

PENGUJIAN DAN PENERAPAN MODEL SIMULASI PERTUMBUHAN DAN PERKEMBANGAN TANAMAN GANDUM (*Triticum aestivum* L.) BERDASARKAN INTERAKSI AIR DAN NITROGEN

*(Validation and Application of the Growth and Development Simulation Model of Wheat [*Triticum aestivum* L.] Crop Based on Water and Nitrogen Interactions)*

Johannes E. X. Rogi¹⁾, Handoko²⁾, D.Murdiyarto³⁾, Aan.A. Daradjat⁴⁾

¹⁾ Jurusan Budidaya Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Sam Ratulangi

^{2), 3)} Jurusan Geofisika dan Meteorologi F-MIPA IPB

⁴⁾ Balai Penelitian Padi, Sukamandi

ABSTRACT

The objectives of this research are to find out wheat growth and development for evaluating the possibilities of wheat production in Indonesia to, validate and to apply a crop simulation model that was developed by Handoko (1992).

This experiments was done at Kuningan (7°N 108° 24' E) West Java with altitude is 545 m msl, moderate rainfall (< 2000 mm/year) and its soil type is latosol. Wheat planting was three times with two-weeks interval. Main plot consists of two treatments (Rainfed and irrigated) at three levels of soil nitrogen (0, 100 and 200 kg N Ha⁻¹).

Validation of model was made using some parameters : crop development and growth, crop nitrogen and soil, soil water content and grain mass. This validation shown that model can simulate the crop development and growth, crop nitrogen (root, stem, leaves, grain) and grain mass as well. The significance difference was found in soil nitrogen and soil water content. This crop model was applied at Lasiana NTT with the highest successful planting at Nopember.

The result of this research shown that the first planting at plot with irrigated produce 2.33 ton ha⁻¹ in average. The second planting at plot with irrigated and without irrigated were 0.89 ton ha⁻¹ and 2.63 ton ha⁻¹ respectively. In the third planting at plot with irrigated and without irrigated were 1.53 ton ha⁻¹ and 0.67 ton ha⁻¹, respectively.

Key words : Wheat, validation of model, planting date, crop growth, water and nitrogen interactions

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan mempelajari pertumbuhan dan perkembangan tanaman gandum untuk pengembangannya di Indonesia serta menguji dan menerapkan model simulasi yang dikembangkan Handoko (1992).

Penelitian dilakukan di kebun percobaan Kuningan (7° N, 108° 24'E) Jawa Barat pada ketinggian 545 m dpl, dengan curah hujan rata-rata < 2000 mm / tahun dan tipe tanah latosol. Penanaman dilakukan tiga kali dengan interval waktu dua minggu. Petak utama terdiri dari perlakuan irigasi dan tadah hujan serta anak petak terdiri dari tiga tingkat pemupukan nitrogen (0, 100 dan 200 Kg N ha⁻¹).

Model yang telah dikalibrasi akan diuji dengan hasil penelitian lapang, pengujian model dilakukan terhadap perkembangan tanaman, pertumbuhan tanaman, nitrogen tanaman dan tanah, kadar air tanah dan massa biji. Hasil pengujian mendapatkan bahwa model mampu mensimulasi perkembangan tanaman, pertumbuhan tanaman, nitrogen di tanaman (akar, batang, daun, biji) dan massa biji dengan baik. Perbedaan cukup menyolok terjadi pada nitrogen di tanah dan kadar air tanah. Untuk penerapan model

penanaman gandum di daerah Lasiana Propinsi NTT. keberhasilan penanaman tertinggi dilakukan pada bulan Nopember dengan tingkat keberhasilan yang tinggi. Hasil penelitian menunjukkan penanaman I pada petakan yang diberi irigasi menghasilkan rata-rata 2.33 ton ha⁻¹ dan petakan yang tidak diberi irigasi menghasilkan rata-rata 1.38 ton ha⁻¹.

Penanaman II pada petakan yang diberi irigasi menghasilkan rata-rata 0.89 ton ha⁻¹ dan petakan yang tidak diberi irigasi menghasilkan 2.63 ton ha⁻¹ sedangkan pada penanaman III pada petakan yang diberi irigasi menghasilkan rata-rata 1.53 ton ha⁻¹ dan petakan yang tidak diberi irigasi menghasilkan 0.67 ton ha⁻¹.

Kata Kunci : Tanaman gandum, pengujian model, waktu tanam, pertumbuhan tanaman, interaksi air dan nitrogen

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Tanaman gandum merupakan komoditas pangan penting dunia. Selama ini kebutuhan gandum di Indonesia dipenuhi dengan cara mengimpor, dan kebutuhan ini cenderung meningkat dari tahun ke tahun. Pada tahun 1973 volume impor gandum sebesar 600 ribu ton meningkat lebih dari dua kali lipat pada tahun 1983 (1.48 juta ton). Dengan kenaikan tiap tahun sebesar 8%, maka pada tahun 1991 volume impor menjadi 2.1 juta ton. Kebutuhan ini akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah penduduk serta peningkatan daya beli masyarakat.

Secara umum tanaman gandum terbagi atas dua jenis, yaitu *spring wheat* dan *winter wheat*. Tanaman ini mempunyai sifat yang tanggap terhadap fotoperiodisme dan untuk *winter wheat* responsif terhadap vernalisasi. Jenis *spring wheat* cocok untuk dikembangkan di Indonesia karena dalam pertumbuhannya tidak memerlukan suhu yang rendah untuk memenuhi kebutuhan vernalisasi.

Untuk mendapatkan pertumbuhan yang baik serta hasil gandum yang tinggi di Indonesia, maka kondisi agroklimat perlu diperhatikan. Kondisi yang cocok adalah daerah bersuhu dan curah hujan rendah. Daerah dengan curah hujan yang tinggi akan lebih cocok ditanami tanaman yang bernilai ekonomi tinggi, seperti sayuran atau padi. Di Indonesia, daerah yang cocok untuk pertumbuhan tanaman gandum umumnya terletak di kawasan timur Indonesia. Namun masalahnya bertanam gandum pada daerah dengan curah yang rendah akan sangat berisiko terhadap kekurangan air terutama bila variasi curah hujannya tinggi. Untuk itu perlu diadakan suatu penelitian mengenai hubungan iklim dengan pertumbuhan tanaman guna mendapat perkiraan hasil. Tentunya penelitian memerlukan waktu yang panjang serta biaya yang cukup besar. Untuk mengatasi masalah ini, penggunaan model simulasi merupakan pilihan yang tepat. Namun demikian sebelum model diterapkan diperlukan pengujian model sehingga bilamana model kurang cocok perbaikan model dapat dilakukan.

