

**PENINGKATAN RESAPAN AIR TANAH DENGAN SALURAN RESAPAN DAN RORAK
UNTUK MENINGKATKAN PRODUKTIVITAS BELIMBING MANIS
(STUDI KASUS DI KOTA DEPOK)**

**[INCREASING SOIL WATER RECHARGE WITH STORAGE CHANNEL AND "RORAK" TO
INCREASE STARFRUIT (AVERRHOA CARAMBOLA L) PRODUCTIVITY
(CASE STUDY IN DEPOK)]**

Oleh :

Yanto Surdianto^{*)}, Budi Indra Setiawan^{)}, Prastowo^{**)} dan Satyanto Krido Saptomo^{**)}**

^{*)} Mahasiswa S3 pada program Ilmu Keteknikan Pertanian SPs IPB

^{**)} Staf pengajar pada Departemen Teknik Sipil & Lingkungan IPB

Komunikasi penulis, email : y.surdianto@yahoo.com

Naskah ini diterima pada 01 Desember 2012; revisi pada 03 Januari 2012;
disetujui untuk dipublikasikan pada 28 Maret 2012

ABSTRACT

Problem faced by star fruit farmers in Depok, West Java, is water availability relying only on rainfed. Therefore, research related to water conservation technique for optimum utilization of rain water and runoff at the starfruit orchard was conducted. The objectives of the research were: 1) The relationship between rainfall, evapotranspiration with starfruit productivity, 2) To find out the effects of soil water absorption on starfruit productivity, and 3) To develop water balance analytical model without runoff for sweet starfruit orchard. In this experiment the water table was approximately 16 m from soil surface, no irrigation was used and water storage canals equipped with silt pits were constructed so that runoff component and contribution of water capillarity movement were zero. The research results showed that: 1) The rainfall and evapotranspiration had influence on the starfruit productivity; 2) The relatively high rainfall followed by high soil water content at the rooting zone, ranging from 0,429 to 0,458 m³/m³, enabled the star fruit to have year-round production with four times harvesting; 3) The water balance analytical model without runoff could nicely simulate the soil water content at the rooting zone with R² of 0,83.

Keyword: Rain, Infiltration, Soil Water, Starfruit, Productivity, Model

ABSTRAK

Permasalahan yang dihadapi oleh petani belimbing manis di kota Depok adalah masalah air, yang hanya mengandalkan air hujan. Karena itu, penelitian yang menyangkut teknik konservasi air untuk memanfaatkan air hujan dan aliran permukaan secara optimal telah dilakukan. Penelitian bertujuan untuk 1) mengetahui hubungan curah hujan, evapotranspirasi dengan produktivitas belimbing manis 2) mengetahui efek resapan air tanah terhadap produktivitas belimbing manis dan 3) mendapatkan model analisis kesetimbangan air tanpa aliran permukaan di kebun belimbing manis. Dalam penelitian ini dibuat saluran peresapan air yang dilengkapi rorak, tidak ada irigasi, dengan tinggi muka air tanah di atas 16 m dari permukaan tanah, sehingga komponen aliran permukaan dan kontribusi pergerakan kapiler dari air bawah tanah menjadi tidak ada (nol). Hasil penelitian menunjukkan bahwa: 1) Curah hujan dan evapotranspirasi berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas belimbing; 2) Curah hujan yang relatif tinggi diikuti oleh tingginya kadar air tanah di zona perakaran dengan kisaran 0,429-0,458 m³/m³, tanaman belimbing dapat berproduksi 4 kali panen dalam setahun; 3) Model zorro dapat digunakan untuk memprediksi kadar air tanah di zona perakaran dilihat dari kinerja yang relatif baik dengan koefisien derminasi (r²) mencapai 0,83.

Kata kunci: Hujan, Infiltrasi, Air Tanah, Belimbing, Produktivitas, Model

I PENDAHULUAN

Belimbing manis (*Averrhoa carambola L*) merupakan tanaman buah tropik dengan kandungan gizi yang cukup tinggi sebagai sumber vitamin A dan C. Dibanding dengan tanaman buah tropik lainnya, belimbing manis mempunyai keunggulan karena dapat berbuah sepanjang tahun. Artinya, belimbing bukanlah buah musiman asal kondisi lingkungannya kondusif, terutama ketersediaan air yang cukup. Belimbing manis banyak membutuhkan air sepanjang hidupnya, tetapi kurang menyukai air tergenang. Menurut Satyawibawa dan Widyastuti, (1992) belimbing manis seperti halnya apel dan jeruk, merupakan tanaman buah yang perakarannya dangkal.

Kota Depok merupakan salah satu sentra pengembangan belimbing manis di Indonesia dengan potensi lahan yang relatif luas sekitar 135 ha. Menurut Dinas Pertanian Kota Depok (2007) produktivitas belimbing manis di wilayah ini masih belum optimal dan masih bisa ditingkatkan. Umumnya berproduksi 3 kali setahun terutama pada musim hujan dengan kapasitas produksi sekitar 90-185 kg/pohon/tahun. Pada musim kemarau tidak berproduksi dan terjadi penurunan hasil sekitar 30-50%. Tanaman belimbing manis di Kota Depok banyak dibudidayakan di lahan kering, yaitu di lahan kebun sekitar pemukiman atau di lahan pekarangan dengan pengairan bersumber dari air hujan. Sumber air terdekat untuk memenuhi kebutuhan irigasi lokasinya cukup jauh sekitar 1-2 km dari lokasi kebun. Sementara itu, air yang tersedia lebih diutamakan untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga, sehingga terjadi kompetisi pemakaian air dengan usaha pertanian.

Permasalahan yang dihadapi oleh petani belimbing manis di kota Depok adalah ketersediaan air, karena hanya mengandalkan siraman air hujan, yang setiap tahunnya tidak selalu sama besarnya. Distribusi dan intensitas hujan yang tidak merata dan tidak menentu menyebabkan terjadi kekurangan air pada musim kemarau dan kelebihan air pada musim hujan. Karena itu, diperlukan tindakan konservasi air melalui pengelolaan air hujan dan aliran permukaan, agar tanaman belimbing terhindar dari risiko kekeringan hasil akibat cekaman air.

Teknik konservasi air yang dapat diterapkan dalam upaya pemanenan air hujan dan aliran

permukaan adalah saluran peresapan dan rorak. Saluran peresapan adalah saluran yang dibuat pada lahan untuk menahan aliran permukaan agar meresap ke dalam tanah. Saluran peresapan biasanya dilengkapi dengan rorak untuk memaksimalkan resapan air dan menampung sedimen. Struktur rorak dan saluran resapan hanya memanfaatkan ruang yang tersedia tanpa mengganggu fungsi utama lahan.

Rorak adalah tempat penampungan dan peresapan air dibuat di bidang olah atau di saluran peresapan. Rorak memperbesar peresapan air ke dalam tanah dan menampung tanah tererosi. Umumnya rorak berukuran panjang 0,5 - 1 m, lebar 25 - 50 cm dan dalam 25 - 50 cm. Yang harus diwaspadai dalam penerapan rorak dan teknologi pemanenan air lainnya adalah bahwa air hanya boleh tergenang beberapa saat (Balittanah 2011). Apabila penggenangan berlanjut, dikhawatirkan akan terjadi masalah berupa penyakit yang menyerang melalui akar tanaman.

Penelitian ini bertujuan untuk 1) mengetahui hubungan antara curah hujan, evapotranspirasi dengan produktivitas belimbing manis. 2) mengetahui sejauh mana efek resapan air tanah terhadap produktivitas belimbing manis, dan 3) mendapatkan model pengelolaan aliran permukaan dalam konsep kesetimbangan air di kebun belimbing manis.

