in agriculture and related sciences.* Butterworths. London-Boston. 335p.
- Gomez, K.A. and A.A. Gomez. 1976. *Statitlcal Procedures for Agricultural Research: with emphasis on rice.* IRRI. Los Banos. 294p.
- Haan, C.T. 1977. *Statistical method in hydrology.* The Iowa State Univ. Press. Ames, Iowa. 378 p.
- Hammer, G.L., and G.C. Wright. 1994. A Theoretical Analysis of Nitrogen an Radiation Effect on Radiation Use Effeciciency in Peanut. *Aust.J.Agric.Res.* 45:575-89.
- Handoko, I. 1992. *Analysis an simulation of water-nitrogen interactions of the wheat crop.* The University of Melbourne. Ph.D. thesis. 210p.
- ┆ 1993. Model simulaasi tanaman: Sebuah alat bantu pengambilan keputusan. *Agrotek*, 1:36-42.
  - ┆ 1994. *Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer untuk Pertanian.* Geomet FMIPA-IPB. Bogor. 112hal.
- Heenan, D.P and P.E. Bacon. 1987. Effect of Nitrogen Fertilizer Timing on Crop Growth and Nitrogen Use Efficiency by Different Rice Varietas in Southastern Australia. IRRI. Los Banos. 97-105.
- IRRI. 1977. *Annual Report for 1976.* IRRI. Los Banos. 261-266.
- ┆ 1978. *Annual Report for 1977.* IRRI. Los Banos. 265-269.
  - ┆ 1993. *Program Report for 1992.* IRRI. Los Banos. 4-134.
  - ┆ 1994. *Program Report for 1993.* IRRI. Los Banos. 4-127.
  - ┆ 1995. *Program Report for 1994.* IRRI. Los Banos. 4-127.

- James, W. David, R. John Hanks, dan Kerome J. Jurinak. 1982. Modern Irrigated Soils. John Wilwy and sons. New York.
- Kiniry, J.R., C.A Jones, J.C. O'Toole, R. Blanchet, M. Cabelguene and D.A. Spanel. 1989. Radiation use efficiency in biomass accumulation prior to grain filling for five grain-crop species. *Field Crops Res.* 20:51-64.
- ┆ 1994. A note of caution concerning the paper by Demetriades-Shah *et al.* (1992). *Agric. For. Meteorol.* 68:229-230.
- Kompas. "Dunia terancam kelaparan". 18 Jan. 1995.
- ┆ "Antisipasi pangan menghadapi paceklik 1995". 26 September 1995.
- ┆ "Diversifikasilah kalau mau aman". 16 Oktober 1995.
- Kung, P. 1971. *Irrigation Agronomy on Monsoon Asia*. FAO. Rome, A GPC, Mix/2.
- Monteith, J.L. 1977. Climate and Efficiency of Crop production in Britain, *Philos. Trans. R. Soc. London, B.* 281:277-294.
- ┆ 1994. Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agric. For. Meteorol.* 68:213-220.
- Muchow, R.C. and T.R. Sinclair. 1986. Water and nitrogen limitation in soybean grain production. II. Field and model analysis. *Field Crops Res.* 15:143-156.
- ┆ and Davis, R. 1988. Effect of nitrogen supply on the comparative productivity of maize and sorghum in a semi-arid tropical environment. II. Radiation interception and biomass accumulation. *Field Crops Res.* 18:17-30.
- ┆ and T.R. Sinclair. 1991. Water deficit effects on maize yield modeled under current and 'greenhouse' climates. *Agron. J.* 83:1052-1059.
- ┆ M.F. Spillman, A.W. Wood and M.R. Thomas. 1994. Radiation Interception and Biomass Accumulation in a Sugarcane Crop Grown under Irrigated Tropical Conditions. *Aust.J.Agric.Res.* 45:37-49.
- Nippon Koei Co., Ltd. 1993. The studi for formulation of irrigation development Program in the Republik of Indonesia. *di dalam* Hermanto, Sumaryanto dan Effendi Pasandran (Makalah: Pengelolaan sumberdaya air dalam rangka menunjang pemantapan swasembada pangan). Perhimpni-UGM. 18hal.
- Oldeman, L.R. 1975. An Agroclimatic Map of Java. *Contr. Cent. Res. Inst. Agric. Bogor.* 27:1-22.