Model simulasi tanaman mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan hasil penelitian agronomi di lapangan khususnya di dalam penghematan waktu dan biaya. Sampai saat ini, model simulasi tanaman gandum masih terbatas pada kombinasi dari fenologi tanaman, neraca air dan pertumbuhan sehingga model simulasi tanaman masih harus dikembangkan, misalnya dengan mensimulasi hara tanah.

Penelitian ini bertujuan : 1) Mempelajari pertumbuhan dan perkembangan tanaman gandum untuk pengembangannya di Indonesia; 2) Menguji dan menerapkan model simulasi yang dikembangkan Handoko (1992).

Model Simulasi

Model simulasi tanaman merupakan alat analisis kuantitatif dalam hubungan pertumbuhan tanaman dengan lingkungannya (iklim dan tanah). Model membantu pemahaman pengaruh lingkungan, khususnya variasi unsur-unsur cuaca terhadap tanaman termasuk untuk keperluan prediksi. Model simulasi yang handal dapat digunakan untuk mengurangi jumlah percobaan lapang yang memerlukan biaya dan waktu yang banyak (Handoko, 1994).

Model perkembangan

Perkembangan tanaman terdiri dari lima tahap fenologi yakni : Tanam (S), *emergence* (E), inisiasi bunga (FI), pembungaan (A) dan pematangan (M). Tahap dari perkembangan berdasarkan skala antara 0 - 1, masing-masing fase dicapai pada nilai-nilai 0 (S), 0.25(E), 0.50(FI), 0.75 (A) dan 1.00 (M). S - E dan A - M memiliki tanggapan termal, E - FI dan FI - A memiliki tanggapan fototermal.

| S | E | FI | A | M |
|------------------|----------------------|----------------------|------------------|---|
| Tanggapan Termal | Tanggapan Fototermal | Tanggapan Fototermal | Tanggapan Termal | |

Gambar 1. Tanggapan termal dan fototermal dari perkembangan tanaman.

Persamaan di bawah ini didasarkan pada perkembangan laju harian (ds_i), hubungan tahap perkembangan (s), suhu rata-rata harian (T) dan panjang hari (P) melalui tiap fase (I) dari siklus perkembangan tanaman (Handoko, 1994).

$$\begin{aligned}
 S - E : s &= \sum ds_1 &= 0.25 \{ \sum (T - T_{b1}) / TU_1 \} \\
 E - FI : s &= 0.25 \sum ds_2 &= 0.25 \{ 1 + \sum [(T - T_{b2})(P - P_{b2}) / PTU_2] \} \\
 FI - A : s &= 0.50 \sum ds_3 &= 0.25 \{ 2 + \sum [(T - T_{b3})(P - P_{b3}) / PTU_3] \} \\
 A - M : s &= 0.75 \sum ds_4 &= 0.25 \{ 3 + \sum (T - T_{b4}) / TU_4 \}
 \end{aligned}$$

- Σ = Jumlah harian yang dimulai dari masing-masing fase $I = 1, 2, 3$ dan 4
- T_{b_i} = Suhu dasar ($^{\circ}C$)
- P_{b_i} = Periode cahaya (h)
- TU_i = Termal unit yang dibutuhkan untuk masing-masing fase ($d^{\circ}C$)
- PTU_i = Fototermal unit yang dibutuhkan untuk masing-masing fase ($d^{\circ}C$ h).

Model pertumbuhan tanaman

Proses simulasi submodel pertumbuhan terdiri dari tambahan dan kehilangan massa pada komponen-komponen daun, batang, akar dan biji. Dalam model ini, juga dihitung massa biji, perubahan indeks luas daun dan penyebaran vertikal akar yang akan menentukan pengambilan nitrogen oleh tanaman.

Selama perkecambahan, tanaman menggunakan cadangan asimilat untuk menunjang pertumbuhan dan respirasi. Pertumbuhan tanaman hasil fotosintesis dihitung setelah pemunculan kecambah. Sesudah pembungaan cadangan asimilat pada batang dimobilisasi ke biji dan ini mengakibatkan massa daun dan batang menurun selama pelayuan.

Produksi biomassa

Produksi biomassa potensial harian dihitung berdasarkan efisiensi penggunaan radiasi surya yang diintersepsi tajuk tanaman, Hubungannya diberikan oleh hukum Beer yaitu :

$$i = Q_0 (1 - \sigma) ; \tau = e^{-k \text{ILD}}$$

- Q₀ = Radiasi yang tiba di atas tajuk tanaman (MJm⁻²)
- Q_i = Radiasi yang diserap (MJm⁻²)
- τ = Proporsi radiasi surya yang ditransmisikan oleh tajuk tanaman
- k = Koefisien pemadaman
- ILD = Indeks Luas Daun

Produksi biomassa potensial dihitung berdasarkan hasil kali antara efisiensi penggunaan radiasi surya (ε) dengan radiasi intersepsi (Q_i). Nilai efisiensi penggunaan radiasi ditentukan sebesar ε = 0.0014 kg MJ⁻¹ (Rimington, 1984; Charles Edwards et al., 1986; Whitfield, 1990).

$$B_b = \epsilon Q_i = \epsilon (1 - e^{-k \text{ILD}}) Q_0$$

- B_b = Produksi biomassa potensial (kg ha⁻¹ d⁻¹)
- ε = Efisiensi penggunaan radiasi (kg MJ⁻¹)

Produksi biomassa potensial tersebut menganggap ketersediaan air bukan merupakan faktor pembatas. Produksi biomassa aktual dihitung dengan mempertimbangkan ketersediaan air, yang dihitung berdasarkan nisbah antara hantaran stomata aktual (φ_a) dengan nilai hantaran stomata maksimumnya (φ_m). Berikut adalah perhitungan faktor ketersediaan air (f_w) dan produksi biomassa aktual (B_a) (Handoko, 1994)

$$f_w = \phi_a / \phi_m$$

$$B_a = f_w \cdot B_b$$

B_a dalam kg ha⁻¹ d⁻¹. Hantaran stomata aktual (φ_a, mm s⁻¹) dihitung dari transpirasi harian. Transpirasi aktual dihitung dari sub model air dan defisit tekanan uap air. Hantaran stomata maksimum (φ_m, mm s⁻¹) dihitung dari fungsi radiasi surya bersih (Q_{sn}).

