

## Model Simulasi Pertumbuhan dan Produksi Tanaman Tebu

*The growth and yield of sugarcane model simulations*

Wawan Pembengo<sup>1</sup> dan Suwarto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratorium Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo  
Jl. Jend. Sudirman No. 6 Kota Gorontalo 96128

✉ : [wawan\\_pembengo@ung.ac.id](mailto:wawan_pembengo@ung.ac.id)

<sup>2</sup>Departemen Agronomi dan Hortikultura Institut Pertanian Bogor  
Jl. Meranti Kampus IPB Darmaga, Bogor

### ABSTRACT

To reduce the level of difficulty conducting research in complex systems, modeling is defined as simplification of system with mechanistic approach, can be an alternative approach for understanding and prediction ecophysiology process of growth, development and production plants. Modeling the growth of sugarcane crop is expected to be used as a tool to predict the production of sugarcane production as well as in a development area. Research purposes that make simulation model of sugarcane growth and development develop the tools in an effort to plan and optimize the productivity of sugarcane and sugar productivity predicts. The experiment was conducted in Kotabumi of Lampung regency. Began in June 2008 ended in July 2009. Research materials in the form of climate data for 2 years (2008 to 2009), soil data, the data accumulation, and agronomic data. Tool in this study the precipitation gauge type observatory, TL-1 Illuminance meter to measure the radiation coming, belgi drill, sample ring, digital scales and oven. Research using analytical methods or simulation models of plant systems are supported field trials. The model is built based on the variables and parameters obtained from secondary data as well as from experiments. Construction of a simulation model of sugarcane growth and development has been able to simulate and describe the development and growth of sugarcane as shown by the results of field observations. The simulation results for the production of sugarcane harvested biomass  $\pm 100$  ton/ha while the observation of  $\pm 85$  ton/ha (the simulation results have to be in the range of values one standard deviation from the average). Phenological period and the prediction accuracy of the simulation results are relatively consistent with the observation field (simulated total biomass production 115 ton/ha while the observation of 101 ton/ha).

*Keyword: crop simulation model, sugarcane simulation*

### PENDAHULUAN

Masa kejayaan produksi tebu nasional pernah dicapai pada tahun 1930-an dimana jumlah pabrik gula yang beroperasi sekitar 179 pabrik gula, produksi puncak mencapai 3.1 juta ton. Pada saat itu rendemen mencapai 11.0%-13.8% dan ekspor 2.4 juta ton, sekarang industri gula Indonesia hanya didukung oleh 60 pabrik gula (PG) yang aktif yaitu 43 PG yang dikelola BUMN dan 17 PG yang dikelola oleh swasta (Dewan Gula Indonesia, 2000). Kekurangan persediaan gula nasional tersebut menyebabkan pemerintah mengimpor gula paling tidak sebesar 169 ribu ton pada tahun 1974, 1871.7 ribu ton pada tahun 1998 dan sebesar 1700 ribu ton pada tahun 2002. Impor gula dapat ditekan dengan melakukan usaha-usaha untuk meningkatkan produksi gula nasional (Gatot, 2005).

Pertumbuhan dan perkembangan tanaman termasuk tebu, dipengaruhi oleh banyak faktor dan merupakan sistem yang sangat kompleks. Penelitian agronomi untuk mengetahui pengaruh dari salah satu atau kombinasi faktor pertumbuhan yang selama ini dilakukan dengan pendekatan model statistika, seringkali hasilnya terbatas untuk diimplementasikan pada waktu dan tempat tertentu yang sesuai dengan berlangsungnya penelitian, sehingga ketika akan diterapkan pada tempat dan waktu yang lain diperlukan penelitian lagi.

Penelitian dalam jumlah, waktu, dan biaya yang banyak akan diperlukan untuk menjelaskan pengaruh dari banyak faktor tersebut pada tempat dan waktu yang berlainan. Untuk mengurangi tingkat kesulitan dalam melakukan penelitian dalam sistem yang kompleks tersebut, pemodelan (*modelling*) yang didefinisikan sebagai penyederhanaan suatu sistem dengan pendekatan mekanistik, dapat dijadikan sebagai alternatif pendekatan baik untuk pemahaman proses ekofisiologis maupun prediksi pertumbuhan, perkembangan, dan produksi tanaman (Handoko, 1994; Eriyatno, 2003; Suwanto, 2005). Artinya, pemodelan pertumbuhan yang dibangun dapat digunakan untuk memprediksi produksi dengan tingkat kepercayaan yang tinggi.

Iklim berpengaruh besar terhadap pertumbuhan dan hasil serta rendemen tebu. Tanaman tebu tumbuh baik pada daerah beriklim panas di daerah tropis dan sub tropis sampai garis isothermal 20°C antara 35°LU-35°LS. Sinar matahari yang cukup selalu dibutuhkan tebu baik pada perumbuhan dan perkembangan dan tebu dianggap sebagai spesies pencinta cahaya (Sigit, 2006). Daerah beradiasi matahari tinggi mempunyai produksi tebu dan persentase gula lebih tinggi dibandingkan dengan daerah beradiasi rendah. Kondisi iklim yang ideal bagi tanaman tebu adalah cuaca panas yang panjang pada masa pertumbuhan dengan curah hujan yang cukup, hampir kering dan sejuk tetapi bebas embun pada masa pemasakan dan panen.

Tebu dapat ditanam mulai dataran rendah sampai ketinggian 1000 m dpl, tetapi kebanyakan diusahakan pada dataran rendah (0-500 m dpl) dengan musim kering yang nyata. Pada daerah pegunungan yang suhu udaranya rendah, pertumbuhan lambat dan berendemen rendah. Tanaman tebu cocok ditanam pada daerah yang memiliki curah hujan di atas 200 mm per bulan selama 5-6 bulan, curah hujan 125 mm per bulan selama 2 bulan, dan curah hujan di bawah 75 mm per bulan selama 4-5 bulan. Kecepatan angin yang cocok adalah di bawah 10 km/jam, beda suhu minimum tidak boleh lebih dan 6°C, pH tanah yang baik berada pada selang 5.5=7.0 (Sigit 2006). Pemodelan pertumbuhan dan produksi tanaman tebu diuraikan sebagai berikut:

Sub-model perkembangan disusun berdasarkan laju perkembangan masing-masing kejadian fenologi didekati dengan konsep *thermal unit* mengasumsikan faktor panjang hari tidak berpengaruh. Laju perkembangan tanaman terjadi bila suhu rata-rata harian ( $T_r$ ) melebihi suhu dasar ( $T_b$ ) (Handoko, 2005). Hubungan dituliskan sebagai berikut:

$$s = \frac{\sum (T_r - T_b)}{TU} \quad \text{atau} \quad ds = \frac{(T_r - T_b)}{T_b} \quad T_r > T_b \dots\dots\dots (1)$$

$$ds = 0, T_r \leq T_b$$

Dimana: TU = *thermal unit* (°C);  $T_{r_i}$  = suhu rata-rata harian hari ke-i ; i = 1, 2, 3... t (°C);  $T_b$  = suhu dasar tanaman (°C); s = fase perkembangan tanaman.