- Penning de Vriest, F.W.T., D.M. Jansen, H.F.M ten Berge, and A. Bakema. 1989. Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crop. 271p.
- Rusmayadi, Gusti, Handoko., Koesmaryono2, Yonny, Goenadi, Didiek Hadjar. 2008. Efisiensi Penggunaan Radiasi Surya Dan Sebagai Dasar Dalam Model Jarak Pagar. *J. Agromet* 22 (2): 108-117.
- 
- \_\_\_\_\_. 2008. Pemodelan Tanaman Jarak Pagar (*Jatropha curcas* L.) Berbasis Efisiensi Penggunaan Radiasi surya, Ketersediaan Air dan Nitrogen. *J. Agromet* 22 (1): 1-19.
- Rusmayadi, Gusti, Noor, RA., Ruslam. M. 2017. Trmm 3b43 Rain Data Information In Determining Long Wet And Dry Periods In Farming Business In Moonson Area. *RJOAS*, 11(71),
- Sinclair, T.R., and T. Horie. 1989. Leaf nitrogen, photosynthesis and crop radiation use efficiency: a review. *Crop Sci.* 29:90-98.
- Steel, R.G.D dan J.H Torrie. 1991. Prinsip dan Prosedur Statistika: Suatu pendekatan biometrik. PT. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 748hal.
- Steiner, J.L. *et al.* 1985. Water Use, Foliago Tempertur and Yield of Irrigated Wheat in South Eastern Australia. *Aust.J.Agric.Res.* 36:1-11.
- Tanaka, A. 1976. Comparison of rice growth in different Environment (Proceeding of the symposium on the climate and rice). IRRI. Los Banos. 429-447.
- Vergara, B.S. 1976. Physiological and Morphological Adaptability of Rice Varietas to Climate (Proceedings of Symposium on The Climate and Rice). IRRI, Los-Banos, Philippines. p. 37-86.

# INDEKS

## A

akar, 8, 10, 16, 17, 22, 26, 28,  
29, 33, 34, 35, 37, 38, 39

Aliran massa, 38

ammonifikasi, 35

anthesis, 21, 22, 37, 45, 47, 49,  
51, 65, 70, 81, 82, 89, 93, 95,  
101

## B

batang, 8, 17, 22, 26, 28, 29, 35,  
38, 39, 56, 57, 58, 59, 73, 81,  
90, 95

berat 1000 butir gabah, 61, 78

Berat kering tanaman, 3

Biomassa tanaman, 17, 22

## C

cuaca, 2, 8, 16, 23, 30, 47, 48,  
70, 71, 83, 84, 96, 102

Cuaca, 113

curah hujan, v, 7, 9, 17, 19, 20,  
21, 29, 32, 47, 64, 65, 67, 69,  
83, 90, 93, 96, 98, 101, 102

## D

daun, 2, 7, 8, 10, 13, 14, 16, 17,  
21, 22, 26, 27, 28, 29, 32, 35,  
38, 39, 52, 54, 56, 57, 58, 59,  
60, 62, 73, 76, 81, 89, 94, 95