$$\phi_m = 0.5 + 0.020 Q_{sn}$$

Q_{sn} dalam (Wm⁻²). Kehilangan bahan kering dari organ vegetatif (daun, batang dan akar) selama pemunculan kecambah sampai pembungaan melalui proses respirasi pertumbuhan (R_g) dan respirasi pemeliharaan (R_m) yang dihitung berdasarkan suhu udara dan massa masing-masing organ. Pertumbuhan masing-masing organ (x) dihitung dari selisih antara alokasi bahan kering ke organ tanaman dan yang hilang melalui respirasi sebagai berikut :

$$dW_x = \eta_x B_a - R_g - R_m = \eta_x (1 - K_g) B_a - K_m W_x Q_{10}$$

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

- dW_x = penambahan massa organ x (kg ha⁻¹ d⁻¹)
- η_x = proporsi biomassa yang dialokasikan ke organ x (daun, batang akar dan biji)
- k_m = koefisien respirasi pemeliharaan
- k_g = koefisien respirasi pertumbuhan
- W_x = massa organ x (kg ha⁻¹)

(McCree, 1970 dalam Handoko, 1994).

Tahap fenologi adalah faktor yang mempengaruhi pembagian asimilat pada organ-organ vegetatif (daun, batang dan akar) selama munculnya kecambah sampai pembungaan. 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.

Indeks Luas Daun (ILD)

Dihitung sebagai fungsi laju pertumbuhan daun harian (dw_1) dan konsentrasi nitrogen daun. Persamaan indeks luas daun dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$dILD = \{ [Nact_1]dw_1/20\} 10^{-2}, \quad dw_1 > 0$$

$$= \{ [Nact_1]dw_1/sln\} 10^{-2}, \quad dw_1 \leq 0$$

dw_1 = pertumbuhan daun ($kg \ ha^{-1}d^{-1}$)

$Nact_1$ = konsentrasi nitrogen daun (%)

SLN = nitrogen daun spesifik

BAHAN DAN METODE

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian lapang dilaksanakan di kebun percobaan Kuningan Propinsi Jawa Barat ($06^{\circ} 58' S$, $108^{\circ} 24' E$) dengan elevasi 545 m dpl, mulai Mei sampai September 1994, dilanjutkan dengan analisis tanaman dan tanah di laboratorium dan pengujian data lapang dengan model yang dikembangkan oleh Handoko (1992).

Bahan dan Alat Penelitian

a. Percobaan di lapang

Bahan yang digunakan meliputi : benih gandum varitas WL 2265, pupuk nitrogen, TSP, kalium clorida, aquadest, insektisida dan fungisida.

Alat-alat yang digunakan meliputi : bor tanah, neraca analitik, oven, mikroskop, alat-alat untuk mengolah tanah, salorimeter, integrator, anemometer, termometer bola basah bola kering dan penakar curah hujan.

b. Model simulasi tanaman.

Penelitian ini menggunakan model simulasi tanaman gandum berdasarkan interaksi air dan nitrogen yang telah dikembangkan oleh Handoko (1992) untuk daerah Australia bagian selatan.

Metode Penelitian

Percobaan lapang dilakukan dalam tiga tahap penanaman yang masing-masing berselang dua minggu. Rancangan percobaan adalah petak terbagi dengan dua taraf ketersediaan

air (tadah hujan dan irigasi) dan tiga taraf pemupukan nitrogen termasuk kontrol (0, 100, 200 kg ha⁻¹) dan setiap perlakuan diulang tiga kali. Masing-masing petak berukuran 5 x 4.8 m².

Tanah

Contoh tanah diambil pada saat tanam, inisiasi bunga (*floral initiation*), pembungaan (*Anthesis*) dan pada saat panen untuk dianalisis kandungan mineral nitrogennya (NH₄⁺ dan NO₃⁻) dan Kadar Air Tanah (KAT). Pengambilan contoh tanah dilakukan pada dua lapisan tanah (0-20 cm dan 20-60 cm).

Iklim

Suhu udara diukur menggunakan termometer udara, kelembaban udara menggunakan psikrometer, kecepatan angin menggunakan anemometer, radiasi menggunakan solarimeter.

Tanaman

Pengambilan contoh tanaman dilakukan dengan teknik *destructive sampling*, pada baris tanaman sepanjang 2 x 0.5 m. Peubah-peubah tumbuh yang diamati dalam penelitian ini adalah: Bobot kering daun, batang dan akar; Indeks Luas Daun (ILD); Fase perkembangan yang meliputi waktu tanam, pemunculan kecambah (*emergence*), inisiasi pembungaan (*floral initiation*), pembungaan (*anthesis*), pematangan (*maturity*).

Waktu tanam, dihitung pada saat benih gandum ditempatkan pada petakan, munculnya kecambah (*emergence*), dihitung pada saat 50% dari seluruh kecambah tanaman gandum muncul di permukaan tanah. Inisiasi pembungaan, dihitung mulai dari saat tanam sampai bakal bunga terlihat pada saat diamati dengan menggunakan mikroskop. Pembungaan, dihitung mulai saat tanam sampai terjadinya penyerbukan. Matang fisiologis, diamati secara visual di lapangan dicirikan oleh biji sudah bernas dan tangkai bulir berwarna kuning emas.

Bobot kering daun, batang dan biji, ditentukan dengan menimbanginya setelah dikering ovenkan pada suhu 105° C selama 24 jam. Pengamatan dilakukan terhadap contoh organ tanaman penanaman I, II diambil pada saat 14 HST, 28 HST, inisiasi pembungaan, pembungaan, 56 HST, 64 HST, 73 HST, matang fisiologis sedangkan dari penanaman III diambil pada saat 14 HST, inisiasi pembungaan, 56 HST dan matang fisiologis.

Indeks Luas Daun (ILD), ditentukan bersamaan dengan pengambilan contoh organ tanaman. Hal yang pertama dilakukan adalah penentuan luas daun dengan cara mengambil sampel daun dengan ukuran 1 cm² dan ditimbang. Hasilnya dipakai sebagai pembagi dari bobot kering daun. Hasil bagi antara keduanya adalah luas daun. Penghitungan ILD merupakan hasil bagi antara luas daun dan luasan pengambilan sampel pada petakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian Model

Pengujian adalah suatu tahap yang penting untuk mendapatkan ketepatan dan kepekaan dari suatu model simulasi terhadap data-data penelitian lapang, agar diperoleh hasil prediksi suatu model yang sesuai atau sebanding dengan nilai observasi lapangan.

