



**MODEL ALIRAN DAN PENGGUNAAN SOFTWARE UPFLOW  
UNTUK EVALUASI IRIGASI EVAPORATIF UNTUK TANAMAN PADI  
DENGAN PERBEDAAN TEKSTUR TANAH**

*THE USAGE WATER FLOW MODEL AND UPFLOW SOFTWARE  
FOR EVAPORATIVE IRRIGATION EVALUATION OF RICE CROPS  
WITH DIFFERENT SOIL TEXTURE*

Oleh:

**Ardiansyah<sup>1)</sup>✉, Afik Hardanto<sup>1)</sup>, Satyanto K. Saptomo<sup>2)</sup>, Chusnul Arif<sup>2)</sup>**

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Pertanian, Universitas Jenderal Soedirman  
Kampus Teknologi Pertanian-UNSOED, Jl. Dr. Soeparno, Karangwangkal, Purwokerto, Indonesia

<sup>2)</sup>Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University  
Jl. Raya Dramaga, Kampus IPB Dramaga, PO BOX 220, Bogor, Jawa Barat, Indonesia

✉Komunikasi Penulis, Telp: 085764379752; email: ardi.plj@gmail.com

Naskah ini diterima pada 19 Juni 2023; revisi pada 17 Juli 2023;  
disetujui untuk dipublikasikan pada 20 Desember 2023

**ABSTRACT**

Subsurface irrigation using sheet-pipe requires determining the depth of sheet-pipe installation. The aim of this research is to determine the profile of groundwater rise in an evaporative irrigation system for three types of soil with different textures (at different locations), determine the capillary rise flux at these locations, and design the laying of the water supply pipe (water table) for the evaporative irrigation system effective. The locations chosen were Malang, Samosir and Lampung. Soil texture profiles from each of the three locations; silt loam-clay loam, clay-clay loam-clay, and silt loam-silt-loam-clay loam. Evaporative irrigation by providing water from below the root zone with a drainage pipe called sheet-pipe. The first stage was simulating capillarity water flow using a flow model. Simulation was carried out on existing texture, namely clay, clay loam and silt loam. The next stage was to use UPFLOW to determine the flux and determine the sheet-pipe position. At this stage, the ET demand for each phase of plant development was determined to be 1.2 mm/day (early stage), 2.6 mm/day (vegetative or development), 2.7 mm/day (fertilization), and 1.6 mm/day (seed maturation). Simulation shows that capillarity cannot keep up with ET demand, so the soil surface to a depth of around 5 cm shows low water content. The low water content was less than the critical water content. UPFLOW result shows that sheet pipes must be installed at different depths at the three locations to meet ET demand and sufficient aeration for rooting. The soil texture profile determines this depth.

**Keywords:** *water flow model, UPFLOW software, evaporative irrigation, ET demand*

**ABSTRAK**

Irigasi bawah permukaan dengan menggunakan sheet-pipe memerlukan penentuan kedalaman pemasangan *sheet-pipe*. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan profil kenaikan air tanah pada sistem irigasi 1vaporative untuk tiga jenis tanah dengan tekstur berbeda (pada lokasi berbeda), menentukan *capillary rise flux* pada lokasi-lokasi tersebut, dan mendesain peletakkan pipa suplai air (water table) sistem irigasi 1vaporative yang efektif. Lokasi yang dipilih adalah Malang, Samosir, dan Lampung. Profil tekstur tanah dari ketiga lokasi tersebut masing-masing; *silty loam-clay loam, clay-clay loam-clay, dan silt loam-silt-loam-clay loam*. Irigasi 1vaporative dengan memberikan air dari bawah zona perakaran dengan pipa drainase yang disebut *sheet-pipe*. Tahap pertama simulasi aliran air kapilaritas menggunakan model aliran. Simulasi dilakukan pada jenis tekstur yang ada, yaitu *clay, clay loam dan silt loam*. Tahap selanjutnya adalah menggunakan software UPFLOW untuk menentukan flux dan menentukan posisi *sheet-pipe* yang dapat memenuhi kebutuhan evapotranspirasi tanaman (ET *demand*). Pada tahap ini ditetapkan ET *demand* untuk tiap fase perkembangan tanaman adalah 1,2 mm/hari (tahap awal), 2,6 mm/hari (vegetatif atau perkembangan), 2,7 mm/hari (pembuahan), dan 1,6 mm/hari (pematangan biji). Simulasi menunjukkan kapilaritas tidak dapat mengimbangi ET *demand*, sehingga permukaan tanah hingga kedalaman sekitar 5 cm menunjukkan kadar air rendah. Kadar air rendah tersebut kurang dari kadar air kritis. Perhitungan dengan UPFLOW menunjukkan *sheet-pipe* harus diinstal pada kedalaman yang berbeda pada ketiga lokasi tersebut agar tercukupinya ET *demand* dan aerasi cukup untuk perakaran. Profil teksur tanah menentukan kedalaman tersebut.