II Tinjauan pustaka

2.1. Hubungan curah hujan dengan produktivitas

Faktor iklim sangat menentukan pertumbuhan dan produksi tanaman. Apabila tanaman ditanam di luar daerah iklimnya, maka produktivitasnya sering kali tidak sesuai dengan yang diharapkan. Menurut Sutarno *et al* (1997) studi tentang perilaku tanaman dalam hubungannya dengan perubahan-perubahan iklim disebut dengan fenologi. Untuk faktor iklim yang dipergunakan dalam penelitian fenologi pada umumnya adalah curah hujan, karena curah hujan secara langsung atau tidak langsung penting untuk pengaturan waktu dan ruang dalam pembentukan bunga dan buah tanaman tropis.

Tanaman belimbing banyak membutuhkan air sepanjang hidupnya tetapi kurang menyukai air tergenang. Curah hujan ideal yang dibutuhkan berkisar 2000-2500 mm/tahun, dengan

komposisi bulan basah dan bulan kering adalah 5-7 bulan basah dan 4-6 bulan kering. Bila curah hujan terlalu tinggi, menyebabkan gugurnya bunga dan buah, sehingga produksinya akan rendah °C (Direktorat Tanaman Buah 2004). Demikian pula kekeringan menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan distribusi asimilat terganggu, yang berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman baik fase vegetatif maupun fase generatif. Pada fase generatif kekeringan menyebabkan terjadinya penurunan produksi tanaman akibat terhambatnya pembentukan bunga, pembuahan terganggu, gugur buah muda, dan bentuk buah kecil. Jika kekurangan air dapat diatasi sedini mungkin maka penurunan produksi dapat dihindari (Bray, 1997).

2.2. Hubungan evapotranspirasi dengan produktivitas

Evapotranspirasi merupakan proses yang sangat penting bagi tanaman. Metabolisme tanaman berlangsung jika evapotranspirasi terjadi. Evapotranspirasi adalah proses gerakan air dari sistem tanah ke tanaman kemudian ke atmosfer (transpirasi) dan gerakan air dari sistem tanah ke permukaan tanah kemudian ke atmosfer (evaporasi). Berbagai persamaan hubungan evapotranspirasi dengan produksi telah dikembangkan. Semakin besar evapotranspirasi akan menyebabkan semakin besar produksi. Pada kondisi defisit air, penurunan produksi berbanding lurus dengan penurunan evapotranspirasi. Produksi maksimum merupakan produksi tanaman pada kondisi lingkungan yang optimum (Doorenbos dan Kassam, 1979).

Jackson (1977) mengemukakan bahwa evapotranspirasi dipengaruhi oleh faktor meteorologi, termasuk di dalamnya radiasi surya, suhu, selisih tekanan uap, kecepatan angin dan turbulensi udara. Radiasi matahari berhubungan dengan laju pertumbuhan tanaman, fotosintesis, pembukaan (reseptivitas) bunga, dan aktivitas lebah penyerbuk. Pembukaan bunga dan aktivitas lebah ditingkatkan oleh radiasi matahari yang cerah (Guslim 2007). Suhu berkorelasi positif dengan radiasi matahari, suhu tanah maupun udara di sekitar tajuk tanaman.

Semakin tinggi suhu dan jumlah penyinaran matahari lebih banyak, semakin besar nilai evapotranspirasi. Dengan demikian proses

fotosintesis berjalan lebih cepat sehingga menghasilkan energi yang lebih banyak dan pertumbuhan berjalan cepat.

2.3 Prinsip Dasar Konservasi Air

Aliran permukaan merupakan komponen penting dalam hubungannya dengan konservasi air. Konservasi air pada prinsipnya adalah penggunaan air hujan yang jatuh ke tanah seefisien mungkin dan pengaturan waktu aliran yang tepat, sehingga tidak terjadi banjir pada musim hujan dan terdapat cukup air pada musim kemarau. Oleh sebab itu, tindakan-tindakan yang berhubungan dengan pengendalian dan pengelolaan aliran permukaan dapat diformulasikan dalam strategi konservasi air. Namun dalam konteks pemanfaatan, Agus *et al.* (2002) mengemukakan bahwa penggunaan air hujan yang jatuh ke permukaan tanah secara efisien merupakan tindakan konservasi air.

Konservasi air dapat dilakukan dengan mengurangi penguapan air melalui evaporasi dengan meningkatkan penutupan tanah dengan mulsa (Abdurrahman dan Sutono 2002). Selanjutnya Arsyad (2000) aliran permukaan hanya dapat diatur dengan memperbesar kemampuan tanah menyimpan air melalui perbaikan kapasitas infiltrasi tanah, dengan depresi-depresi dan tanaman penutup tanah yang lebat atau sisa-sisa tanaman yang menutupi tanah. Tetapi yang terpenting dalam hal ini adalah kapasitas infiltrasi.

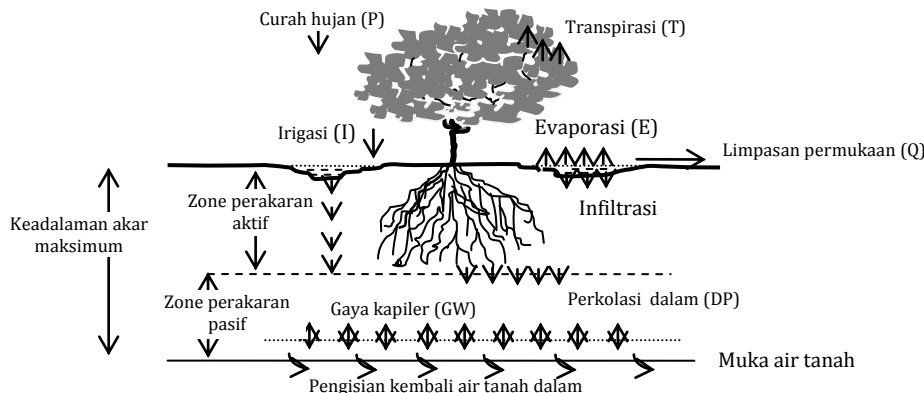
Beberapa teknik konservasi air yang dapat diterapkan dalam upaya pemanenan air hujan dan aliran permukaan adalah pembuatan saluran peresapan, rorak, mulsa vertikal, embung, dan sistem drainase. Beberapa hasil penelitian menunjukkan efektivitas rorak sebagai bangunan pemanenan air, diantaranya ditunjukkan oleh kemampuannya dalam mengurangi aliran permukaan (Noeralam 2002; Tala'ohu *et al.*, 1992).

2.4 Model Konsep Keseimbangan Air

Proses fisik yang dipertimbangkan di dalam konsep model keseimbangan air tanah di dalam zona perakaran tanaman ditunjukkan pada Gambar 1. Kedalaman pengakaran maksimum tanaman yang tumbuh di lapangan dianggap sebagai ruang simpanan air tanah (*soil water reservoir*). *Reservoir* tersebut dibagi ke dalam dua lapisan (Panigrahi and Panda, 2003) yaitu: (i) lapisan tanah aktif dimana terdapat akar dan

terjadi ekstraksi kelembaban dan drainase (ii) lapisan tanah pasif dimana hanya terjadi drainase. Pada periode awal pertumbuhan tanaman, kedua lapisan tersebut terpisah cukup

terjadi ekstraksi kelembaban dan drainase (ii) lapisan tanah pasif dimana hanya terjadi drainase. Pada periode awal pertumbuhan tanaman, kedua lapisan tersebut terpisah cukup



Gambar 1 Skema komponen kesetimbangan air tanah di lapangan (Panigrahi dan Panda 2003.)