Kejadian fenologi tebu dari saat tanam sampai panen diberikan skala 0 - 1. Nilai s = 0 untuk saat tanam; berturut adalah 0 ; 0,2 ; 0,4 ; 0,6 ; 0,8 dan 1,00

S = 0	S = 0,2	S = 0,4	S = 0,6	S = 0,8	S = 1,00
Tanam	Emergence	Anakan Maks	Anakan Tetap	Batang Maks	Panen

Sub model pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesis kepada organ-organ tanaman (daun, batang, akar). Simulasi nilai produksi biomassa potensial dihitung berdasarkan efisiensi penggunaan radiasi surya yang ditersepsi tajuk tanaman berdasarkan Hukum Beer yakni :

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

$$\tau = e^{-kILD} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:  $Q_{int}$  = radiasi intersepsi ( $MJm^{-2}hari^{-1}$ );  $Q_s$  = radiasi surya di atas tajuk tanaman atau yang terukur di stasiun klimatologi ( $MJm^{-2}hari^{-1}$ );  $\tau$  = proporsi radiasi surya yang ditransmisikan; k = koefisien pemadaman tajuk tanaman; e = bilangan dasar logaritma (2,7183); ILD = Indeks luas daun.

Nilai k (parameter) berdasarkan nilai rata-rata selama satu hari, selanjutnya dirata-ratakan selama musim pertumbuhan. Produksi biomassa potensial (Bp) diasumsikan bahwa ketersediaan air bukan faktor pembatas. Perhitungan produksi biomassa potensial (Bp):

$$Bp = LUE \times Q_{int} \dots\dots\dots (4)$$

$$Bp = LUE \times (1 - e^{-kILD}) \times Q_s \dots\dots\dots (5)$$

Dimana: Bp = produksi biomassa potensial (kg Ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>); LUE = efisiensi penggunaan cahaya (kg MJ<sup>-1</sup>). Perhitungan biomassa aktual (Ba):

$$Ba = wdf \times Bp \dots\dots\dots (6)$$

$$wdf = \frac{T_a}{T_m} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana: Ba = produksi biomassa aktual (kg Ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>); wdf = faktor ketersediaan air; Ta = transpirasi aktual; Tm = transpirasi maksimum.

Produksi biomassa aktual ditranslokasikan ke daun, batang, akar:

$$dW_x = \eta_x \times (Ba - R_g - R_m) \dots\dots\dots (8)$$

$$dW_x = \eta_x \times [(Ba - (1 - k_g)) - (k_m \times W_x \times Q_{10})] \dots\dots\dots (9)$$

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

$$R_{m_x} = k_m \times W_x \times Q_{10} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana: dW<sub>x</sub> = penambahan massa organ x (kg Ha<sup>-1</sup>hari<sup>-1</sup>); η<sub>x</sub> = proporsi biomassa dialokasikan ke organ x (daun, batang, akar); Ba = produksi biomassa aktual (kg Ha<sup>-1</sup>d<sup>-1</sup>); R<sub>g</sub> = respirasi pertumbuhan (kg Ha<sup>-1</sup>hari<sup>-1</sup>); R<sub>m</sub> = respirasi pemeliharaan (kg Ha<sup>-1</sup>hari<sup>-1</sup>); k<sub>g</sub> = koefisien respirasi pertumbuhan; k<sub>m</sub> = koefisien respirasi pemeliharaan; W<sub>x</sub> = massa organ x (kg Ha<sup>-1</sup>); T = temperatur udara; Q<sub>10</sub> = kuosien temperatur.

Simulasi nilai indeks luas daun dilakukan berdasarkan indeks luas daun (ILD) yang merupakan fungsi dari parameter luas daun spesifik (SLA) dan laju perubahan massa daun (dW<sub>L</sub>). Perubahan ILD (dILD) dihitung dengan persamaan berikut:

$$dILD = SLA \times dW_L \dots\dots\dots (12)$$

Dimana : dILD = perubahan indeks luas daun; SLA = luas daun spesifik (Ha kg<sup>-1</sup>); dW<sub>L</sub> = perubahan massa daun (kg Ha<sup>-1</sup>hari<sup>-1</sup>).

Sub model neraca air mensimulasi komponen-komponen neraca air sebagaimana uraian berikut:

Simulasi nilai intersepsi air hujan oleh tajuk tanaman dengan asumsi bahwa jumlah air yang ditersepsi air hujan oleh tajuk tanaman (Ic) tergantung dari curah hujan (P) dan indeks luas daun (ILD) sebagai berikut:

$$Ic = \min (ILD, P); 0 \leq ILD \leq 3 \dots\dots\dots (13)$$

$$Ic = \min (1,27, P); ILD > 3 \dots\dots\dots (14)$$

Simulasi nilai infiltrasi dan perkolasi dengan asumsi bahwa infiltrasi (Is) merupakan selisih curah hujan (P) atau irigasi (Ir) dan intersepsi tajuk tanaman (Ic) dengan persamaan sebagai berikut :

$$Is = P^* - Ic \dots\dots\dots (15)$$

$$Is = P - Ir - Ic \dots\dots\dots (16)$$

Jika KAT > KL, maka terjadi perkolasi ke lapisan tanah 2 sampai KAT = KL, yaitu:

$$P_{c_t} = KAT1_t - KL1, KAT1_t > KL1 \dots\dots\dots (17)$$

$$KAT1_t = KL1, KAT1_t > KL1 \dots\dots\dots (18)$$

$$P_{c_t} = 0, KAT1_t \leq KL1$$

Simulasi nilai evapotranspirasi potensial (ET<sub>m</sub>/ET<sub>p</sub>) menggunakan metode Penman (1948), yaitu:

$$ET_m(ETP) = [\Delta Q_n + \gamma \int(u)(e_s - e_a)] / [\lambda(\Delta + \gamma)] \dots\dots\dots (19)$$

$$E_m = ET_m \times (e^{-kILD}) \dots\dots\dots (20)$$

$$T_m = ET_m - E_m \dots\dots\dots (21)$$

Dimana:  $\Delta$  = kemiringan kurva hubungan antara tekanan uap air jenuh dan suhu udara ( $\text{PaK}^{-1}$ );  $Q_n$  = radiasi netto ( $\text{Wm}^{-2}$ );  $\gamma$  = tetapan psikometer ( $66,1 \text{ Pa}^\circ\text{C}^{-1}$ );  $f(u)$  = fungsi aerodinamik ( $\text{MJm}^{-2}\text{Pa}^{-1}$ );  $e_s - e_a$  = defisit tekanan uap air (Pa);  $\lambda$  = panas spesifik untuk penguapan ( $2,454 \text{ MJkg}^{-1}$ );  $E_m$  = evaporasi maksimum;  $T_m$  = transpirasi maksimum;  $E_{tm}$  (ETP) = evapotranspirasi maksimum.