Daun, 38

Defisit air, 14, 101

defisit tekanan uap air, 28, 33

diagram Forester, 24

Diagram Forester, 25

draenase, 21, 30, 67

## E

efisiensi penggunaan air, 52,  
73, 81, 93

efisiensi penggunaan radiasi, v,  
13, 17, 27

Efisiensi penggunaan radiasi,  
4, 64, 65, 80, 81, 94

Efisiensi Penggunaan Radiasi,  
vii, viii, 106

Efisiensi tranpirasi, 52

evaporasi, 17, 21, 22, 29, 30,  
32, 33, 34, 83, 93

Evaporasi, 32, 33

evapotranpirasi, 30, 52

Evapotranspirasi, 20, 21, 32,  
83, 90, 93, 97

evapotranspirasi tanaman, 9,  
21

## F

fase masak fisiologis, 20, 94

fase perkembangan, 23, 28

Fase Perkembangan, 24, 87

fase tanam, 21

fenologi, 16, 17, 23, 24

Fenologi, 114

Forrester, 26, 29, 30, 31, 36,  
113

## G

gravimetri, 21, 22

## H

hantaran stomata maksimum,  
28

hasil gabah, 7, 10, 42, 82, 83,  
84, 95, 97, 98, 101

*heat unit*, 17, 23

Hukum Beer, 27, 33

## I

iklim, 2, 3, 8, 17, 20, 102

Iklim, vii, 3, 20, 103, 114, 117

Indeks Hasil, 61, 82

infiltrasi, 17, 29, 30, 32

Infiltrasi, 32

inisialisasi, 23

iniasi malai, 10

intersepsi, 4, 13, 17, 21, 27, 30,  
42, 63, 79, 80

Intersepsi Tajuk, 32

intersepsi tajuk, 29

irigasi, 2, 6, 17, 19, 20, 21, 29,  
30, 32, 33, 34, 45, 49, 51, 52,  
55, 56, 57, 60, 61, 63, 64, 65,  
67, 72, 73, 79, 80, 81, 83, 88,  
89, 91, 92, 93, 94, 97, 98, 102

Irigasi, 46, 117

## K

Kadar air tanah, 19, 21, 45, 46,  
67, 68, 90

Kadar Air Tanah, vii, 90

kapasitas lapang, 30, 31, 32,  
34, 45, 81, 83, 93

kecepatan angin, 20, 30, 47, 69,  
83, 96, 102

kelembapan nisbi, 20

koefisien respirasi

pemeliharaan, 28

## L

LAI, 7, 14, 17, 22, 23, 26, 27,  
29, 30, 32, 51, 52, 57, 62, 63,  
72, 73, 78, 79, 81, 89, 94, 97,  
102

Laju perkembangan, 17, 23, 97

laju permeabilitas, 21, 67

lapisan bawah permukaan, 41

limpasan permukaan, 21, 29,  
30

luas daun, 14, 16, 17, 26, 29

Luas Daun, 29

## M

masak fisiologis, 21

masak fisiologis, 21, 22, 23, 47,  
70, 80, 81, 82, 101

massa daun, 29

massa daun spesifik, 29

metoda Penman, 32

metode jungkitan, 30, 32

mineralisasi, 49, 51, 57, 71, 96,  
98, 101

Mineralisasi, 51

model simulasi tanaman, 16,  
23, 42, 96

Model Simulasi Tanaman, vi,  
viii

## N

neraca air, 14, 17, 23, 28, 29,  
30, 31, 34, 102

Neraca Air, 1, 3, 4, vii, viii, 34,  
87, 90

neutron probe meter, 19, 21

nitrikasi, 35, 40, 65, 98

Nitrifikasi, 40

nitrogen, v, viii, 3, 9, 11, 14, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 49, 51, 56, 57, 58, 59, 60, 61, 65, 71, 72, 73, 76, 81, 82, 83, 84, 87, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 101, 102

Nitrogen, 1, 3, 4, vi, vii, viii, 22, 37, 38, 39, 41, 56, 65, 87, 91, 92, 95, 101, 103, 104, 106

nitrogen daun spesifik, 17, 73, 76

### O

Organisasi model, 42

Organisasi Model, 43

### P

PAR, 13, 16

Parameter, 29, 30

Pemodelan, 14, 106, 117

pencucian, 35, 41, 98

Pencucian, 40

pengisian gabah, 10, 82

perkembangan, 2, 3, 10, 16, 17, 22, 23, 24, 26, 28, 47, 70, 71, 81, 82, 88, 96, 97, 102

Perkembangan, vii, viii, 24, 25

perkolasi, 3, 8, 9, 17, 29, 30, 32, 41

Perkolasi, 32, 46

persentase gabah isi, 22, 61, 78

pertumbuhan, v, 2, 3, 4, 7, 8, 9, 10, 14, 16, 17, 19, 22, 23, 26, 27, 28, 29, 30, 35, 37, 42, 45, 46, 48, 49, 50, 52, 53, 54, 57, 58, 59, 62, 64, 65, 67, 68, 70, 71, 72, 73, 75, 76, 81, 82, 85,