Banyak terdapat metode statistik, yang dapat digunakan untuk membandingkan rata-rata perlakuan, tetapi pada kenyataannya setiap metode mempunyai keterbatasan, sehingga belum ada suatu metode statistik yang cocok untuk pengujian model tanaman yang dapat diterima secara umum (Mar 1974, Willmot 1982). Ini dapat dijadikan suatu alasan mengapa pengujian menjadi penting. Untuk mencapai hasil yang diharapkan pengujian dibuat pada beberapa keadaan yang berbeda.

Pengujian model simulasi interaksi air dan nitrogen didasarkan terhadap pengukuran terhadap produktivitas dan hasil tanaman gandum. Pengujian dilakukan untuk mengetahui kepekaan model di dalam menerangkan mekanisme pertumbuhan dan hasil tanaman gandum pada berbagai kondisi air dan nitrogen yang berbeda.

Model Perkembangan Tanaman

Hasil penelitian Handoko pada tahun 1988 dan 1989 di Melbourne Australia (37.5°S, 144.8°E) dengan menggunakan gandum varietas *matong* mendapatkan kisaran fase perkecambah-an 11 HST-13 HST, fase inisiasi pembungaan pada 65 HST-77 HST, fase pembungaan pada 137 HST-166 HST dan fase matang fisiologis terjadi pada 177 HST-208 HST. Hasil penelitian *Wityanara* (1988) di Kuningan Jawa Barat dengan menggunakan gandum varietas IWP72 mendapatkan matang fisiologis terjadi pada 72 HST. sedangkan di kebun Sukamandi dengan ketinggian yang lebih rendah dari Kuningan, matang fisiologis biasanya terjadi pada 67 HST. Perbedaan fase perkembangan gandum pada berbagai hasil penelitian tersebut disebabkan oleh faktor-faktor varietas, fisiologis tanaman dan faktor iklim di mana tanaman itu tumbuh, seperti suhu, panjang hari, radiasi matahari, kelembaban udara, kecepatan angin, curah hujan yang sangat mempengaruhi termal unit (TU) dan fototermal unit (PTU) dan ini menentukan fase-fase perkembangan tanaman.

Hasil pengamatan lapang dari tiga kali penanaman menunjukkan fase munculnya kecambah (*emergence*) terjadi pada 4 HST, fase inisiasi pembungaan (*Floral initiation*) terjadi pada 33-35 HST, fase pembungaan (*anthesis*) terjadi pada 42 HST dan matang fisiologis (*maturity*) terjadi pada 86 - 88 HST. Hasil simulasi menunjukkan fase perkecambahan terjadi pada 5 HST, fase inisiasi pembungaan terjadi pada 35 -38 HST, fase pembungaan terjadi pada 41-48 HST sedangkan matang fisiologis rata-rata terjadi pada 91 - 96 HST (Tabel 1).

Perbedaan pendugaan fase perkembangan tanaman gandum antara pengukuran lapang dan simulasi lebih banyak dipengaruhi oleh masukan peubah berupa suhu udara dan panjang hari yang selalu berubah-ubah baik secara diurnal maupun musiman. Pada tanaman gandum yang merupakan tanaman hari panjang, tanggapan suhu udara dan panjang hari terjadi antara fase munculnya kecambah ke permukaan tanah (*emergence*) sampai pembungaan (*anthesis*). Sedangkan fase lainnya umumnya hanya dipengaruhi oleh suhu udara.

Tabel 1. Perkembangan tanaman gandum

| Perlakuan | Simulasi | | | | Pengukuran | | | |
|-------------------------|----------|----|----|----|------------|----|----|----|
| | E | F1 | A | M | E | F1 | A | M |
| | (HST) | | | | (HST) | | | |
| Irigasi 0 N (I) | 5 | 36 | 45 | 91 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Irigasi 0 N (II) | 5 | 37 | 43 | 79 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Irigasi 0 N (III) | 5 | 38 | 44 | 81 | 4 | 35 | 42 | 88 |
| Irigasi 100 N (I) | 5 | 35 | 41 | 93 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Irigasi 100 N (II) | 5 | 37 | 43 | 93 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Irigasi 100 N (III) | 5 | 38 | 43 | 92 | 4 | 35 | 42 | 88 |
| Irigasi 200 N (I) | 5 | 35 | 41 | 96 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Irigasi 200 N (II) | 5 | 37 | 43 | 93 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Irigasi 200 N (III) | 5 | 38 | 43 | 95 | 4 | 35 | 42 | 88 |
| Tadah hujan 0 N (I) | 5 | 36 | 44 | 82 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 0 N (II) | 5 | 37 | 43 | 90 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 0 N (III) | 5 | 38 | 48 | 86 | 4 | 35 | 42 | 88 |
| Tadah hujan 100 N (I) | 5 | 35 | 41 | 93 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 100 N (II) | 5 | 37 | 43 | 91 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 100 N (III) | 5 | 38 | 43 | 88 | 4 | 35 | 42 | 88 |
| Tadah hujan 200 N (I) | 5 | 36 | 41 | 92 | 4 | 33 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 200 N (II) | 5 | 37 | 43 | 92 | 4 | 35 | 42 | 86 |
| Tadah hujan 200 N (III) | 5 | 38 | 43 | 88 | 4 | 35 | 42 | 88 |

Ket : (I), (II), (III) menyatakan penanaman I, II, III.

0 N, 100 N dan 200 N adalah dosis pemupukan dalam kg N ha⁻¹.

Model Pertumbuhan Tanaman

Model pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesis ke organ-organ tanaman (daun, batang, akar dan biji) serta kehilangannya berupa respirasi. Sub model ini juga mensimulasi perkembangan luas daun untuk menduga Indeks Luas Daun (ILD).

Bobot kering daun dan batang

Proporsi biomassa yang dialokasikan ke daun lebih besar sampai pada fase inisiasi pembungaan dan ini menyebabkan hasil simulasi untuk bobot kering daun lebih besar sampai pada fase inisiasi pembungaan setelah itu bobot kering batang akan lebih besar (Tabel 2 dan 3). Bobot kering daun yang menurun setelah fase inisiasi pembungaan disebabkan oleh makin banyaknya biomassa yang dialokasikan ke batang. Di dalam pertumbuhan tanaman batang sangat diperlukan untuk penunjang pertumbuhan biji.