Akar menggunakan air tanah pertama-tama dari lapisan teratas jika  $T_a < T_m$ . Akar akan mengabsorpsi air pada tiap kedalaman tanah ( $Tr_1$  atau  $Tr_2$ ), jika KAT lebih besar dari TLP dan peningkatan KL dimana laju  $T_m$  juga sama. Perhitungan penggunaan air oleh akar pada 2 kedalaman/lapisan tanah:

$$Tr_1 = T_m, KAT_1 \geq KL_1 \dots\dots\dots (22)$$

$$Tr_1 = T_m \times (KAT_1 - TLP_1) / (KL_1 - TLP_1), TLP_1 < KAT_1 < KL_1 \dots\dots\dots (23)$$

$$Tr_1 = 0, KAT_1 \leq TLP_1 \dots\dots\dots (24)$$

$$Tr_2 = T_m, KAT_2 \geq KL_2 \dots\dots\dots (25)$$

$$Tr_2 = T_m \times (KAT_2 - TLP_2) / (KL_2 - TLP_2), TLP_2 < KAT_2 < KL_2 \dots\dots\dots (26)$$

$$Tr_2 = 0, KAT_2 \leq TLP_2 \dots\dots\dots (27).$$

Transpirasi ( $T_a$ ) dihitung berdasarkan jumlah penggunaan air oleh akar:

$$T_a = Tr_1 + Tr_2 \dots\dots\dots (28)$$

Ketika  $T_a$  dibatasi oleh  $T_m$ , akar pertama menyerap air pada lapisan pertama kemudian  $Tr_2$  dan  $T_a$  dihitung kembali jika  $T_a > T_m$ :

$$Tr_2 = T_m - Tr_1, T_a > T_m \dots\dots\dots (29)$$

$$T_a = T_m, T_a > T_m \dots\dots\dots (30)$$

Neraca air tanah pada lapisan pertama dihitung:

$$KAT_{1t} = KAT_{1t-1} + Inf_t - Ea_t - Tr_{1t} \dots\dots\dots (31)$$

Dimana :  $t$  = waktu

Seperti neraca air tanah pada lapisan tanah 2 maka drainase dihitung:

$$KAT_{2t} = KAT_{2t-1} + Pc_t - Tr_{2t} \dots\dots\dots (32)$$

$$Dr_t = KAT_{2t} - KL_2, KAT_{2t} > KL_2 \dots\dots\dots (33)$$

$$KAT_{2t} = KL_2, KAT_{2t} > KL_2 \dots\dots\dots (34)$$

$$Dr_t = 0, KAT_{2t} \leq KL_2 \dots\dots\dots (35)$$

Dengan pendekatan yang sama, pemodelan pertumbuhan tanaman tebu diharapkan dapat digunakan sebagai alat untuk memprediksi produksi tebu sekaligus produksi gula di suatu wilayah pengembangan. Tujuan penelitian ini adalah menyusun model simulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu, menyusun alat bantu (*tools*) dalam merencanakan upaya mengoptimalkan produktivitas tebu serta memprediksi produktivitas tebu dan gula.

## BAHAN DAN METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Kabupaten Kotabumi Lampung. Kegiatan dimulai pada bulan Juni 2008 berakhir Juli 2009. Bahan dalam penelitian ini data iklim selama 2 tahun (2008 sampai dengan 2009), data tanah, data hasil pemupukan, data agronomis tebu. Alat dalam penelitian ini yakni alat pengukur curah hujan tipe observatorium, Illuminance meter TL-1 untuk mengukur radiasi datang, bor belgi, ring sample, timbangan digital dan oven

Penelitian ini menggunakan metode analisis sistem atau model simulasi tanaman yang didukung percobaan lapang. Model dibangun berdasarkan peubah dan parameter yang diperoleh dari data sekunder maupun dari percobaan (Gambar 1). Model selanjutnya dilakukan uji validasi pendahuluan. Tahapan kegiatan penelitian terdiri atas 4 tahap yaitu penyusunan konsep model, penentuan nilai peubah dan parameter input model, penyusunan model simulasi, kalibrasi dan pengujian model. Perlakuan yang dicobakan adalah :

N1 = 90 kg/ha, setara 214 kg Urea/ha; P1 = 36 kg/ha setara 100 kg SP36/ha

N2 = 135 kg/ha, setara 320 kg Urea/ha; P2 = 72 kg/ha setara 200 kg SP36/ha

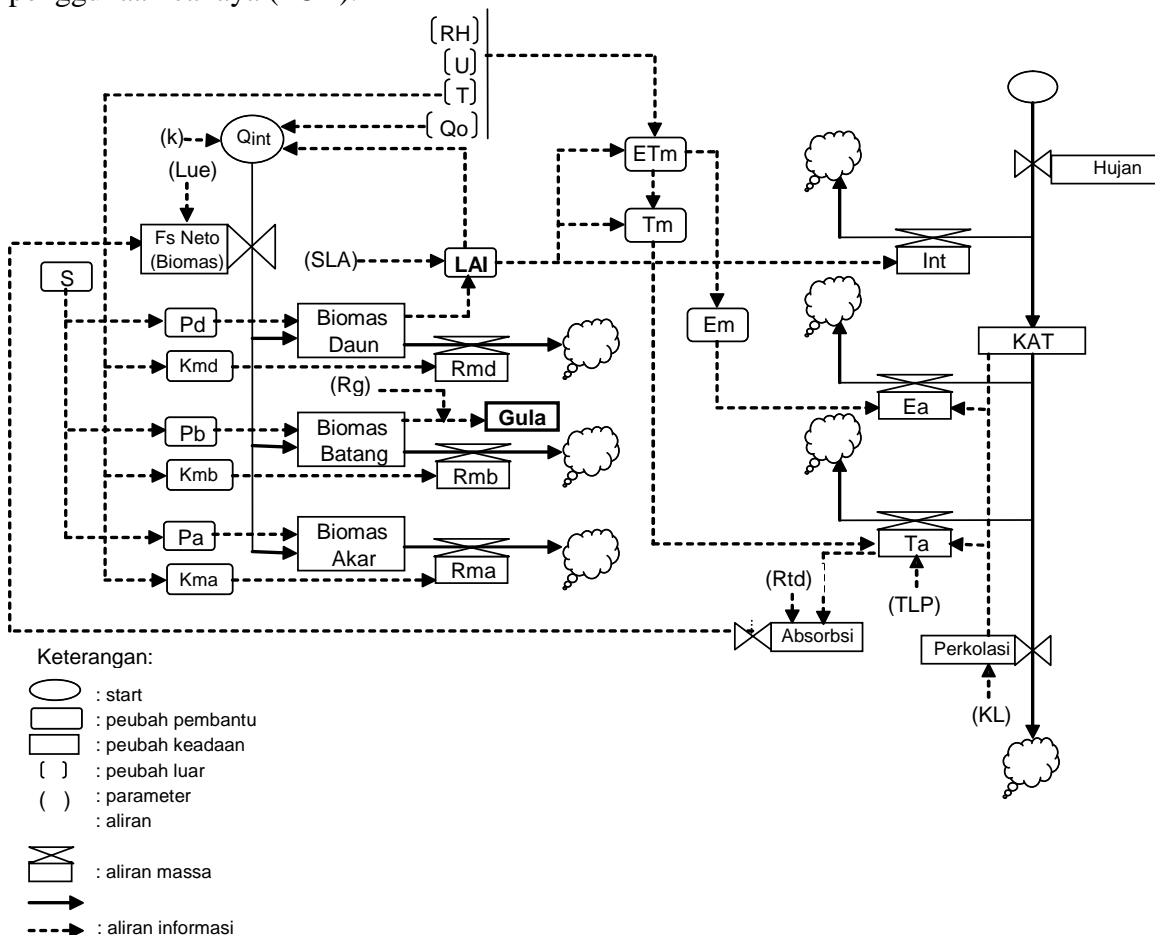
N3 = 180 kg/ha, setara 428 kg Urea/ha; P3 = 108 kg/ha setara 300 kg SP36/ha

N4 = 225 kg/ha, setara 536 kg Urea/ha; P4 = 144 kg/ha setara 400 kg SP36/ha

Total unit percobaan  $4 \times 4 = 16$  perlakuan dan diulang 3 kali sehingga terdapat  $3 \times 16 = 48$  petak percobaan. Ukuran petak percobaan adalah  $15 \text{ m} \times 13 \text{ m} = 195 \text{ m}^2$  atau total lahan efektif =  $9360 \text{ m}^2$  untuk seluruh petak percobaan.