Irigasi (*I*) dan hujan (*P*) merupakan air yang masuk ke dalam zone perakaran. Sebagian (*I*) dan (*P*) tersebut akan hilang melalui aliran permukaan (*Q_r*) dan perkolasi (*P*) yang secara bertahap akan mengisi *water table* (muka air tanah). Sebagian air tersebut akan bergerak ke

atas karena gaya kapiler (*capillary rise*) *GW*. Evaporasi tanah dan tanaman akan mengurangi air di *zona* perakaran. Kesetimbangan air tanah pada zone perakaran dinyatakan dalam bentuk persamaan sebagai berikut (Pereira dan Allen, 1999):

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \frac{[P_i - (Q_r)_i] I + (I_n)_i - (ETc)_i - DP_i + GW_i}{1000(Zr)_i} \dots\dots\dots(\text{Pers 1})$$

Keterangan,

- θ_i = Kadar air tanah volumetrik di zona perakaran pada hari ke *i* (m^3/m^3);
- θ_{i-1} = Kadar air tanah volumetrik pada hari ke *i-1* (m^3/m^3);
- P_i = Presipitasi atau hujan pada hari ke *i* (mm);
- $Q_{r,i}$ = Limpasan permukaan atau *Runoff* pada hari ke *i* (mm);
- $I_{n,i}$ = Kedalaman bersih irigasi pada hari ke *i* (mm);
- ETc_i = Evapotranspirasi tanaman pada hari ke *i* (mm);
- DP_i = Perkolasi ke bawah zona perakaran pada hari ke *i* (mm);
- GW_i = Kontribusi pergerakan kapiler dari air bawah tanah pada hari ke *i* (mm);
- Zr_i = Kedalaman zona perakaran (m).

Masuknya air hujan dan irigasi ke lapisan perakaran melalui peristiwa yang disebut infiltrasi. Aliran air masuk dan ke luar lapisan perakaran ini dinamakan siklus air. Besaran tiap komponen siklus dapat diukur dan digabungkan

satu dengan yang lain sehingga menghasilkan neraca air atau kesetimbangan air. Output dari kesetimbangan air adalah keadaan dari sistem yang ditinjau dalam bentuk pernyataan defisit dan surplus. Defisit terjadi apabila kadar air tanah berkurang sampai di bawah titik layu permanen (*Q_{wp}*), dan sebaliknya disebut surplus bila berada di atas kapasitas lapang (*Q_{fc}*). Jumlah dari periode defisit dan surplus dipengaruhi oleh curah hujan, keadaan air tanah, kedalaman perakaran dan laju evapotranspirasi.

III METODOLOGI

3.1 Tempat dan Waku Penelitian

Penelitian dilakukan di kebun belimbing manis milik petani di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok mulai bulan Maret 2010 sampai dengan Mei 2011. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat antara 106°46'25"- 106°47'28" BT dan 06°22'25"-

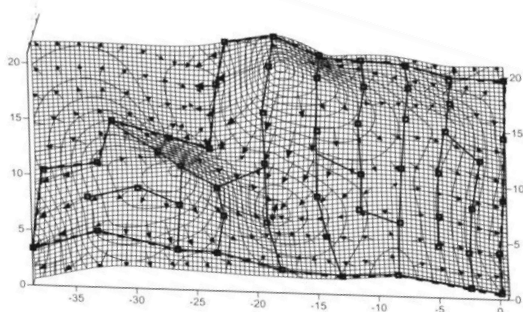
06°26'26" LS. Wilayah penelitian berada pada ketinggian 80-110 m dpl dengan topografi sebagian besar mempunyai relief berombak (32,18%).

3.2 Bahan dan Alat

Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian meliputi: pupuk, pestisida dan bahan-bahan untuk analisis tanah dan tanaman di Laboratorium. Alat yang digunakan pada penelitian ini seperangkat komputer dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Office 2007* yang dilengkapi dengan *software Visual Basic Editor (VBE)*, *surfer v 9.9.785* untuk membuat peta kontur kebun penelitian dan memetakan lokasi saluran resapan dan rorak. Alat pendukung lainnya berupa *Thermo Recorder TR-72U* untuk mengukur suhu dan kelembaban setiap jam, *Tensiometer*, *Theodolite T200*, *ombrometer*, meteran, tambang, cangkul, pisau, kamera, dll.

3.3 Pembuatan saluran resapan dan rorak

Optimalisasi pemanfaatan air hujan dan aliran permukaan di kebun belimbing dengan cara membuat saluran resapan yang dilengkapi dengan rorak. Saluran resapan dengan ukuran lebar 25 cm dan dalam 20 cm. Sedangkan rorak dibuat dengan ukuran 40 x 40 x 40 cm. Jumlah rorak/lobang resapan sebanyak 57 buah dengan panjang saluran 271,277 m. Saluran resapan tidak mengarah ke satu arah, tetapi dibuat mengikuti ketinggian permukaan tanah atau mengikuti aliran air yang terjadi di lapangan. Pembuatan saluran resapan dan rorak dilakukan secara bertahap sampai diyakini tidak terjadi aliran permukaan yang mengalir ke luar kebun penelitian maupun genangan air di permukaan tanah. Selanjutnya posisi saluran resapan dan rorak dipetakan ke dalam peta kontur menggunakan program *surfer v 9.9.785* (Gambar 2).



Gambar 2 Peta Kontur dan Posisi Rorak di Kebun Penelitian

3.4 Data yang diamati

Data sekunder yang diperoleh secara tidak langsung berupa catatan maupun hasil penelitian dari pihak lain yang meliputi: 1) iklim sebelum penelitian: curah hujan, suhu udara, kelembaban, radiasi matahari; 2) produksi dan produktivitas belimbing sebelum penelitian yang diperoleh dengan cara mengutip data dan laporan dari instansi terkait. Data primer yang diperoleh secara langsung melalui pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan yang meliputi: iklim selama penelitian (curah hujan, suhu udara, kelembaban, radiasi matahari curah hujan), kadar air tanah dan produktivitas belimbing.

3.5 Identifikasi dan Karakterisasi iklim

Identifikasi dan karakterisasi iklim dilakukan dengan menganalisis data curah hujan selama 12 tahun (1989-2009). Data curah hujan tersebut berdasarkan rekaman data dari stasiun Pos Pengamatan Sungai Pasanggrahan Sawangan, Depok, Dinas PU DKI Jakarta dari tahun 1989 sampai 2009.

Hubungan antara curah hujan (sebagai faktor *independen*) dengan produktivitas (sebagai faktor *dependen*) dianalisis secara korelasi regresi dengan fungsi matematis sebagai berikut (Gomez dan Gomez, 1983):

$$Y = \alpha + \beta X \quad \dots\dots\dots \text{(Pers 2)}$$

Keterangan:

- Y = produktivitas (variable *dependen*);
- X = curah hujan (variable *independen*);
- α = konstanta;
- β = kemiringan.

Hubungan produktivitas dengan evapotranspirasi digunakan model persamaan sebagai berikut (Doorenbos J & Kassam, 1979):

$$Y_a = Y_m \left\{ 1 - \beta \left(1 - \frac{E_t a}{E_{Tm}} \right) \right\} \quad \dots\dots\dots \text{(Pers 3)}$$

Keterangan:

- Y_m = produksi maksimum;
- Y_a = produksi aktual;
- $E_t a$ = evapotranspirasi aktual
- E_{Tm} = evapotranspirasi maksimum dan
- β = faktor respon hasil terhadap stress air.

Parameter tersebut kemudian dioptimasi menggunakan *solver (Microsoft Excell 2007)* untuk mendapatkan kurva hubungan antara

produktivitas belimbing dengan evapotranspirasi.