Tabel 2. Fase pertumbuhan daun tanaman gandum

| Perlakuan | Simulasi | | | | Pengukuran | | |
|-------------------------|-----------------------------------|------|------|-----|------------|----------|----------|
| | E | F1 | A | M | F1 | A | M |
| | Massa daun (kg/ha ⁻¹) | | | | | | |
| Irigasi 0 N (I) | 12 | 1313 | 1111 | 50 | 665±96 | 1016±637 | 527±132 |
| Irigasi 0 N (II) | 12 | 1590 | 1464 | 139 | 520±169 | 537±146 | 398±118 |
| Irigasi 0 N (III) | 12 | 1715 | 1573 | 150 | 958±132 | - | 576±307 |
| Irigasi 100 N (I) | 12 | 2278 | 2064 | 58 | 1252±124 | 1223±372 | 917±128 |
| Irigasi 100 N (II) | 12 | 2578 | 2365 | 82 | 723±375 | 899±108 | 838±188 |
| Irigasi 100 N (III) | 12 | 2594 | 2373 | 87 | 1057±82 | - | 835±279 |
| Irigasi 200 N (I) | 12 | 2677 | 2421 | 52 | 1343±324 | 1589±81 | 1000±121 |
| Irigasi 200 N (II) | 12 | 3009 | 2755 | 90 | 723±60 | 969±78 | 680±147 |
| Irigasi 200 N (III) | 12 | 3024 | 2762 | 96 | 1096±67 | - | 852±333 |
| Tadah hujan 0 N (I) | 12 | 1408 | 1215 | 93 | 409±55 | 513±375 | 254±63 |
| Tadah hujan 0 N (II) | 12 | 1488 | 1370 | 66 | 435±101 | 559±89 | 217±33 |
| Tadah hujan 0 N (III) | 12 | 1285 | 1076 | 100 | 652±90 | - | 380±141 |
| Tadah hujan 100 N (I) | 12 | 2191 | 1983 | 53 | 554±112 | 636±336 | 333±121 |
| Tadah hujan 100 N (II) | 12 | 2257 | 2072 | 82 | 536±0.58 | 713±101 | 271±52 |
| Tadah hujan 100 N (III) | 12 | 1845 | 1693 | 95 | 621±263 | - | 469±29 |
| Tadah hujan 200 N (I) | 12 | 2529 | 2308 | 64 | 616±103 | 612±112 | 380±66 |
| Tadah hujan 200 N (II) | 12 | 2677 | 2452 | 84 | 480±121 | 629±166 | 275±59 |
| Tadah hujan 200 N (III) | 12 | 2206 | 2021 | 105 | 717±70 | - | 548±53 |

- Tidak diukur

Ket : (I), (II), (III) menyatakan penanaman I, II, III

0 N, 100 N dan 200 N adalah dosis pemupukan dalam kg N ha⁻¹.

Tabel 2 dan 3 menunjukkan bahwa bobot kering daun dan batang hasil simulasi menduga lebih besar dari pengukuran lapang. Hal ini disebabkan karena proporsi biomassa yang dialokasikan pada masing-masing organ dihitung berdasarkan fungsi fase perkembangan (Tabel 1).

Model mensimulasi menunjukkan bobot kering daun dan batang tanaman gandum dalam bentuk akumulasi biomassa dengan cukup baik khususnya pada inisiasi pembungaan (F1) dan pembungaan (A) untuk perlakuan irigasi dan tadah hujan dengan taraf pemupukan 0 kg N ha⁻¹, 100 kg N ha⁻¹ dan 200 kg N ha⁻¹. Perbedaan cukup menyolok terjadi pada fase matang fisiologis yang disebabkan oleh variasi iklim dan ketersediaan air dimana tanaman itu tumbuh. Namun demikian, hasil pengukuran lapang keragamannya cukup tinggi, sehingga perbandingan antara hasil simulasi dan pengukuran lapang menjadi kurang berarti.

Tabel 3. Fase pertumbuhan batang tanaman gandum

| Perlakuan | Simulasi | | | | Pengukuran | | |
|-------------------------|-------------------------------------|------|------|------|------------|-----------|----------|
| | E | FI | A | M | FI | A | M |
| | Massa batang (kg/ha ⁻¹) | | | | | | |
| Irigasi 0 N (I) | 12 | 931 | 2604 | 2341 | 846±137 | 3084±1935 | 3128±473 |
| Irigasi 0 N (II) | 12 | 1206 | 2529 | 2311 | 979±738 | 3890±1192 | 2122±679 |
| Irigasi 0 N (III) | 12 | 1272 | 2410 | 1420 | 1598±315 | - | 1936±6.0 |
| Irigasi 100 N (I) | 12 | 1271 | 2794 | 1716 | 1352±129 | 4379±1665 | 3662±518 |
| Irigasi 100 N (II) | 12 | 1801 | 3617 | 1047 | 1305±720 | 5216±545 | 2982±740 |
| Irigasi 100 N (III) | 12 | 1790 | 3273 | 760 | 2060±75 | - | 2494±553 |
| Irigasi 200 N (I) | 12 | 1432 | 3043 | 1405 | 1633±506 | 4266±636 | 3742±259 |
| Irigasi 200 N (II) | 12 | 2000 | 3920 | 1349 | 1433±636 | 5886±589 | 2926±555 |
| Irigasi 200 N (III) | 12 | 2006 | 3620 | 1060 | 2358±137 | - | 2721±324 |
| Tadah hujan 0 N (I) | 12 | 982 | 2500 | 2202 | 486±89 | 1653±577 | 1353±156 |
| Tadah hujan 0 N (II) | 12 | 1123 | 2347 | 1502 | 501±105 | 1669±216 | 1249±326 |
| Tadah hujan 0 N (III) | 12 | 1003 | 2653 | 1067 | 1021±243 | - | 1421±199 |
| Tadah hujan 100 N (I) | 12 | 1201 | 2594 | 604 | 748±223 | 2336±981 | 1821±544 |
| Tadah hujan 100 N (II) | 12 | 1608 | 3228 | 528 | 681±111 | 2083±428 | 1730±434 |
| Tadah hujan 100 N (III) | 12 | 1415 | 2559 | 525 | 1225±130 | - | 1404±260 |
| Tadah hujan 200 N (I) | 12 | 1564 | 2807 | 585 | 801±65 | 1749±374 | 1486±323 |
| Tadah hujan 200 N (II) | 12 | 1808 | 3509 | 450 | 705±266 | 2025±247 | 1761±649 |
| Tadah hujan 200 N (III) | 12 | 1600 | 2799 | 453 | 1190±228 | - | 1595±315 |

- Tidak diukur

Ket : (I), (II), (III) menyatakan penanaman I, II, III

0 N, 100 N dan 200 N adalah dosis pemupukan dalam kg N ha⁻¹Indeks Luas Daun (ILD)

Dalam model, ILD menentukan jumlah radiasi dan curah hujan yang diintersepsi tanaman serta transpirasi. ILD merupakan peubah bantu dan dalam model ini perubahan ILD dihitung dari perkalian antara parameter luas daun spesifik (s_A) dengan pertumbuhan atau perubahan massa daun (dW_L).