### Penentuan Nilai Peubah dan Parameter Input Model

Peubah dan parameter pertumbuhan tanaman tebu yang diukur meliputi jumlah anakan, jumlah daun per tanaman, panjang atau tinggi batang, diameter batang, bobot kering organ tanaman (daun, batang dan akar), rendemen tebu, koefisien pemadaman ( $k$ ), luas daun spesifik (*specific leaf area* =  $SLA$ ), indeks luas daun ( $ILD$ ), koefisien partisi ( $p$ ), dan efisiensi penggunaan cahaya ( $LUE$ ).



Gambar 1. Diagram forester konsep model perkembangan dan produksi tanaman tebu

Peubah cuaca yang meliputi radiasi surya datang ( $Q_s$ ), curah hujan (*Hujan*), suhu ( $T$ ), kelembaban nisbi ( $RH$ ), kecepatan angin ( $U$ ), lama penyinaran, dan panjang hari dikumpulkan dari Stasiun Klimatologi yang terdekat dengan lokasi percobaan lapang. Data dikumpulkan dengan resolusi harian. Selanjutnya, data yang diperoleh dikonversi ke satuan yang sesuai untuk kebutuhan pemodelan tanaman. Berbagai peubah dan parameter yang menggambarkan keadaan fisik tanah sebagai input model dan output untuk validasi model adalah bobot jenis tanah, kadar air kapasitas lapang, kadar air titik layu permanen, dan kadar air tanah. Keadaan kimia tanah juga diperlukan untuk mengetahui tingkat kesuburan dan kesesuaiannya bagi tanaman tebu.

Fase perkembangan tebu dibedakan atas fase saat tanam, fase muncul lapang/berkecambah (*emergence*), fase anakan maksimum, fase *steady*, fase pertumbuhan maksimum/diameter maksimum, dan fase panen. Untuk tercapainya setiap fase perkembangan tersebut dibutuhkan sejumlah unit panas/*thermal unit* ( $TU$ ) tertentu. Unit panas ini merupakan fungsi dari suhu harian dan waktu yang pada akhirnya akan menentukan umur

tanaman (hari) untuk setiap fase perkembangan. Untuk itu perlu dicatat tanggal atau umur kejadian dari masing-masing fase. Output dari pengukuran kejadian fase fenologi ini adalah parameter yang berupa nilai unit panas (*thermal unit*) untuk masing-masing fase fenologi.

Kalibrasi model didasarkan pada percobaan lapang. Keluaran masing-masing sub model akan dievaluasi berdasarkan data hasil percobaan lapang (observasi) dan selanjutnya perbaikan parameter akan dilakukan jika diperlukan. Model simulasi diuji tingkat realistiknya dengan mencoba memasukkan nilai parameter pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu. Seri data output peubah keadaan dari model dengan data yang dikumpulkan di lapangan dapat dibandingkan dengan metode tabel, grafik, dan statistik (atau *pseudostatistik*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spesifikasi Keadaan Agroklimat Wilayah Penelitian

Rancang plot percobaan lapangan dengan perlakuan pemupukan nitrogen (N) dan fosfor (P) telah dilakukan di Rayon II Afdeling 7 Kebun Bunga Mayang PTPN 7 Kabupaten Lampung Utara, Provinsi Lampung dengan letak lintang  $04^{0}50'$  LS dan  $104^{0}52'$  BT dengan ketinggian tempat 38 mdpl. Varietas tebu yang digunakan adalah Kidang Kencana. Berdasarkan hasil analisis tanah pada awal penelitian menunjukkan bahwa tanah pada lokasi penelitian tergolong agak masam dengan pH 5.6. Kemasaman tanah seperti ini masih optimum untuk pertumbuhan tebu. Menurut Sundara (1998) tanaman tebu masih dapat toleran pada kisaran pH 5-8,5. Kandungan N-total, Na dan KTK dalam tanah tergolong sangat rendah. Kandungan Ca, Mg, dan K tergolong rendah. Kandungan P tergolong sangat tinggi.

Curah hujan dari bulan Juli 2008 hingga bulan Agustus 2009 sebesar 1280 mm. Kondisi suhu pada bulan-bulan tersebut sebesar  $27^{\circ}\text{C}$ . Menurut Sundara (1998) tebu dapat beradaptasi baik pada curah hujan rata-rata 1200 mm/tahun dan pertumbuhan optimum tanaman tebu dicapai pada suhu  $24-30^{\circ}\text{C}$ . Secara umum, kondisi lingkungan pada saat penelitian sesuai untuk pertumbuhan tanaman tebu.

### Konsep Model Perkembangan dan Pertumbuhan Tanaman Tebu

Model yang diajikan acuan dalam menyusun konsep model perkembangan dan pertumbuhan tanaman tebu adalah Model Shierary (Handoko, 1994). Model Shierary disusun atas sub model berupa : sub model perkembangan tanaman, sub model pertumbuhan tanaman dan sub model neraca air tanaman.