3.6 Model pengelolaan aliran permukaan dalam konsep kesetimbangan air (*Zero runoff model in water balance*)

Model dikembangkan dengan persamaan (1). Dalam penelitian ini dibuat saluran peresapan air yang dilengkapi lubang resapan/rorak untuk menghilangkan *runoff*, tidak ada irigasi dan dilakukan di lahan kering pekarangan dengan tinggi muka air tanah di atas 16 m sehingga komponen *Qr* (*Runoff*) dan *GW* (kontribusi pergerakan kapiler dari air bawah tanah) menjadi tidak ada (nol), maka persamaan (1) menjadi:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \frac{[P - ETc - DP]}{1000(Z_r)_i} \dots\dots\dots(Pers 4)$$

Data curah hujan merupakan data curah hujan harian yang terukur dalam obrometer. Sedangkan evapotranspirasi adalah evapotranspirasi tanaman (ETc). Agar analisis hasil simulasi mendekati kondisi ideal dengan data hasil pengukuran dilapangan maka ditambahkan faktor koreksi untuk parameter hujan (a) dan evapotranspirasi (b) maka persamaan (20) menjadi:

$$\theta_i = \theta_{i-1} + \frac{[aP - bETc - DP]}{1000(Z_r)_i} \dots\dots\dots(Pers 5)$$

Faktor koreksi hujan (a) dan evapotranspirasi (b) diperoleh dengan membandingkan data hasil simulasi dengan data observasi pada waktu yang sama. Selanjutnya dilakukan minimalisasi terhadap deviasi dari model (*error*) dengan menggunakan *solver* pada *MS Excel 2007*. Perhitungan neraca air disimulasikan dengan menggunakan pemograman komputer dalam bahasa *BASIC* menggunakan fasilitas *Visual Basic for Application (VBA)* pada *MS Excel 2007*. Selanjutnya dilakukan validasi dengan menggunakan data hasil pengukuran langsung di lapangan. Untuk menentukan besarnya simpangan hasil pengukuran terhadap hasil simulasi sebagai informasi akurasi model digunakan metode *RSME (Root Mean Square Error)* dengan persamaan sebagai berikut:

$$RSME = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (KA_{ukur} - KA_{model})^2} \dots\dots\dots(Pers 6)$$

Keterangan:

KA_{ukur} = kadar air tanah pengukuran;

KA_{model} = kadar air tanah model

Untuk melihat hubungan antara hasil model dengan hasil observasi digunakan tolak ukur koefisien korelasi (r^2) dengan persamaan sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{\sum (KA_{ukur} - \overline{KA_{ukur}})(KA_{model} - \overline{KA_{model}})}{\sqrt{\sum (KA_{ukur} - \overline{KA_{ukur}})^2 \sum (KA_{model} - \overline{KA_{model}})^2}} \dots(Pers 7)$$

Estimasi volume aliran permukaan dengan metode *SCS (Soil Conservation Service)* (Stewart et al. 1976):

$$RO = (P - 0,2 S)^2 / (P + 0,8 S) \dots\dots\dots(Pers 8)$$

Keterangan:

RO = Aliran permukaan;

P = Curah hujan (mm);

S = Bilangan kurva (*curve number*) limpasan permukaan (mm)

Besarnya *S* ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

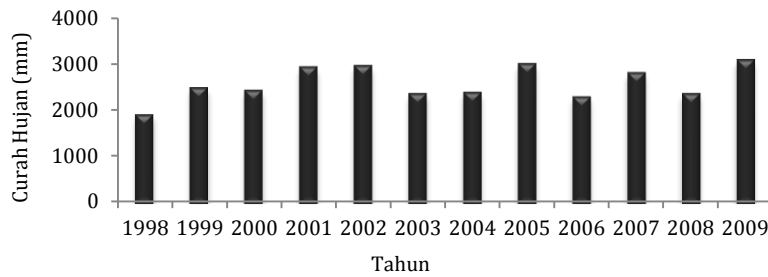
$$S = (25.400/CN) - 2.54 \dots\dots\dots(Pers 9)$$

Angka *CN (curve number)* adalah bervariasi dari 0 sampai 100 yang dipengaruhi oleh kondisi grup hidrologi tanah *AMC (antecedent moisture content)*, penggunaan lahan dan cara bercocok tanam.

IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Karakteristik Iklim Lokasi Penelitian

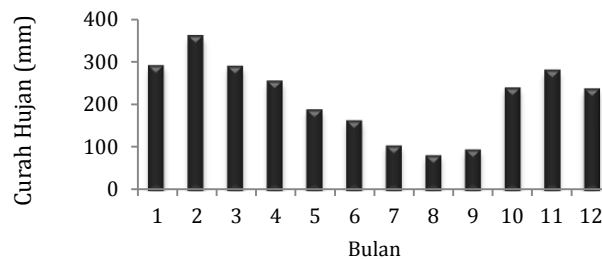
Curah hujan merupakan salah satu faktor produksi yang mempengaruhi produktivitas tanaman belimbing. Curah hujan ideal yang dibutuhkan berkisar antara 2000-2500 mm/tahun (Direktorat Tanaman Buah, 2004). Data curah hujan tahunan selama 12 tahun (Gambar 3) menunjukkan bahwa lokasi penelitian mempunyai curah hujan tahunan yang relative tinggi yaitu berkisar antara 1.868,0-3.046,5 mm/tahun dengan rerata sebesar 2.546,71 mm/tahun. Karena itu, pembuatan saluran resapan yang dilengkapi dengan rorak sangat berguna untuk mengoptimalkan pemanfaatan air hujan untuk menanggulangi masalah kekurangan air di musim kemarau.



Gambar 3 Kondisi curah hujan lokasi penelitian Kelurahan Pasir Putih Sawangan Depok

Kota Depok memiliki iklim yang cocok untuk tanaman belimbing manis. Curah hujan ideal yang dibutuhkan berkisar 1.500-3.000 mm setahun dan suhu 25 -27° C sangat cocok untuk belimbing (Ditjen Bina Produksi dan

Hortikultura, 2004). Pola curah hujan bulanan selama 12 tahun terakhir di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok, dapat dilihat pada Gambar 4.



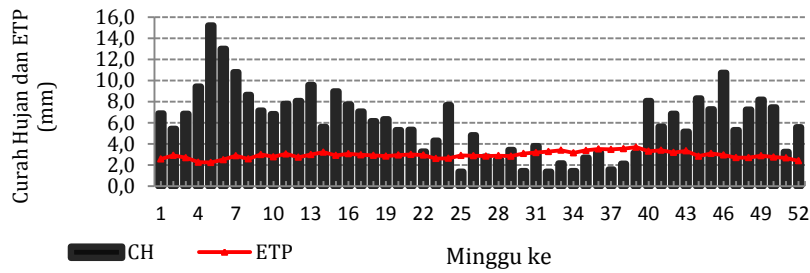
Gambar 4 Pola Curah Hujan Bulanan Tahun 1998-2009 di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok

Berdasarkan Gambar 4 diketahui bahwa Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok mempunyai curah hujan secara temporal yang tidak merata. Curah hujan terendah terjadi pada bulan Agustus sebesar 77.83 dan tertinggi pada bulan Februari sebesar 358.42 mm. Berdasarkan peta zona agroklimat (Oldeman *et al*, 1975), termasuk ke dalam tipe iklim B2 yaitu, 7 - 9 bulan basah berurutan dan 2 - 4 bulan kering.

Faktor iklim yang paling berpengaruh terhadap ketersediaan air yaitu curah hujan dan evapotranspirasi. Tinggi hujan di bawah evapotranspirasi merupakan periode kering. Periode di mana curah hujan lebih kecil dari evapotranspirasi potensial terjadi selama 12 minggu (3 bulan) yaitu terjadi pada bulan Juli sampai dengan bulan September. Pada periode ini ada kemungkinan terjadinya kelangkaan atau defisit air. Pada bulan tersebut, tanaman

belimbing mengalami gejala kekeringan yang ditunjukkan dengan gugurnya daun. Distribusi curah hujan dan evapotranspirasi mingguan rata-rata di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok disajikan pada Gambar 5.