Model mensimulasi ILD dengan cukup baik khususnya pada inisiasi pembungaan (FI) dan pembungaan (A) untuk perlakuan irigasi dan tadah hujan dengan taraf pemupukan 0 kg N ha⁻¹, 100 kg N ha⁻¹ dan 200 kg N ha⁻¹ (Tabel 4). Sama halnya dengan pertumbuhan daun, perbedaan cukup menyolok terjadi pada fase matang fisiologis yang disebabkan oleh variasi iklim dan ketersediaan air dimana tanaman itu tumbuh.

Tabel 4. Fase pertumbuhan Indeks Luas Daun (ILD) gandum

| Perlakuan | Simulasi | | | | Pengukuran | | |
|-------------------------|------------------------|-------|-------|------|------------|------------|-----------|
| | E | F1 | A | M | F1 | A | M |
| | Indeks Luas Daun (ILD) | | | | | | |
| Irigasi 0 N (I) | 0.06 | 3.04 | 2.61 | 0.13 | 5.54±0.80 | 8.47±5.30 | 4.40±1.10 |
| Irigasi 0 N (II) | 0.07 | 3.62 | 3.38 | 0.34 | 4.43±1.41 | 4.78±1.22 | 3.31±0.98 |
| Irigasi 0 N (III) | 0.07 | 3.85 | 3.58 | 0.36 | 7.98±1.10 | - | 4.80±2.80 |
| Irigasi 100 N (I) | 0.06 | 8.42 | 7.77 | 0.23 | 10.43±1.00 | 10.19±3.10 | 7.64±1.10 |
| Irigasi 100 N (II) | 0.07 | 9.45 | 8.77 | 0.32 | 6.03±3.13 | 7.49±0.90 | 5.32±2.07 |
| Irigasi 100 N (III) | 0.07 | 8.65 | 8.01 | 0.31 | 8.81±0.70 | - | 9.14±0.58 |
| Irigasi 200 N (I) | 0.06 | 13.00 | 11.95 | 0.27 | 11.20±2.70 | 13.24±0.70 | 8.33±1.00 |
| Irigasi 200 N (II) | 0.07 | 14.56 | 13.47 | 0.46 | 6.03±0.51 | 8.08±0.65 | 7.08±1.53 |
| Irigasi 200 N (III) | 0.07 | 13.05 | 12.06 | 0.44 | 9.14±0.58 | - | 7.11±2.77 |
| Tadah hujan 0 N (I) | 0.06 | 3.42 | 2.99 | 0.24 | 3.41±0.50 | 4.27±3.10 | 2.12±0.50 |
| Tadah hujan 0 N (II) | 0.07 | 3.27 | 3.05 | 0.15 | 3.63±0.84 | 4.66±0.74 | 1.81±0.27 |
| Tadah hujan 0 N (III) | 0.07 | 2.62 | 2.23 | 0.22 | 5.43±0.75 | - | 3.17±1.17 |
| Tadah hujan 100 N (I) | 0.06 | 7.68 | 7.07 | 0.20 | 4.62±0.90 | 5.31±2.80 | 2.78±1.00 |
| Tadah hujan 100 N (II) | 0.07 | 6.92 | 6.43 | 0.27 | 4.47±0.49 | 5.94±0.84 | 2.26±0.44 |
| Tadah hujan 100 N (III) | 0.07 | 3.77 | 4.45 | 0.26 | 5.18±2.20 | - | 3.91±0.25 |
| Tadah hujan 200 N (I) | 0.06 | 11.34 | 10.44 | 0.30 | 5.13±0.90 | 5.10±0.90 | 3.17±0.60 |
| Tadah hujan 200 N (II) | 0.07 | 10.24 | 9.48 | 0.34 | 4.00±1.01 | 5.24±1.39 | 2.30±0.49 |
| Tadah hujan 200 N (III) | 0.07 | 6.83 | 6.34 | 0.35 | 5.97±0.59 | - | 4.57±0.44 |

- Tidak diukur

Ket : (I), (II), (III) menyatakan penanaman I, II, III

0 N, 100 N dan 200 N adalah dosis pemupukan dalam kg N ha⁻¹

Produksi Massa Biji Gandum Saat Panen

Dari tiga kali penanaman terlihat bahwa hasil cenderung menurun. Massa biji tertinggi diperoleh dari penanaman I dan diikuti secara berturut-turut oleh penanaman II dan III. Kecenderungan penurunan massa biji ini terjadi karena suhu, radiasi matahari, kelembaban udara secara kumulatif terus meningkat dan selama penelitian dilakukan tidak pernah turun hujan, ini semua mengakibatkan kadar air tanah makin berkurang menurut waktu tanam. Dari Tabel 5 terlihat bahwa penurunan massa biji terbesar terjadi pada penanaman dipupuk 200 kg N ha⁻¹ dan terus menurun sampai massa biji terendah diperoleh dari penanaman yang tidak dipupuk (kontrol). Eck (1984) menemukan bahwa berkurangnya hasil karena kekeringan, lebih besar pada tanaman dengan N yang cukup daripada tanaman yang kekurangan N. Akan tetapi produksi akan tetap lebih tinggi pada tanaman yang dipupuk. Hal ini disebabkan tanaman yang dipupuk N yang cukup mampu menyerap air dari lapisan tanah yang lebih dalam. Walaupun

transpirasi pada tanaman yang dipupuk N tinggi meningkat, sehingga potensial air daun dan potensial osmotik menjadi lebih rendah, tetapi turgor lebih tinggi. Hal tersebut memungkinkan resistensi stomata pada tanaman yang dipupuk cukup, tetap rendah.

Hasil pada pemupukan 100 kg N ha⁻¹ dan 200 kg N ha⁻¹ dari ketiga penanaman, menunjukkan hasil yang tidak berbeda. Hasil penelitian Daradjat dan Noch (1992) di Kuningan Jawa Barat pada tanaman gandum varietas WL 2265 yang dipupuk 90 kg N ha⁻¹ menghasilkan biji yang tertinggi (2.78 ton ha⁻¹), penggunaan takaran pupuk yang lebih tinggi dari 90 kg N ha⁻¹ cenderung menurunkan hasil biji.