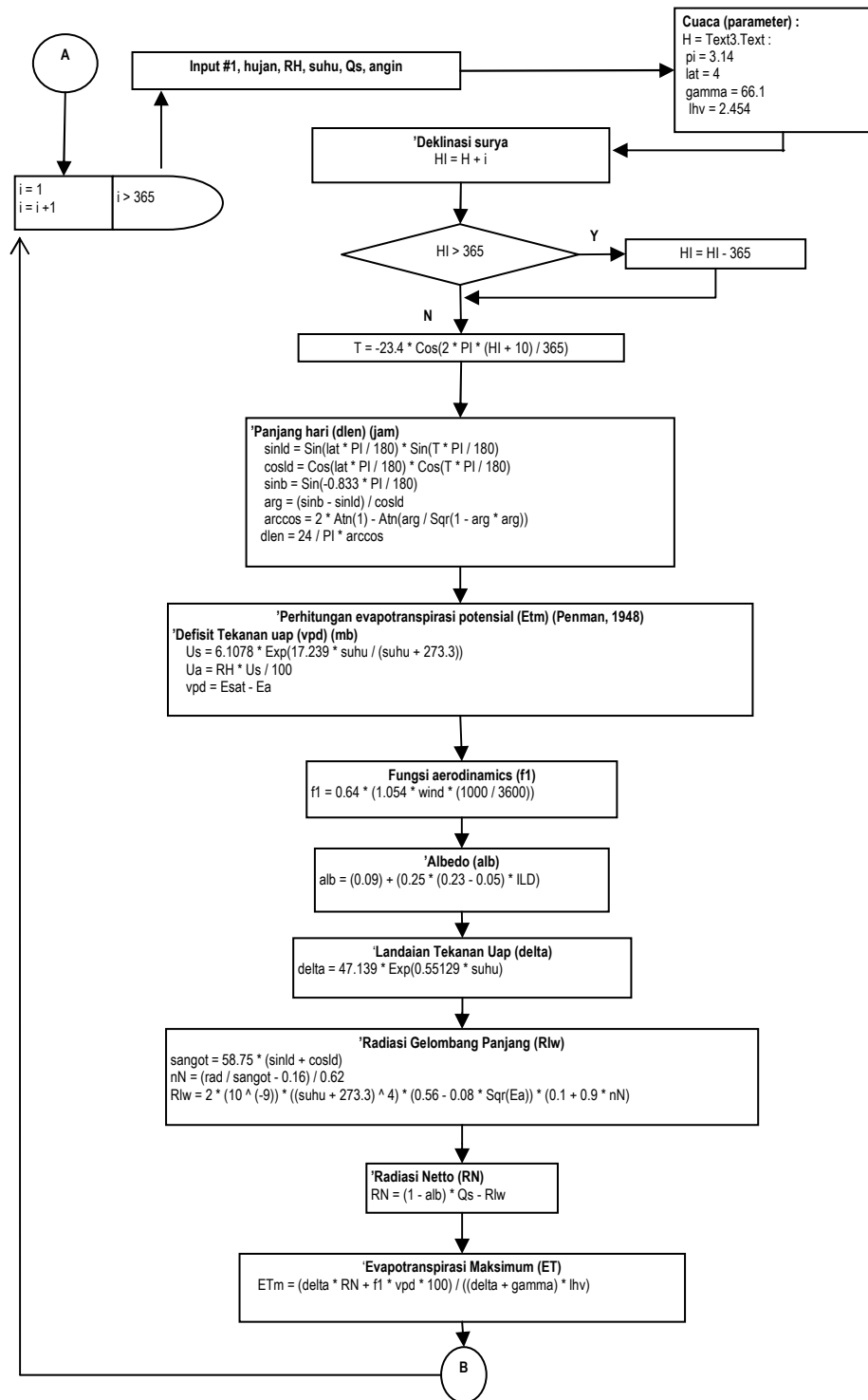
#### 1. Sub Model Perkembangan Tebu

Fase perkembangan tanaman (s) sebagai peubah pembantu dalam menentukan distribusi bahan kering total ke masing-masing organ tanaman tebu dimodelkan berdasarkan varietas. Laju perkembangan tanaman (s) berbanding lurus dengan suhu rata-rata ( $T_r$ ) di atas suhu dasar tanaman ( $T_b$ ). Suhu dasar tanaman tebu berkisar antara  $10-12^{\circ}\text{C}$  (Martine *et al.* 1998).

#### 2. Sub Model Pertumbuhan Tebu

Sub model pertumbuhan mensimulasi aliran biomassa hasil fotosintesis ke organ-organ tanaman serta kehilangannya berupa respirasi organ. Fotosintesis terjadi apabila stomata terbuka sehingga memungkinkan adanya difusi  $\text{CO}_2$ . Stomata terbuka karena terjadi transpirasi atau faktor ketersediaan air (wdf) memiliki nilai  $0 < \text{wdf} \leq 1$ . Pertumbuhan tanaman ditentukan oleh jumlah radiasi yang diintersepsi (Qint), efisiensi penggunaan cahaya (LUE) serta faktor ketersediaan air (wdf).

Persentase penambahan biomassa ke masing-masing organ sangat tergantung dari parameter koefisien partisi (p) tiap organ. Sebagian biomassa di masing-masing organ akan berkurang oleh adanya respirasi pertumbuhan dan respirasi pemeliharaan. Nilai parameter koefisien respirasi pemeliharaan (km) untuk masing-masing organ tanaman tebu yakni km akar = 0.01 ; km batang 0.01 ; km daun =  $0.03 \text{ kg kg}^{-1}\text{hari}^{-1}$ .