Tingginya evapotranspirasi pada bulan Juli-September dipengaruhi oleh tingginya suhu dan radiasi matahari. Perhitungan evapotranspirasi yang digunakan adalah evapotranspirasi model Hargreaves. Hasil perhitungan tersebut merupakan evapotranspirasi potensial (ETp) bulanan selama 12 tahun mulai tahun 1998 sampai dengan tahun 2009. ETp menggambarkan laju maksimum kehilangan air suatu tanaman yang ditentukan oleh kondisi iklim. Diketahui bahwa ETp bulanan berkisar antara 101.5 mm/bulan sampai dengan 139.4 mm/bulan. ETp terbesar terjadi pada bulan September sedangkan ETp terendah terjadi pada bulan Februari.



Gambar 5 Distribusi curah hujan dan evapotranspirasi mingguan rata-rata di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok

4.2. Produktivitas Belimbing Kota Depok

Curah hujan merupakan salah satu faktor produksi yang merupakan penyalur kebutuhan air pada kebun belimbing di lokasi penelitian. Selama ini curah hujan belum dimanfaatkan secara optimal. Produktivitas belimbing di kota Depok selama 6 tahun terakhir menunjukkan trend yang terus meningkat yaitu sebanyak 95,44

kg/pohon pada tahun 2005 menjadi 182 kg/pohon pada tahun 2010. Peningkatan produktivitas belimbing masih jauh dari yang diharapkan oleh Dinas Pertanian Kota Depok yang saat ini mengupayakan untuk meningkatkan produktivitas belimbing menjadi lebih dari 200 kg/pohon/tahun. Produktivitas buah belimbing di kota Depok disajikan pada Tabel 1.

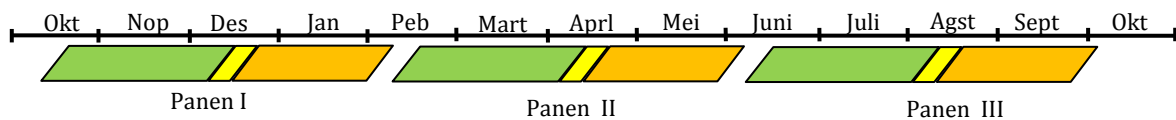
Tabel 1 Produktivitas Buah Belimbing Kota Depok

Tahun	Hujan Kumulatif (mm/tahun)	Produktivitas (kg/pohon/tahun)
005	2.965,0	95,44
2006	2.255,0	128,00
2007	2.772,0	144,00
2008	2.320,0	159,00
2009	3.046,5	150,00
2010	3.727,9	182,00
Rerata	2847,7	143,07

Sumber: Disperta Kota Depok

Menurut Dinas Pertanian Kota Depok (2007) panen belimbing di Kota Depok umumnya terjadi 3 kali dalam setahun, yaitu pada bulan Januari – Februari, Mei-Juni, dan September-Oktober.

Panen raya terjadi pada bulan Januari-Februari. Pola panen belimbing di Kota Depok disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6 Pola Produksi Belimbing di Kota Depok

Keterangan:



= Masa keluar bunga sampai dengan pembungkusan buah



= Masa pembungkusan buah

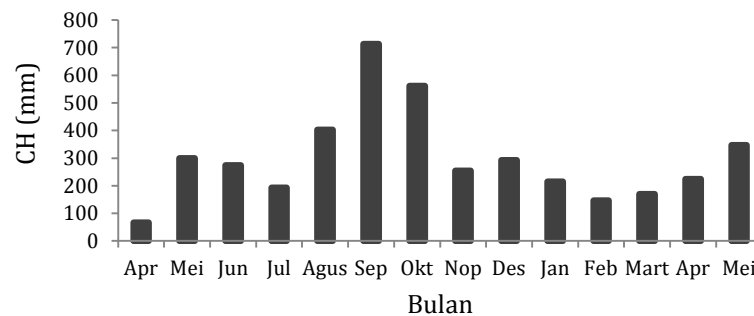


= Masa pembungkusan buah sampai dengan panen

4.3 Curah Hujan Selama Penelitian

Data curah hujan diperoleh dari pengukuran di lapangan, mulai bulan April 2010 hingga bulan Mei 2011. Gambar 7 memperlihatkan terdapat satu bulan kering dengan curah hujan sebesar 66 mm/bulan yaitu pada bulan April yang

bertepatan dengan pembuatan saluran resapan dan rovak. Peningkatan curah hujan yang relatif tinggi terjadi pada bulan Mei 2010 dan mencapai puncaknya pada bulan September 2010 berturut-turut sebesar 299,5 mm/bulan dan 713,4 mm/bulan.



Gambar 7 Pola curah hujan bulanan selama penelitian di Kelurahan Pasir Putih, Kecamatan Sawangan, Kota Depok

4.4 Hubungan Curah Hujan dengan Produktivitas

Doorenboos dan Kassam (1979) menyatakan bahwa air hujan tidak selamanya efektif dapat dimanfaatkan tanaman, karena sebagian hilang berupa limpasan permukaan (*runoff*), perkolasi dalam dan evaporasi. Aspek penting yang perlu diperhatikan adalah sebanyak mungkin air hujan meresap ke dalam tanah untuk ditahan di zona perakaran untuk menanggulangi kekurangan air di musim kemarau.

Dalam konservasi tanah dan air, dua unsur siklus air yang memegang peranan penting yaitu, curah hujan dan aliran permukaan. Hujan lebat terjadi dalam waktu yang singkat menyebabkan kondensasi, adsorpsi, perkolasi, evaporasi dan transpirasi terjadi dalam jumlah yang sangat kecil sebesar beberapa persepuluh mm/jam, sedangkan curah hujan, aliran permukaan dan air

tersimpan dapat sampai beberapa puluh mm/jam (Arsyad 2000). Kondisi tersebut mendorong dilakukannya tindakan konservasi air dengan membuat saluran resapan yang dilengkapi rovak.

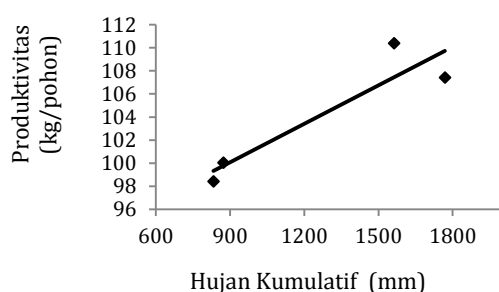
Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas belimbing dengan perlakuan panen air relatif tinggi, yaitu sebanyak 98,42 kg/pohon/panen sampai dengan 110,38 kg/pohon/panen dengan total sebanyak 416,25 kg/pohon/tahun, di atas rerata produktivitas belimbing Kota Depok enam tahun terakhir, yaitu sebanyak 182 kg/pohon/tahun. Selama penelitian dari bulan April 2010-Mei 2011 curah hujan di lokasi penelitian relatif tinggi dengan kisaran 146,2-713,4 mm/bulan, tidak terjadi kemarau yang berkepanjangan dan tanaman tidak mengalami gejala kekeringan. Kadar air tanah di zona perakaran tanaman juga cukup tinggi, yakni di atas kapasitas lapang, yaitu sebesar 0,458-0,429 m³/m³.