Tabel 5. Massa biji gandum saat panen (ton ha⁻¹)

| Perlakuan | Simulasi (Kg/ha ⁻¹) | Pengukuran (kg/ha ⁻¹) |
|-------------------------|---------------------------------|-----------------------------------|
| Irigasi 0 N (I) | 0.06 | 1.32±0.64 |
| Irigasi 0 N (II) | 0.43 | 1.30±0.43 |
| Irigasi 0 N (III) | 0.52 | 1.10±0.12 |
| Irigasi 100 N (I) | 1.95 | 2.85±0.58 |
| Irigasi 100 N (II) | 1.85 | 2.21±0.26 |
| Irigasi 100 N (III) | 1.25 | 1.45±0.07 |
| Irigasi 200 N (I) | 2.91 | 2.81±0.14 |
| Irigasi 200 N (II) | 2.52 | 2.63±0.24 |
| Irigasi 200 N (III) | 1.86 | 1.53±0.17 |
| Tadah hujan 0 N (I) | 0.03 | 1.37±0.34 |
| Tadah hujan 0 N (II) | 0.30 | 0.89±0.31 |
| Tadah hujan 0 N (III) | 0.22 | 0.67±0.08 |
| Tadah hujan 100 N (I) | 1.14 | 1.50±0.28 |
| Tadah hujan 100 N (II) | 0.79 | 1.01±0.25 |
| Tadah hujan 100 N (III) | 0.71 | 0.86±0.11 |
| Tadah hujan 200 N (I) | 1.08 | 1.27±0.15 |
| Tadah hujan 200 N (II) | 0.88 | 1.02±0.26 |
| Tadah hujan 200 N (III) | 0.60 | 0.95±0.14 |

Ket : (I), (II), (III) menyatakan penanaman I, II, III
 0 N, 100 N dan 200 N adalah dosis pemupukan dalam kg N ha⁻¹.

Penerapan Model

Model simulasi yang telah diuji tersebut, secara umum menunjukkan bahwa model mampu mensimulasi hasil gandum dengan cukup baik meskipun beberapa komponen menunjukkan perbedaan yang nyata pada beberapa perlakuan. Penerapan model kemudian dilakukan untuk daerah Lasiana Propinsi Nusa Tenggara Timur (10° 10'S.123° 36'E) dengan elevasi 20 m dpl, menggunakan data iklim 1986 - 1993.

Tabel 6. Hasil Simulasi Massa biji gandum untuk daerah Lasiana Propinsi NTT menggunakan data iklim 1986 - 1993 pada $p(x \geq y) = 50\%$, $p(x \geq y) = 75\%$, rata-rata dan median.

| Bulan | Rataan (ton ha ⁻¹) | Median (ton ha ⁻¹) | $p(x \geq y) = 50\%$ (ton ha ⁻¹) | $p(x \geq y) = 75\%$ (ton ha ⁻¹) |
|-----------|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|
| Januari | 0.41 | 0.03 | 0.06 | 0 |
| Februari | 0.52 | 0.20 | 0.34 | 0 |
| Maret | 1.31 | 1.21 | 1.82 | 0.11 |
| April | 1.10 | 0.90 | 1.11 | 0.67 |
| Mei | 0.62 | 0.36 | 0.39 | 0.32 |
| Juni | 0.63 | 0.25 | 0.26 | 0.22 |
| Juli | 0.49 | 0.28 | 0.29 | 0.19 |
| Agustus | 0.21 | 0.17 | 0.18 | 0.15 |
| September | 0.35 | 0.29 | 0.31 | 0.16 |
| Oktober | 1.81 | 1.76 | 1.79 | 1.27 |
| Nopember | 1.97 | 2.17 | 2.42 | 1.35 |
| Desember | 0.44 | 1.13 | 1.13 | 0.51 |

Model diterapkan untuk mengetahui potensi hasil gandum serta menentukan waktu tanam yang optimum, yaitu waktu tanam dengan hasil yang tertinggi (input produksi diasumsikan tetap untuk semua waktu tanam). Disamping itu dihitung hasil gandum pada berbagai resiko, dengan menghitung hasil pada berbagai peluang terlampaui (*exceedence probability*) serta pada nilai median hasil. Peluang terlampaui dihitung pada tingkat peluang 50% dan 75%.

Hasil gandum rata-rata tertinggi tercapai bila ditanam pada bulan Nopember dengan hasil 1.97 ton ha⁻¹, diikuti bulan Oktober dengan hasil 1.81 ton ha⁻¹. Hasil gandum menggunakan median, ternyata hasilnya lebih rendah pada penanaman bulan Oktober (1.76 ton ha⁻¹) dan lebih tinggi pada penanaman bulan Nopember (2.17 ton ha⁻¹). Hasil gandum menggunakan peluang 50%, ternyata hasilnya meningkat pada penanaman bulan Oktober (1.76 ton ha⁻¹) dan Nopember (2.42 ton ha⁻¹) dibandingkan dengan menggunakan median. Hasil tersebut ternyata lebih rendah bila digunakan peluang 75%. Pada peluang 75% hasil tertinggi menjadi hanya 1.35 ton ha⁻¹ pada penanaman bulan Nopember. Berdasarkan hal ini petani gandum di Lasiana dianjurkan menanam pada bulan Nopember untuk mendapatkan hasil yang tinggi dengan peluang keberhasilan yang tinggi pula.

Variasi hasil gandum yang tinggi menunjukkan bahwa fluktuasi unsur-unsur iklim, khususnya curah hujan yang cukup besar di daerah Lasiana. Disamping itu hasil gandum yang relatif rendah dibandingkan di daerah Kuningan tempat percobaan lapang dilakukan disebabkan daerah Lasiana terletak di dataran rendah (20 m dpl) yang mempunyai suhu lebih tinggi.

Pemilihan waktu tanam perlu memperhatikan faktor-faktor sosial ekonomis misalnya ketersediaan tenaga kerja serta harga pada waktu panen (sekitar tiga bulan setelah tanam).

KESIMPULAN

Pengujian antara hasil simulasi (model) dan pengukuran lapang pada hasil biji gandum untuk tiga kali penanaman memperlihatkan bahwa model pcka terhadap pemupukan nitrogen dan ketersediaan air.

Berdasarkan model, hasil gandum yang rendah di daerah Lasiana (20 m dpl) dibandingkan Kuningan (545 m dpl) antara lain disebabkan suhu udara di Lasiana yang lebih tinggi. Penanaman untuk daerah Lasiana Propinsi NTT keberhasilan tertinggi adalah untuk penanaman bulan Nopember dengan tingkat keberhasilan yang tinggi.