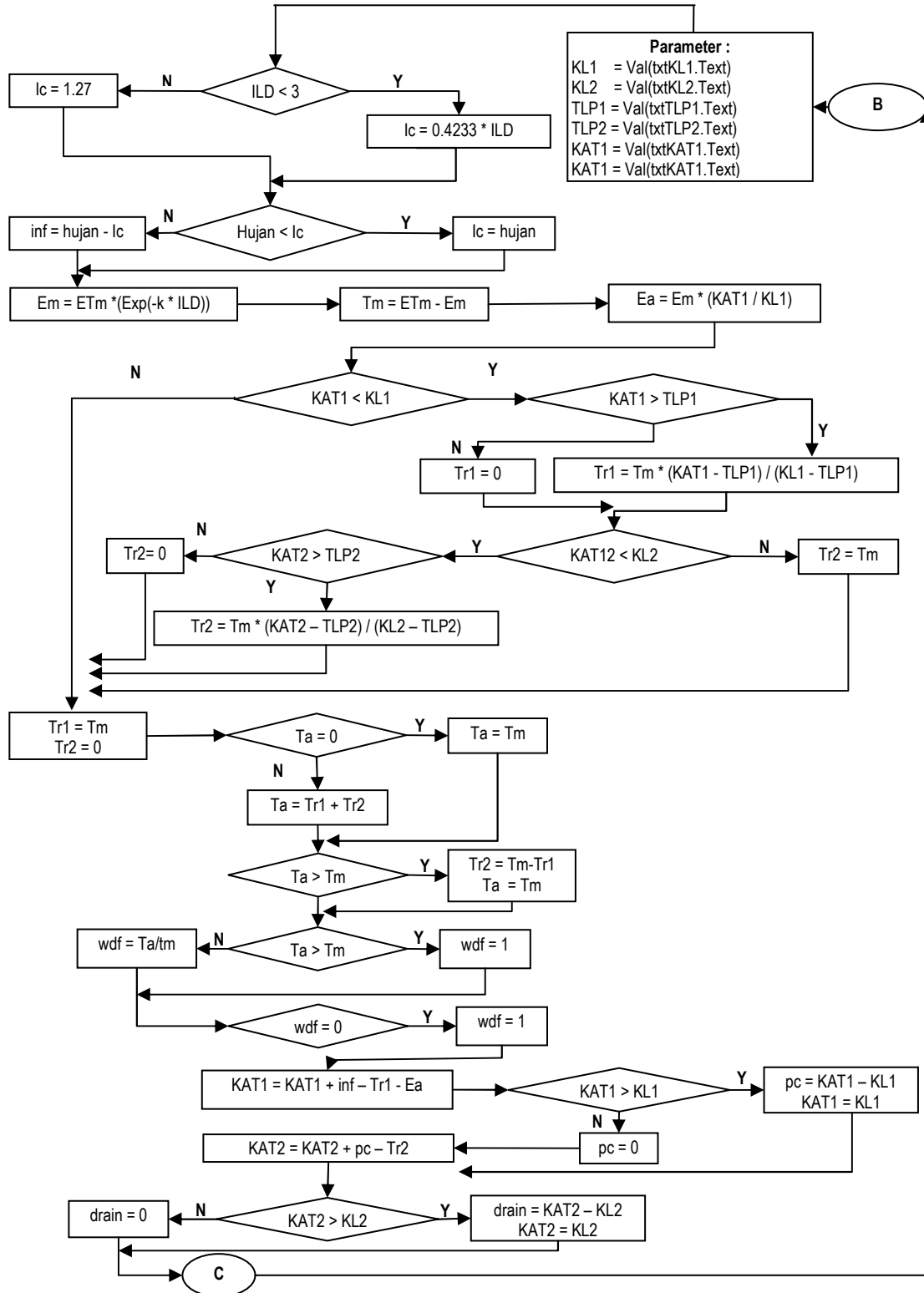


Gambar 2. Diagram Alir (Flowchart) Model Perkembangan dan Pertumbuhan Tebu

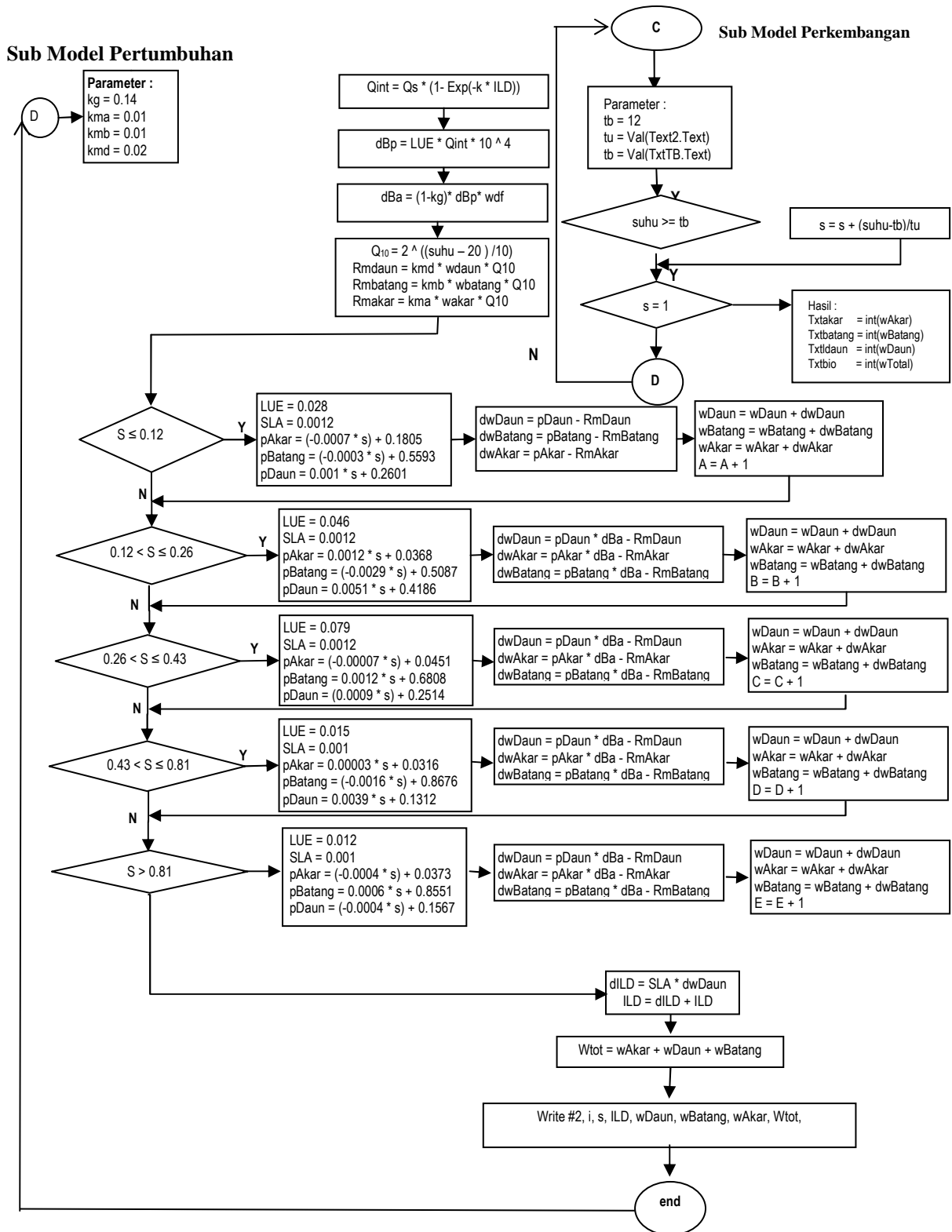
### 3. Sub Model Neraca Air Tebu

Input utama bagi sub model neraca air ini adalah curah hujan, irigasi tidak diberikan. Intersepsi air hujan oleh tajuk merupakan fungsi curah hujan dan indeks luas daun (ILD). Semakin tinggi ILD, jumlah air hujan yang diintersepsi oleh tajuk meningkat sampai batas maksimum tertentu. ILD bernilai 3 merupakan batas minimal untuk terjadinya intersepsi tajuk maksimum dengan nilai 1,27 mm (Gambar 2).

**Sub Model Neraca Air (Lanjutan)**







### Peubah dan Parameter Tanah

Hasil analisis contoh tanah, terutama pada karakteristik fisika merupakan input dalam sub-model neraca air, sedangkan karakteristik kimia adalah untuk pemenuhan persyaratan tumbuh optimum bagi tanaman. Contoh tanah diambil pada dua kedalaman yaitu 0 – 20 cm dan 20 - 40 cm dari permukaan tanah. Tanah di lokasi percobaan memiliki bobot jenis (*bulk density*) yang berbeda antara tanah di lapisan atas (0 – 20 cm) dan di lapisan bawah (20 - 40 cm), masing-masing  $1,41 \text{ g cm}^{-3}$  dan  $1,47 \text{ g cm}^{-3}$  (Tabel 1). Perbedaan bobot jenis ini sangat dimungkinkan karena tanah di lapisan atas lebih banyak bahan organik dibandingkan tanah di lapisan bawah. Porositas tanah yang lebih tinggi pada tanah di lapisan atas (40,40%) dari

pada tanah di lapisan bawah (38,33%) juga merupakan indikasi tanah di lapisan atas lebih gembur dan mengandung bahan organik lebih banyak. Nilai KL dan TLP untuk masukan model pada dua kedalaman, yaitu KL 1 = 57,8 mm, TLP 1 = 35,6 mm, KL 2 = 120,4 mm, TLP 2 = 86 mm.

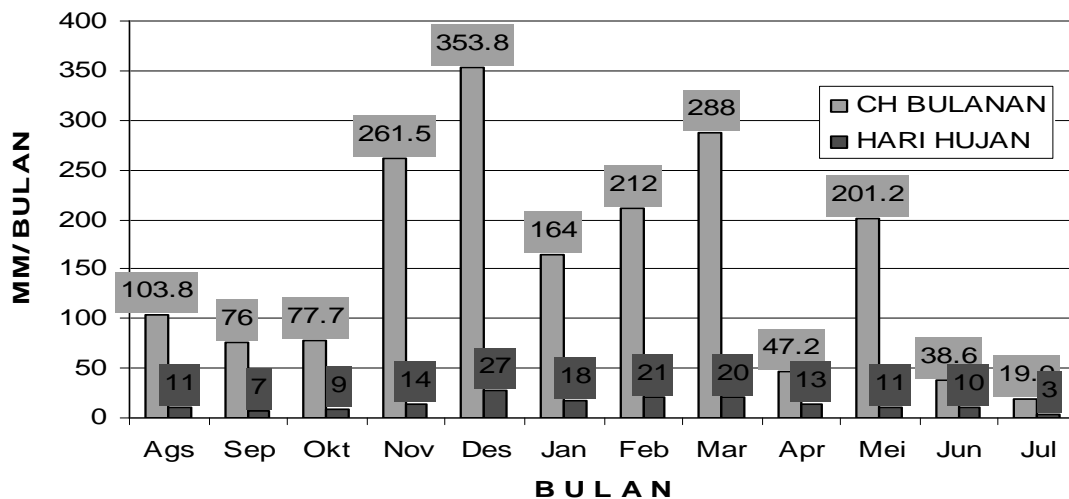
Tabel 1. Nilai Parameter dan Peubah Fisik Tanah di Lokasi Percobaan\*)