Tabel 2 Produktivitas buah belimbing dengan perlakuan panen air

	Hujan Kumulatif (mm)	Produktivitas (kg/pohon/panen)	KA Tanah (m ³ /m ³)
Panen 1 (Juni-September)	1.563,0	110,38	
Panen 2 (Agustus-Desember)	1.768,8	107,41	0,429-0,458
Panen 3 (Nopember-Maret)	872,9	100,04	
Panen 4 (Pebruari-Mei)	832,8	98,42	
Total per tahun		416,25	

Data Primer

Tabel 2 memperlihatkan meningkatnya curah hujan diikuti dengan meningkatnya produktivitas buah belimbing. Data hujan yang digunakan yaitu hujan kumulatif selama satu siklus produksi buah belimbing selama 115 hari. Analisis regresi hubungan curah hujan dengan produktivitas belimbing membentuk persamaan regresi linier $Y = 0.011X + 90.32$ dengan koefisien determinasi R^2 sebesar 0.85 artinya 85% produktivitas belimbing pada perlakuan panen air dijelaskan oleh curah hujan, sisanya 15% dijelaskan oleh faktor lain. Nilai F sebesar 11,30; p 0,002 artinya curah hujan berpengaruh nyata terhadap peningkatan produktivitas belimbing. Hasil analisis regresi dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8 Kurva regresi korelasi antara produktivitas belimbing dengan curah hujan pada perlakuan panen air

4.5 Hubungan Evapotranspirasi dengan produktivitas

Menurut Bray (1997) cekaman kekeringan yang biasa disebut *drought stress* pada tanaman dapat disebabkan dua hal yaitu (1) kekurangan suplai air di daerah perakaran, dan (2) permintaan air berlebihan oleh daun akibat laju evapotranspirasi melebihi laju absorpsi air walaupun keadaan air tanah tersedia cukup. Pada lahan kering,

cekaman kekeringan pada tanaman terjadi karena suplai air yang tidak mencukupi.

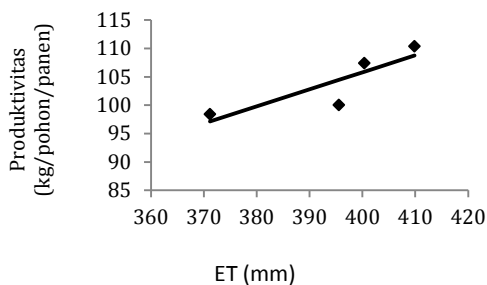
Evapotranspirasi merupakan proses yang sangat penting bagi tanaman. Metabolisme tanaman berlangsung jika evapotranspirasi terjadi. Evapotranspirasi adalah proses gerakan air dari sistem tanah ke tanaman kemudian ke atmosfer (transpirasi) dan gerakan air dari sistem tanah ke permukaan tanah kemudian ke atmosfer (evaporasi). Doorenbos dan Kassam (1979) menyatakan bahwa penurunan produksi sebanding dengan penurunan evapotranspirasi. Data evapotranspirasi dan produktivitas belimbing dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Evapotranspirasi dan produktivitas buah belimbing dengan perlakuan panen air

Panen	ET Kumulatif (mm)	Produktivitas (kg/pohon/panen)
ke 1 (Juni-Sept)	409.8	108.74
ke 2 (Agust-Des)	400.4	105.90
ke 3 (Nop-Maret)	395.6	104.46
ke 4 (Peb-Mei)	371.2	97.16
Total setahun	1577	416.26

Data primer

Tabel 3 memperlihatkan bahwa secara umum produktivitas belimbing meningkat dengan meningkatnya evapotranspirasi. Data evapotranspirasi yang digunakan adalah data evapotranspirasi potensial kumulatif selama satu siklus produksi buah belimbing. Hubungan antara evapotranspirasi dengan produktivitas belimbing dalam bentuk grafik disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9 Grafik Hubungan antara Produktivitas dengan Epavotranpirasi ($\beta=1,13$)

Analisis regresi hubungan evapotranspirasi dengan produktivitas belimbing membentuk persamaan regresi linier $Y = 0,299 X - 13,93$ dengan koefisien determinasi R Square (r^2) sebesar 0,74 artinya 74% produktivitas belimbing pada perlakuan panen air 85% dijelaskan oleh evapotranspirasi, sisanya 15% dijelaskan oleh faktor lain. Nilai F sebesar 5,56; p 0,81 artinya curah hujan berpengaruh terhadap produktivitas belimbing. Dari hasil optimasi diperoleh nilai ET_m sebesar 410,36 mm dengan Y_{maks} sebesar 108,89 kg/pohon/panen.

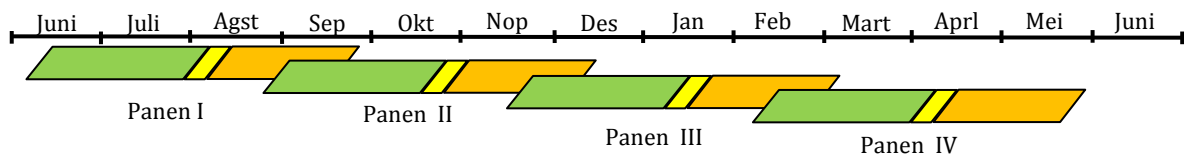
Evapotranspirasi mempengaruhi kadar air dalam tanah yang diperlukan tanaman untuk proses metabolisme. Meningkatnya evapotranspirasi akan meningkatkan proses metabolisme dalam tanaman, termasuk pembentukan bunga dan buah. Evapotranspirasi yang tinggi tanpa diimbangi ketersediaan air tanah yang cukup, akan mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang tumbuh di atasnya termasuk jumlah bunga dan buah karena akan terjadi defisit air yang tidak mencukupi bagi kebutuhan tanaman (Fitter dan Hay, 1998). Selama penelitian tidak terjadi defisit air dan diasumsikan bahwa ET_a sama dengan ET_m . Kondisi ini menunjukkan bahwa

ketersediaan air dalam tanah berada dalam kondisi yang cukup bagi tanaman untuk tumbuh dan berproduksi.

Selain proses metabolisme, proses pembungaan, dan pematangan biji atau buah juga sangat dipengaruhi oleh radiasi surya (intensitas dan lama penyinaran), suhu udara dan kelembaban nisbi serta angin. Kartasapoetra dan Gunarsi (1993) menyatakan bahwa radiasi matahari merupakan faktor penting dalam metabolisme tanaman yang berklorofil, karena itu produksi tanaman dipengaruhi oleh tersedianya cahaya matahari. Radiasi matahari yang ditangkap klorofil pada tanaman yang mempunyai hijau daun merupakan energi dalam proses fotosintesis. Hasil fotosintesis ini menjadi bahan utama dalam pertumbuhan dan produksi tanaman. Selain meningkatkan laju fotosintesis, peningkatan cahaya matahari biasanya mempercepat proses pembungaan dan pematangan

Dibanding dengan tanaman buah tropik lainnya, belimbing manis mempunyai keunggulan karena dapat berbuah sepanjang tahun. Artinya, belimbing bukanlah buah musiman asal kondisi lingkungannya kondusif, terutama ketersediaan air yang cukup.

Pada Gambar 10 terlihat bahwa pada kondisi cukup air, dengan perlakuan teknik panen air tanaman belimbing dapat berbuah sepanjang tahun dengan 4 kali panen dalam setahun, yaitu pada bulan September, Nopember-Desember, Februari-Maret, dan Mei. Kadar air tanah berada pada kisaran $0,429-0,458(m^3/m^3)$. Sebelum buah belimbing dipanen, tanaman sudah mengeluarkan bunga baru.



Gambar 10 Pola produksi buah belimbing dengan teknik panen air

Menurut Samson (1992) belimbing manis selalu menghasilkan bunga dengan jumlah yang sangat banyak, tetapi bunga dan buah belimbing mudah gugur. Berbagai rangsangan yang menyebabkan gugur bunga dan buah, yaitu faktor dari luar dan

dari dalam tanaman itu sendiri. Salah satu faktor luar yang menyebabkan gugur bunga dan buah antara lain yaitu kekurangan air. Kekeringan menyebabkan penurunan laju fotosintesis dan distribusi asimilat terganggu, yang berdampak

negatif pada pertumbuhan tanaman baik fase vegetatif maupun fase generatif. Pada fase generatif kekeringan menyebabkan terjadinya penurunan produksi tanaman akibat terhambatnya pembentukan bunga, pembuahan terganggu, gugur buah muda, dan bentuk buah kecil (Odum, 1993).