86, 88, 89, 90, 91, 92, 94, 95, 96, 97, 98, 101, 102

Pertumbuhan, v, vii, viii, 3, 26, 28, 87, 88, 89

### R

radiasi neto, 33

Radiasi surya, 3, 10, 13, 69

Radiasi Surya, 1, 3, 4, vi, vii

radiasi yang diintersepsi, 3, 13, 17, 21, 63, 80, 94

respirasi, 13, 17, 26, 28, 89

### S

*semi aquatic*, 8

suhu dasar, 23, 24

suhu udara, 3, 16, 20, 28, 33, 82, 98, 102

### T

Tampilan model, 83, 98

Tampilan Model, vii

thermal unit, 24

tipe Observatorium, 19

titik layu permanen, 30, 31, 34, 45, 67, 82, 83, 93

transpirasi, 8, 21, 28, 29, 30, 32, 33, 52, 65, 73, 93

transpirasi aktual, 21, 28

transpirasi maksimum, 21, 30, 32, 33

Transpirasi maksimum, 21

Tube, 19

Tube solarimeter, 19

tunas maksimum, 21, 23, 70, 93

Tunas Maksimum, 24

### U

*upland crop*, 9

## V

Validasi, vii, 42, 84, 87, 115  
validasi model, 87, 96

Validasi Model, vii  
verifikasi model, 102  
Volatilisasi, 41

# GLOSARIUM

- Cuaca : **Keadaan sesaat udara di atmosfer pada waktu (0 - 24 jam) dan tempat tertentu** yang sifatnya tidak menentu dan berubah-ubah. Penilaian terhadap kategori cuaca umumnya dinyatakan dengan memperhatikan kondisi hujan, suhu udara, jumlah tutupan awan, penguapan, kelembapan, dan kecepatan angin di suatu tempat dari hari ke hari.
- Diagram Forrester : Berpikir serbasistem atau systems thinking, yaitu cara berpikir di mana setiap masalah dipandang sebagai sebuah sistem, yaitu keseluruhan interaksi antar unsur-unsur dari sebuah objek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja mencapai tujuan.
- Fenologi : **Studi kejadian siklus tumbuhan secara periodik dan bagaimana dia dipengaruhi oleh variasi musim tahunan.** Kejadian siklus tumbuhan pembentukan daun, pembungaan, pembentukan buah dan pemecaran biji, dormansi, dan perkecambahan.
- Fase pertumbuhan : Suatu fase penting sebab terjadi pembelahan sel-sel meristematik secara terus-menerus hingga mencapai tingkat kedewasaan. Setiap



- tumbuhan pastilah mempunyai fase hidup, yakni **mulai tanaman itu menghasilkan biji dan berkecambah sampai tanaman itu tua lalu mati.**
- Iklm : **Kebiasaan dan karakter cuaca (> 24 jam) yang terjadi di suatu tempat atau daerah.** Kurun waktu yang menjadi acuan penentuan iklim rata-rata berdurasi 30 tahun. Unsur penyusun iklim sama dengan cuaca. Pembentukan iklim di suatu tempat dipengaruhi oleh letak garis lintang, lereng, ketinggian, jarak dari perairan, serta kondisi arus air laut.
- Intensitas hujan : **Jumlah hujan yang dinyatakan dalam tinggi hujan atau volume hujan tiap satuan waktu.** Besaran intensitasnya berbeda-beda, tergantung dari lamanya curah hujan dan frekuensi kejadiannya. Intensitas hujan diperoleh dengan cara melakukan analisis terhadap data hujan baik secara statistik maupun empiris.
- Model simulasi tanaman : **Model yang dapat menggambarkan proses-proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman** yang dipengaruhi oleh faktor iklim, tanah dan tanaman
- Neraca air : Dalam hidrologi, persamaan neraca air dapat digunakan untuk menghitung besarnya aliran air yang masuk dan keluar dari sebuah sistem. Sistem tersebut dapat berupa kolom tanah atau wilayah aliran sungai

- Validasi : Penentuan apakah model konseptual simulasi adalah representasi akurat dari sistem nyata yang sedang dimodelkan
- Verifikasi : Suatu proses untuk memeriksa kesesuaian jalannya program computer simulasi dengan yang diinginkan dengan cara melakukan pemeriksaan program computer, selain itu verifikasi dapat diartikan sebagai proses penerjemahan model simulasi konseptual kedalam bahasa pemrograman secara benar.