Parameter	Kedalaman tanah	
	0 – 20 cm	20 – 40 cm
Bobot jenis (g cm <sup>-3</sup> )	1,41	1,47
Kapasitas lapang (% vol; mm)	(23,87 : 33,86)	(26,13 : 35,55)
Titik layu permanen (% vol; mm)	(13,93 : 19,76)	(17,20 : 23,40)
Porositas (% vol)	40,40	33,38

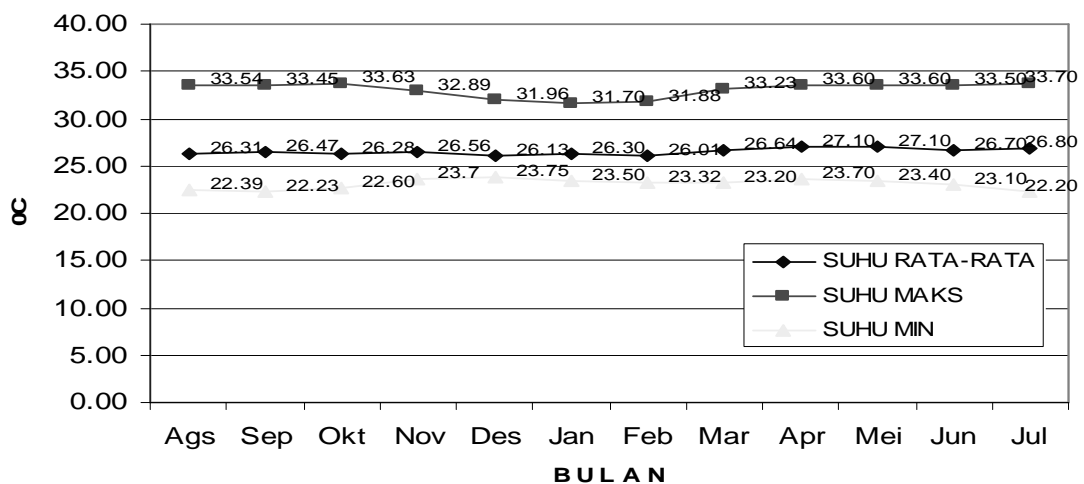
\*) nilai-nilai berasal dari rata-rata 3 blok lahan percobaan.

### Peubah Iklim

Unsur iklim yang akan digunakan sebagai input model adalah suhu, kelembaban nisbi, curah hujan, kecepatan angin, dan radiasi. Keempat unsur iklim yang pertama tersedia di Badan Meteorologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Kotabumi. Stasiun ini terletak lebih kurang 40 km dari lokasi percobaan. Radiasi matahari akan diduga dari data lama penyinaran yang dicatat oleh stasiun tersebut. Data dikumpulkan harian untuk jangka waktu 2 tahun, yaitu tahun 2008 sampai 2009.



Gambar 3. Curah hujan dan hari hujan selama percobaan lapang



Gambar 4. Suhu Bulanan Selama Percobaan Lapang

## Parameter Perkembangan dan Pertumbuhan Tanaman Tebu

### 1. Parameter Perkembangan

Laju perkembangan tanaman tebu terjadi bila suhu rata-rata harian ( $T_r$ ) melebihi suhu dasar ( $T_b$ ) tebu yakni berkisar  $10 - 12^{\circ}\text{C}$  (Martine *et al.* 1998).

Tabel 2. Nilai *thermal unit* (TU) tiap fase perkembangan tebu

Fase Perkembangan	Nilai TU ( $^{\circ}\text{C}$ hari)	Tanggal
Tanam-Emergence (muncul lapang)	584,1	20/8/2008-29/9/2008
Emergence-Anakan Maks	645,8	30/9/2008-13/11/2008
Anakan Maks-Anakan Tetap	820,2	14/11/2008-9/1/2009
Anakan Tetap-Batang Maksimum	1765,8	10/1/2009-10/5/2009
Batang Maksimum-Panen	873,3	11/5/2009-8/7/2009

### 2. Parameter Pertumbuhan

#### a. Efisiensi Penggunaan Cahaya

Nilai LUE tebu yang diukur pada periode waktu atau fase berupa dari fase tanam ke emergence, emergence ke anakan maksimum, anakan maksimum ke anakan tetap, anakan tetap ke batang maksimum, batang maksimum ke panen disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Nilai efisiensi penggunaan cahaya tiap fase perkembangan tebu

Fase Perkembangan	Nilai LUE ( $\text{kg MJ}^{-1}$ )	Tanggal
Tanam-Emergence (muncul lapang)	0,028	20/8/2008-29/9/2008
Emergence-Anakan Maks	0,046	30/9/2008-13/11/2008
Anakan Maks-Anakan Tetap	0,079	14/11/2008-9/1/2009
Anakan Tetap-Batang Maksimum	0,015	10/1/2009-10/5/2009
Batang Maksimum-Panen	0,012	11/5/2009-8/7/2009

#### b. Luas Daun Spesifik (SLA)

Nilai SLA yang digunakan sebagai parameter input model adalah nilai rata-rata SLA yang diukur pada tiap fase perkembangan tebu.

Tabel 4. Nilai luas daun spesifik (SLA) tebu

Peubah	Emergence	anakan maksimum	anakan tetap ...ha/kg...	batang maksimum	panen
SLA	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010

#### c. Koefisien Partisi (p)

Dalam model pertumbuhan, penambahan bahan kering total harian dipartisikan ke berbagai organ tanaman mengikuti fungsi/tahapan perkembangan tanaman (s). Koefisien partisi menyatakan proporsi atau fraksi bahan kering yang dialokasikan ke suatu organ pada fase perkembangan tertentu.

Tabel 5. Persamaan koefisien partisi (p) bahan kering ke organ tanaman tebu menurut fase perkembangannya

Varietas	Fase perkembangan	Koefisien partisi
Kidang Kencana	Fase tanam-emergence; $s \leq 0.12$	pA = $- 0.0007 s + 0.1805$ pB = $- 0.0003 s + 0.5593$ pD = $0.001 s + 0.2601$
	Fase emergence-anakan maksimum; $0.12 < s \leq 0.26$	pA = $0.0012 s + 0.0368$ pB = $- 0.0029 s + 0.5087$ pD = $0.0051 s + 0.4186$
	Fase anakan maksimum-anakan Tetap; $0.26 < s \leq 0.43$	pA = $- 0.00007 s + 0.0451$ pB = $0.0012 s + 0.6808$ pD = $0.0009 s + 0.2514$

Varietas	Fase perkembangan	Koefisien partisi
	Fase anakan tetap-batang maksimum; $0.43 < s \leq 0.81$	$pA = 0.00003 s + 0.0316$ $pB = -0.0016 s + 0.8676$ $pD = 0.0039 s + 0.1312$
	Fase batang maksimum-panen; $s > 0.81$	$pA = -0.0004 s + 0.0373$ $pB = 0.0006 s + 0.8551$ $pD = -0.0004 s + 0.1567$