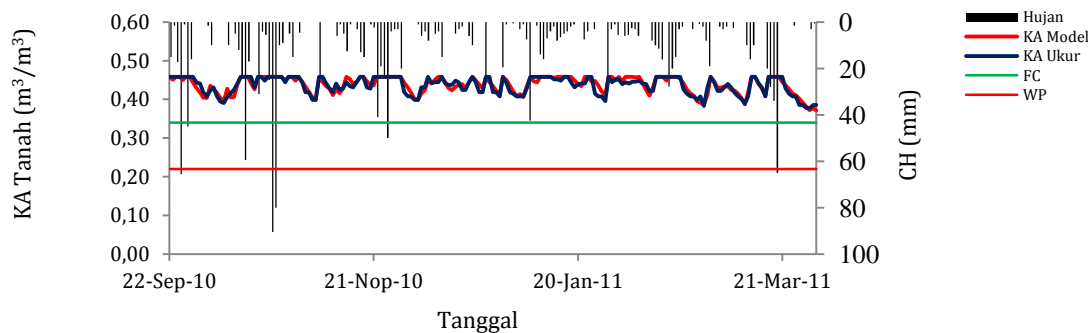
4.6 Model pengelolaan aliran permukaan dalam konsep kesetimbangan air

Model pengelolaan aliran permukaan (Model Zoro) dikembangkan berdasarkan konsep kesetimbangan air yaitu, setiap perubahan kadar air dari suatu volume tanah selama periode tertentu perbedaannya harus sama antara jumlah air yang ditambahkan dengan jumlah air yang keluar dari tanah tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa perubahan kadar air tanah di dalam zone perakaran sama dengan air yang masuk dalam hal ini hujan dan gaya kapiler (*capillary rise*), dikurangi semua kehilangan melalui aliran permukaan (*runoff*), perkolasi dalam dan evapotranspirasi. Dalam model *zorro*, parameter Q_r (*runoff*) tidak diperhitungkan karena dibuat saluran peresapan air yang dilengkapi rorak sehingga runoff menjadi tidak ada (nol). Penelitian dilakukan di lahan kering pekarangan (tidak dilakukan irigasi) dengan tinggi muka air tanah di atas 16 m sehingga komponen *GW* (kontribusi pergerakan kapiler dari air bawah tanah) dan *I* (irigasi) juga menjadi tidak ada (nol).

Untuk mengetahui perubahan kadar air tanah di kebun belimbing akibat perlakuan teknik panen air (saluran resapan+rorak) dilakukan simulasi dengan pemrograman komputer dalam bahasa *BASIC* menggunakan fasilitas *Visual Basic for Applicatios* (VBA) pada MS Excel 2007.

Data yang digunakan untuk simulasi yaitu, data curah hujan, evapotranspirasi, dan kedalaman perakaran. Data evapotraspirasi yang digunakan adalah evapotrasnpirasi yang telah dikoreksi dengan faktor tanaman. Merrit (2002) menyatakan bahwa nilai faktor tanaman (*kc*) untuk tanaman buah tropika (*topical fruit tress*) nilai *kc* 0.98. Dalam perhitungan kesetimbangan air, kadar air tanah di zona perakaran pada kondisi awal ditentukan berdasarkan data pengukuran langsung di lapangan dengan menggunakan tensiometer pada kedalaman 30 cm dari permukaan tanah.

Tahap awal dari simulasi adalah melakukan pengecekan besar error antara data hasil simulasi dengan hasil pengukuran. Validasi dilakukan untuk mengetahui nilai kepercayaan dari hasil simulasi. Validasi model menggunakan data curah hujan, evapotranspirasi dan data kadar air tanah pada saat penelitian, yaitu pada periode antara tanggal 22 September 2010 sampai dengan 31 Maret 2011. Nilai kadar air tanah harian di zone perakaran hasil simulasi dan hasil pengukuran serta data curah hujan disajikan pada Gambar 11.



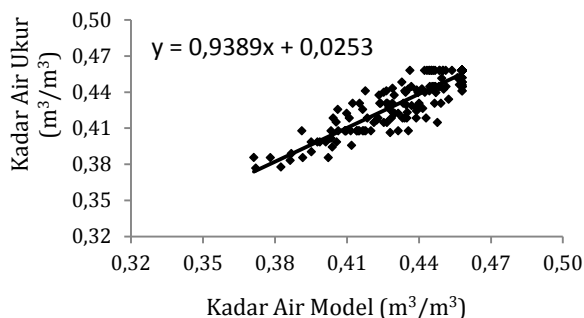
Gambar 11 Simulasi kadar air tanah hasil pengukuran dan model

Pada Gambar 11 terlihat bahwa pola/grafik kadar air tanah hasil pengukuran dan hasil simulasi relatif sama yaitu mengikuti pola curah hujan. Pada periode tidak terjadi hujan, kadar air tanah menurun secara bertahap, disebabkan penyerapan air oleh tanaman dalam bentuk

evapotranspirasi. Sebaliknya pada saat terjadi hujan, kadar air tanah kembali meningkat.

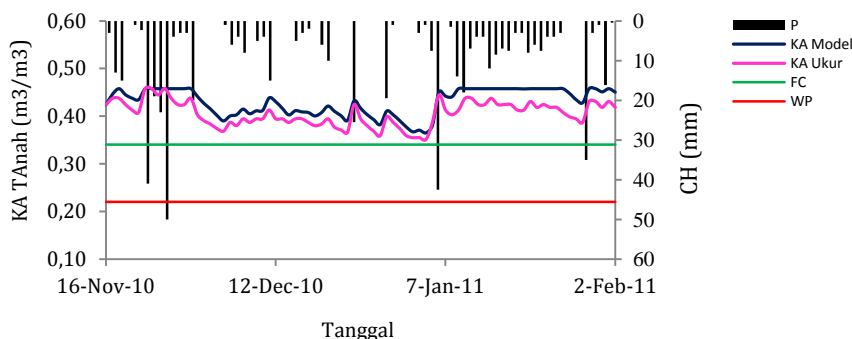
Dari hasil validasi (Gambar 12) diperoleh nilai tingkat kepercayaan (R^2) yang relatif tinggi yaitu sebesar 0.83 dengan persamaan $Y = 0.938 X - 0.025$ dan nilai *RSME* sebesar 0.001. Nilai R^2

yang relatif tinggi menunjukkan bahwa kinerja model relatif valid dalam mensimulasikan kadar air tanah di zona perakaran. Oleh karena itu, *model zoro* dapat digunakan untuk memprediksi perubahan kadar air tanah harian di kebun belimbing dengan teknik panen air (saluran + rorak).



Gambar 12 Validasi kadar air tanah hasil pengukuran dan model

Untuk mengetahui efektivitas teknik panen air dalam mengendalikan aliran permukaan, nilai kadar air tanah hasil simulasi model *zoro*



Gambar 13 Kadar air tanah dengan perlakuan panen air dan tanpa panen air

Model *zoro* ini sangat bermanfaat untuk menentukan langkah selanjutnya, tindakan apakah yang perlu dilakukan setelah mengetahui gambaran kadar air tanah disekitar perakaran secara keseluruhan. Namun demikian, model ini masih mempunyai beberapa kelemahan dan diperlukan penelitian lebih lanjut terutama dalam teknik pengukuran kadar air tanah di lapangan. Untuk mengetahui kadar air tanah di lapangan, dalam penelitian menggunakan tensiometer yang ditempatkan hanya pada satu kedalaman perakaran tanaman. Idealnya tensiometer dipasang pada kedalaman yang berbeda pada areal tanah yang sama, ini dapat

dibandingkan dengan nilai kadar air tanah hasil simulasi tanpa perlakuan teknik panen air dengan memasukkan parameter aliran permukaan (Q_r). Nilai aliran permukaan dihitung dengan menggunakan metode SCS.