# PROFIL PENULIS



## Dr. Ir. Gusti Rusmayadi, M.Si

Lektor Kepala pada Program Pascasarjana Agronomi di Fakultas Pertanian Universitas Lambung Mangkurat (ULM). Penulis alumnus Fakultas Pertanian UNLAM tahun 1988 (Ir., Sarjana Pertanian), Institut Pertanian Bogor (IPB) tahun 1993-1996 (M.Si., Agroklimatologi IPB dan tahun 2006-

2009 (Doktor bidang Klimatologi Terapan, AGK).

Penulis juga aktif sebagai Kepala di Pusat Peningkatan Pengembangan Aktivitas Instruksional (P3AI) Unlam, kurun waktu 2014-2015 dan Sekretaris Lembaga Peningkatan dan Pengembangan Pembelajaran (LP3), tahun 2015. Ketua LP3 sejak 2015 - sampai sekarang. Kemudian, sejak tahun 2019 s/d 2021 menjadi Asesor Lembaga Sertifikasi Penulis-BNSP. Sejak tahun 2020 s/d 2023 certified sebagai Penulis dan Editor PEP-LSP BNSP.

Penulis telah melakukan riset dengan cakupan pemodelan tanaman dan perubahan iklim seperti Crop modeling on Growth and Development of *Jatropha* (*Jatropha curcas* L) (SEAMEO BIOTROP tahun 2007, *The Use of Comfort Index for assessing the suitability of endemic orchids (Phalaenopsis amabilis (L.) Blume Forma Pelaihari) in South Kalimantan (Integrated-Collaborative Research Grant IM-HERE UGM Project 2010)*, *The Application of Comfort Index for Growth and Development of endemic orchids (Phalaenopsis amabilis (L.) Blume Forma Pelaihari) in Green-House Covered with Insect Proof Net (Integrated-Collaborative Research Grant IM-HERE UGM Project 2011)*, *Pendugaan Produksi Biji Teratai (Nymphaea pubescens Will) Di Perairan Rawa Lebak Kalimantan Selatan Dengan Pendekatan Metode Wageningen dan Melalui Pedagang Pengumpul Biji Teratai*, (RUPT, 2012), *Perakitan padi unggul berkarakteristik umur pendek-sedang,*

pera, ramping, dan berdaya hasil lebih tinggi berbasis mutasi varietas lokal pasang surut Kalimantan Selatan (RUPT, 2014-2016), *The National Initiative for Sustainable and Climate Smart Oil Palm Smallholders* (NISCOPS) (*project SOLIDARIDAD-ULM*, 2019), *Climate Vulnerability Assessment for Citrus smalholders* (PDWM, 2020), *Climate Vulnerability Assessment for Water of Citrus-Paddy smalholders* (PDWM, 2021) dan lain-lain.

Selain itu penulis juga menghasilkan beberapa buku ajar seperti *Klimatologi Dasar* (Hibah A2, 2007), *BudidayaTanaman Tahunan* (Hibah Buku Diterbitkan Dikti,2011), *Pertanian Dalam Bayang-Bayang Iklim Ekstrims*, *Hinbah Pendampingan Buku Ajar Dikti*, 2012), *Iklim Mikro; Teori, Pengukuran dan Analisis*, Hibah Pengajaran UN-LAM, tahun 2013, *Manajemen Air Pertanian* (2017), *Pemodelan Tanaman sebagai Perangkat Pemahaman Proses, prediksi, dan keperluan Manajemen* (2018) *Mikroklimatologi di Era Perubahan Iklim Global* (LP3 ULM, 2019), *Agroklimatologi di Era Perubahan Iklim Global* (LP3 ULM, 2019), *Produksi Tanaman dan Tantangannya pada Kondisi Iklim Ekstrim* (LP3 ULM, 2019) *Irigasi Efisiensi Tinggi* (LP3 ULM, 2020).