Model simulasi yang dikembangkan Handoko (1992) berdasarkan air dan nitrogen sangat membantu usaha pengembangan budidaya gandum di Indonesia untuk digunakan dalam penetapan daerah-daerah yang sesuai, kebutuhan air, tingkat pemupukan nitrogen, menduga hasil dan analisis resiko.

DAFTAR PUSTAKA

- Bacon, P.E., H.E. Hoult, J.W. McGarity and D. Alter. 1988. Effect of Stubble Management Technigque on Soil and Fertilizer Nitrogen Recovery By Wheat Sown After Rice. Aust. J. Exp. Agric. 28:485-490.
- Buckman, H.O and N.C. Brady. 1969. The Nature and Properties of Soils. Macmillan, New York
- Daradjat A.A dan M. Noch. 1992. Pengaruh Waktu Pemupukan dan Takaran Pupuk N, P, dan K Terhadap Hasil dan Komponen Hasil Terigu. Reflektor Vol.5 1 - 2. BALLITTAN Sukamandi. Hal 25-28.
- De Willigen, P. 1991. Nitrogen Turnover in the Soil-Crop System; Comparison of Fourteen Simulation Models. Fert. Res. 27:141-149.
- Doorenbos, J and A.H. Kassam. 1979. Yield Respons to Water. FAO Irrigation and Drainage paper 33, Rome. 193p
- Eck, H. V. 1984. Irrigated Corn Yield Response to Nitrogen and Water. Agronomy. J 76 : 121-128.
- Gojon, A. G. J. F. Soussana, L. Passama, and P.Robin. 1986. Nitrate Reduction in Roots and Shoot of Barley (*Hordeum vulgare* L.) and Corn (*Zea mays* L.) Seedlings. Plant Physiology. 82 : 254 -260.
- Hakeem, A and F. Amer. 1981. Response Irrigated Wheat to Residual and Fertilizer Nitrogen. Plant and Soil. 60 (1) pp. 21-28.
- Handoko, I. 1992. Analysis and Simulation of Water-Nitrogen Interaction of The Wheat Crop. Ph.D. Thesis. School of Agric.& Forestry, The University of Melbourne. 210p.
- Handoko, I. 1994. Dasar Penyusunan dan Aplikasi Model Simulasi Komputer Untuk Pertanian. Jur AGROMET-IPB 1994. 112p.

- Harjadi, S. S dan S. Yahya. 1988. Fisiologi Stres Lingkungan. PAU Bioteknologi. IPB, Bogor. 234p.
- Harper, J. E and A. H. Gibson. 1984. Differential Nodulation Tolerance to Nitrate Among Legume Species. *Crop Science* 24:797-801.
- Kumar, V and W. C. Mayaki. 1986. Effect of Intercropped Cotton and Nitrogen Fertilization on Yield and Yield Components of Wheat in Irrigated Rotation in Northern Nigeria. *Fertilizers and Agriculture, IFA Ltd No. 93*, pp. 19-30.
- Mar, B. W. 1974. Problems Encountered in Multidisciplinary Resources and Environmental Simulation Models Development. *J. Env't, Management*. 2: 83-100.
- Mason, M. G. 1989. Effect of Nitrogenous Fertilizers on Soil Inorganic Nitrogen Levels and Uptake by Wheat on Very Acid Soils. *Aust. J. Exp. Agric.* 29:837-842.
- O'Leary, G.J., Connor, D.J. and White, D.H. 1985. A Simulation Model of The Development, Growth and Yield of The Wheat Crop. *Agric. System* 17: 1-26.
- Parameswaran, K. V. M, R. D. Graham and D. Aspinall. 1981. Studies on the Nitrogen and Water Relations of Wheat. *Irrigation Science, Springer-Verlag. Victoria, Australia*. pp. 20-44.
- Quispel, A. 1991. A Critical Evaluation of the Prospects for Nitrogen Fixation with Non-Legumes. *Plant and Soil* 137:1-11.
- Rimington, G.M. and Connor, D.J. 1987. *The Wheat Game*. School of Agric. & Forestry University of Melbourne. 210p.
- Ritchie, J.T. and Otter-Nacke, S. 1984, CERES-WHEAT: A User-Oriented Wheat Yield Model AGRISTAS publication No. YM-U3-04442-JSC-18892.
- Russel, E. W. 1961 *Soil Condition and Plant Growth*. 9th ed. John Wiley & Sons Ltd. New York.
- Russel, J.S. 1973. Yield Trend of Different Crops In Different Area and Reflections On The Sources of Crop Yield Improvement In The Australian Environment. *J. Aust. Inst. Agric. Sci.* 39(3), pp. 156-166.
- Seligman, N. G. , S. Feigenbaum, and R. W. Benjamin. 1986. Uptake of Nitrogen from High C-N Ratio, ¹⁵N-Labeled Organic Residues by Spring Wheat Grown Under Semi Arid Conditions. *Soil Biol. Biochem.* 18: 303-307.
- Singh, S. D. 1981. Moisture-Sensitive Growth Stages of Dwarf Wheat and Optimal Sequencing of Evapotranspiration Deficits. *Agronomy Journal*. 73, pp. 387-391.
- Stapper, M. 1984. Simulation Assesing the Productivity of Wheat Maturity in A Mediterranean Climate. Ph.D Thesis. University of New England, Armidale. 313p.
- Trubus, ed Jan 1994. Terigu Kini Bisa Dibudidayakan Di Indonesia. *Majalah, Th xxy*, pp. 82-83.

- Van Keulen, H. and Seligman, N.G. 1987. Simulation of Water Use, Nitrogen Nutrition and Growth of a Spring Wheat Crop. Pudoc. Wageningen. 310p.
- Vleg P. L. G, I. R. P. Fillery and J. R. Burford. 1981. Accession, Transformation, and Loss of Nitrogen in Soils of the Arid Region. (John Monteith, Colin Webb, ed) In 'Soil Water and Nitrogen'. Martinus Nijhoff, DR. W. Junk Publishers, pp: 133: 175.
- Walalangi, I. T. Pengaruh Stress Air dan Pemupukan Nitrogen Terhadap Pertumbuhan Jagung (*Zea mays* L.). Thesis Magister. IPB. Bogor.
- Willmot, C. J. 1982. Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bul. Am. Met. Soc.* 63: 1309-1313.
- Wityanara, S. A. S. 1988. Pengaruh Kadar Air Tanah Tersedia dan Pemupukan Nitrogen Terhadap Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Terigu (*Triticum aestivum* L.). Thesis Magister. IPB. Bogor.