Gambar 13 menunjukkan bahwa nilai kadar air tanah pada perlakuan panen air (dengan saluran resapan+rorak) maupun tanpa perlakuan panen air (tanpa saluran resapan+rorak) relatif tinggi yakni di atas nilai kadar air tanah kapasitas lapang. Tingginya kadar air tanah tersebut disebabkan oleh curah hujan yang relatif tinggi selama penelitian. Namun demikian, kadar air tanah pada perlakuan panen air lebih tinggi dibandingkan tanpa perlakuan panen air, berturut-turut sebesar 0,399-0,458 m^3/m^3 dan 0,352-0,458 m^3/m^3 . Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan panen air (dengan saluran resapan+rorak) efektif mengendalikan aliran permukaan dan dapat menampung curah hujan. Air hujan yang tertampung pada rorak dapat menimbulkan aliran lateral (*seepage*) dan menunda infiltrasi, sehingga ketersediaan air tanah dapat bertahan lebih lama.

digunakan untuk memperoleh gambaran kadar air tanah pada berbagai keadaan. Di samping itu, perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk melihat efektivitas teknik panen air dengan saluran resapan+rorak dalam mengendalikan aliran permukaan pada kondisi iklim yang berbeda.

V. KESIMPULAN

1. Peningkatan curah hujan diikuti oleh peningkatan produktivitas buah belimbing. Pola hubungan curah hujan (x) dengan produktivitas buah belimbing (y) membentuk

persamaan regresi linier $Y = 0,011 X + 90,07$; koefisien determinasi R Square (r^2) sebesar 0,85, nilai F 11,30; p 0,002. Curah hujan berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas belimbing.

2. Produktivitas belimbing meningkat dengan meningkatnya evapotranspirasi, membentuk persamaan regresi linier $Y = 0,299 X - 13,93$ dengan koefisien determinasi R Square (r^2) sebesar 74%, nilai F sebesar 5,56; p 0,14, Evapotranspirasi berpengaruh terhadap peningkatan produktivitas belimbing. Diperoleh nilai ET_m sebesar 410,36 mm/periode panen dan Y_{maks} sebesar 108,89 kg/pohon/panen.
3. Curah hujan yang relatif tinggi diikuti tingginya resapan kadar air tanah di zona perakaran tanaman dengan kisaran 0,429-0,458 m^3/m^3 , dan tanaman belimbing dapat berproduksi sepanjang tahun dengan 4 kali panen dalam setahun.
4. Model zero dapat digunakan untuk memprediksi kadar air tanah di zona perakaran dengan perlakuan panen air dilihat dari kinerja yang sangat baik dan koefisien determinasi r^2 cukup tinggi mencapai 0.83.
5. Perlakuan panen air (saluran resapan yang dilengkapi rorak) memberikan pengaruh yang positif terhadap ketersediaan air di zona perakaran tanaman belimbing. Kadar air tanah pada perlakuan panen air dan tanpa perlakuan panen air berturut sebesar 0.399-0.458 m^3/m^3 dan 0.352-0.458 m^3/m^3 .

DAFTAR PUSTAKA

- Abdurachman, A., dan Sutono. 2002. *Teknologi pengendalian erosi lahan berlereng*. hlm. 103-145 dalam Abdurachman, A., Mappaona, dan Arsil Saleh (Eds.) *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Bogor.
- Agus, F., E. Surmaini, dan N. Sutrisno. 2002. *Teknologi hemat air dan irigasi suplemen*. hlm. 239- 264 dalam Abdurachman et al. (Eds.). *Teknologi Pengelolaan Lahan Kering. Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian Departemen Pertanian.
- Arsyad, S. 2000. *Pengawetan Tanah dan Air. Departemen Ilmu-Ilmu Tanah*. Fakultas Pertanian. Institut Pertanian Bogor.
- Balai Penelitian Tanah. 2011. *Teknologi Panen Hujan dan Konservasi Air*.
- Bray, E., 1997. *Plant responses to water deficit*. Trends in Plant Sci., 2, 48-54.
- Dinas Pertanian Kota Depok. 2007. *Laporan Tahunan Dinas Pertanian Kota Depok 2007*.
- Direktorat Tanaman Buah, Direktorat Bina Produksi. 2004. *Standar Prosedur Oprasional (SPO) Bilimbing*. Direktorat Tanaman Buah, Direktorat Bina Produksi Hortikultura, Departemen Pertanian.
- Ditjen BPPHP Departemen Pertanian. 2002. *Belimbing. Wahana Informasi Teknologi Pasca Panen dan Pengolahan Hasil Pertanian*. No. 19. Subdit Teknologi Pengolahan Hasil Hortikultura
- Doorenbos, J dan A. H. Kassam, 1979, *Yield Respon to Water*. *FAO Irrigation and Drainage Paper 33*. Rome, Italy: 193.
- Fitter, A.H dan R.KM. Hay. 1998. *Fisiologi Lingkungan Tanaman. Andayani, S dan Purbayanti, E.D (ed. Terjemahan)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta. P.142-199
- Gomez, K. A dan A.A Gomez. 1995. *Prosedur Statistik untuk Penelitian Pertanian. Edisi Kedua*. Universitas Indonesia.
- Guslim, 2007. *Agroklimatologi*. USU Press, Medan.
- Jackson, I. J. 1977. *Climate, Water, dan Agriculture in Tropik*. Longman. London
- Kartasapoetra, Ance Gunarsih. 1993. *Klimatologi Pengaruh Iklim terhadap Tanah*
- Merit, W.S. (2002). *The Biophysical Toolbox: A Biophysical Modeling Tool Develoved Within the IWRM-DSS*. ICAM Working Paper 2001/01
- Noeralam, A. 2002. *Teknik Pemanenan Air yang Efektif dalam Pengelolaan Lengan Tanah Pada Usaha Tani Lahan Kering. Desertasi. Program Pasca Sarjana*. Institut Pertanian Bogor.

- Noeralam, A, S. Arsyad, dan A. Iswandi. 2003. Teknik Pengendalian Aliran Permukaan Yang Efektif Pada Usahatani Lahan Kering Berlereng. Effective Technique. of Run Off Control on Sloping Upland Farming. *Jurnal Tanah dan Lingkungan*, Vol. 5 No.1, April 2003: 13-16.
- Odum E,P, (1993). *Dasar-dasar Ekologi*. Jogjakarta. Gadjah Mada University Press.
- Oldeman, L. R. 1975. *An Agroclimate Map of Java*. Central Research Institute for Agriculture Bogor.
- Panigrahi B dan S. N. Panda. 2003. *Field Test of a Soil Water Balance Simulation Model*. ELSEVIER. Agricultural Water Management 58 (2003) 223-240.
- Pereira, L.S. and R.G. Allen. 1999. Crop Water Requirement. In. *CIGR Handbook of Agricultural Engineering Vol. I Land & Water Engineering*. Editors: van Lier, H.N., L.S. Pereira, and F.R. Steiner.. American Society of Agricultural Engineering. Chapter 5.
- Samson, J.A. 1992. *Averrhoa Carambola. L. Plant Resources of South-East Asia II: Edible Fruits and Nuts*. Bogor: Prosea Foundtion. p. 96-98
- Satyawibawa, I., dan Y. E. Widyastuti. 1992. *13 Jenis Belimbing Manis*. Penanaman dan Usaha Penangkaran. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Stewart B.A., D.A Woolhiser, W.H. Wischmeier, L.H. Caro and M.H.Frere. 1976. *Control of water pollution from cropland*. Vol. 2. An overview. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service. Beltsville, Maryland, USA.
- Tala'ohu, S. H., A. Abdurachman, dan H. Suwardjo. 1992. *Pengaruh teras bangku, teras gulud, slot mulsa flemingia dan strip rumput terhadap erosi, hasil tanaman dan ketahanan tanah Tropudult di Sitiung*. Hlm. 79 - 89 dalam *Prosiding Pertemuan Teknis Penelitian Tanah : Bidang Konservasi Tanah dan Air*. Bogor, 22 -24 Agustus 1989. Puslittanak. Bogor.