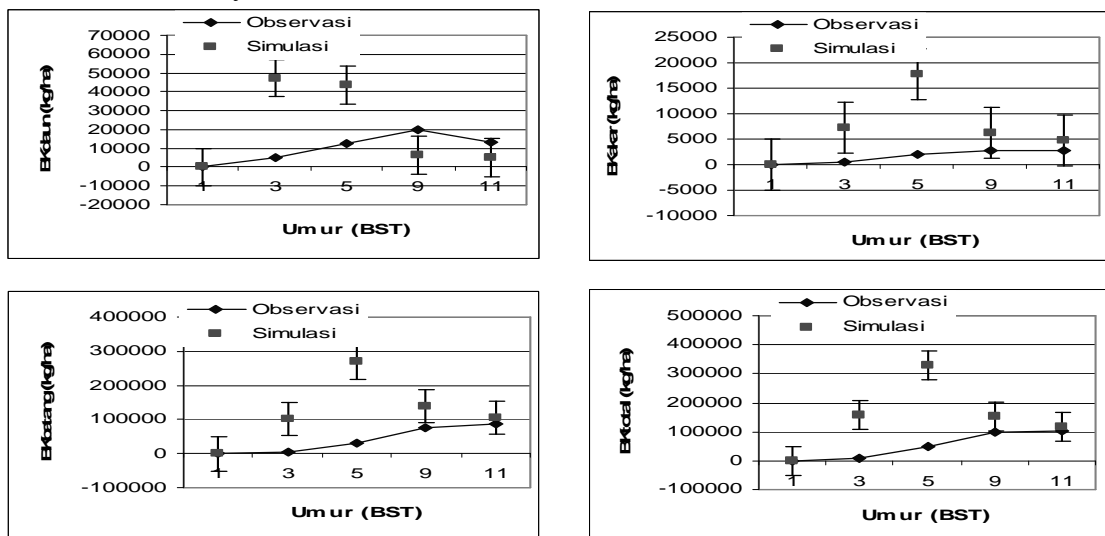
d. Koefisien Respirasi Pemeliharaan (km)

Koefisien respirasi pemeliharaan dihitung berdasarkan suhu udara dan massa masing-masing organ. Nilai parameter koefisien respirasi pemeliharaan (km) untuk masing-masing organ tanaman tebu yakni  $k_{makar} = 0.01$  ;  $k_{mbatang} 0.01$  ;  $k_{mdaun} = 0.03 \text{ kgkg}^{-1}\text{hari}^{-1}$  (Kropff and Laar, 1993).

**Model Simulasi Perkembangan dan Pertumbuhan Tanaman Tebu**

Model yang dibangun digunakan untuk mensimulasi perkembangan dan pertumbuhan tanaman tebu. Pilihan faktor pemupukan dimasukkan sebagai input dalam model simulasi. Peubah luar meliputi radiasi, suhu, kelembaban udara, curah hujan dan kecepatan angin dengan resolusi harian. Output model ditetapkan yang memiliki keterkaitan dengan perkembangan, pertumbuhan, produksi dan nerca air. Output sub model pertumbuhan tanaman tebu berupa biomassa/bobot kering total, batang, akar, daun. Output sub model perkembangan berupa waktu kejadian fenologi tanaman sedangkan output sub model neraca air berupa KAT, ETm, Ta dan Ea.

Perbandingan hasil simulasi dan observasi untuk peubah pertumbuhan dan produksi tanaman tebu (BKdaun, BKbatang, BKakar dan BKtotal) disajikan pada Gambar 5. Pertumbuhan tanaman tebu yang ditunjukkan oleh BK akar, BK batang, BK daun dan BK total menurut umur dari hasil simulasi memiliki pola/tren yang relatif sama dengan kurva observasi akan tetapi pada tahap awal hingga pertengahan perkembangan polanya masih jauh dari kurva observasi kemudian pada tahap akhir sudah relatif memiliki kecenderungan yang sama dimana hasil simulasi produksi biomassa batang tebu yang dipanen  $\pm 100 \text{ ton/ha}$  sedangkan hasil observasi  $\pm 85 \text{ ton/ha}$ , produksi biomassa total 115 ton/ha sedangkan hasil observasi 101 ton/ha. Nilai peubah awal hingga pertengahan hasil simulasi masih jauh dari kurva observasi tapi di akhir hasil simulasi telah berada dalam kisaran nilai satu kali standar deviasi dari rata-ratanya.



Gambar 5. Kurva pertumbuhan (BK organ) tanaman tebu antara observasi dan simulasi (1 kali standar deviasi).

## KESIMPULAN

Konstruksi model simulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu telah mampu mensimulasi dan menggambarkan perkembangan dan pertumbuhan tanaman tebu seperti yang ditunjukkan oleh hasil pengamatan lapangan (observasi). Hal ini terealisasi dengan hasil simulasi untuk produksi biomassa batang tebu yang dipanen  $\pm 100$  ton/ha sedangkan hasil observasi  $\pm 85$  ton/ha (hasil simulasi telah berada dalam kisaran nilai satu kali standar deviasi dari rata-ratanya).

Model simulasi pertumbuhan dan perkembangan tanaman tebu telah dapat dijadikan alat bantu (*tools*) dalam merencanakan upaya peningkatan produktivitas tebu serta memprediksi produksi tebu dan gula. Hal ini ditunjukkan dengan akurasi periode fenologi dan prediksi hasil simulasi yang relatif sesuai dengan hasil observasi lapang (simulasi hasil produksi biomassa total 115 ton/ha sedangkan hasil observasi 101 ton/ha).

## DAFTAR PUSTAKA

- Eriyatno. 2003. Ilmu sistem. meningkatkan mutu dan efektivitas manajemen jilid I. IPB Press, Bogor.
- Handoko, I. 1994. Dasar penyusunan dan aplikasi model simulasi komputer untuk pertanian. Jurusan Geofisika dan Meteorologi. FMIPA-IPB. Hal 112
- Handoko, I. 2005. Quantitative modeling of system dynamics for natural resources management. SEAMEO BIOTROP.
- Kropff, M. J and Laar, van H. H. 1993. Modelling crop-weed interactions. International Rice Research Institute (IRRI). Manila Philippines
- Martine, J. F., P. Siband., R. Bonhomme. 1999. Simualtion of the maximum yield of sugarcane at different altitudes: Effect of temperature on the conversion of radiation into biomass. *J. Agronomic* 19: 3-12 p.
- Penman, H. L. 1948. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. Proc. Roy. Soc. London, A193, 120 – 146.
- Sigit, P. 2006. Pendekatan precision farming dalam pemupukan NPK pada budidaya tebu (Studi kasus di PT Gula Putih Mataram). Disertasi. Sekolah Pasca Sarjana IPB. Bogor.
- Gatot, P. 2005. Pengolahan tanah optimum pada budidaya tebu lahan kering. Disertasi. Sekolah Pascasarjana. IPB. Bogor.
- Sundara, B. 1998. Sugarcane cultivation. First Edition. Vikas Publishing House Pvt Ltd, New Delhi. 292 p.
- Suwarto. 2005. Model pertumbuhan dan produksi jagung dalam tumpang sari dengan ubi kayu. Disertasi Sekolah Pasca Sarjana, IPB, Bogor.