**Kata kunci:** *model aliran, software UPFLOW, irigasi evaporatif, ET demand*

## I. PENDAHULUAN

Alokasi penggunaan air lebih banyak diberikan untuk pertanian padi sawah dibandingkan dengan industri dan rumah tangga (perkotaan) (Ardiansyah, 2008). Dengan irigasi permukaan, total konsumsi air tanaman padi berkisar antara 1487,2 mm dan 2320,3 mm (Hasanah, Setiawan, Arif, & Widodo, 2015). Metode pemberian air *Alternate Wetting and Drying* (AWD) yang digunakan dalam metode pertanian *System of Rice Intensification* (SRI) dapat menekan konsumsi air hingga 50% (Barrett, Moser, McHugh, & Barison, 2004; Satyanarayana, Thiyagarajan, & Uphoff, 2006; Uphoff, 2012).

Irigasi evaporatif bertujuan untuk memberikan air sejumlah kebutuhan tanaman pada tiap fase yang sedang dilaluinya (Ardiansyah, Setiawan, Arif, & Saptomo, 2019). Prinsipnya adalah dengan menggunakan perubahan kadar air permukaan akibat evaporasi sebagai penggerak aliran air dari bawah tanah ke permukaan. Pemberian air dilakukan melalui bawah permukaan dengan menetapkan kedalaman air (*water table*) tertentu. Mekanisme pemberian airnya adalah dengan mengendalikan katup pelampung yang terbuka apabila ada penurunan air akibat evapotranspirasi di lahan. Sistem ini tidak membutuhkan tenaga listrik untuk mengatur buka tutup katup. Karena sifatnya yang *self-regulating*, sistem ini dapat dikategorikan sebagai '*smart system*' (Arif, Setiawan, Saptomo, Taufik, *et al.*, 2021; Saptomo *et al.*, 2021).

Di lahan sawah, irigasi evaporatif dapat diterapkan dengan menggunakan *sheet pipe*. *Sheet-pipe* awalnya adalah metode drainase pada padi sawah untuk mencegah terjadinya penurunan produktivitas karena defisiensi aerasi (Arif, Setiawan, Saptomo, Matsuda, *et al.*, 2021). Posisi *sheet-pipe* yang terletak di bawah zona perakaran memungkinkan penggunaannya sebagai irigasi bawah permukaan. Dengan memberikan sumber air pada ketinggian tertentu, *sheet-pipe* akan berfungsi sebagai emitter untuk sistem irigasi evaporatif. Fungsinya juga mirip *water table* yang ada di bawah permukaan tanah. Tanah yang berada di sekitar *sheet-pipe* dapat dianggap memiliki kadar air jenuh ( $\theta_s$ ).

Permasalahan yang perlu diatasi adalah ketersediaan air dari bawah permukaan untuk mengairi tanaman padi selama satu musim tanam. Adanya variasi pada tekstur tanah akan berpotensi pada perbedaan profil aliran ke daerah perakaran. Perancangan posisi *water table* yang tepat di bawah permukaan tanah diharapkan akan dapat memenuhi kebutuhan evapotranspirasi dan meningkatkan efisiensi pemberian air.

Dibandingkan dengan irigasi permukaan, irigasi evaporatif menekan kehilangan air dari saluran dalam bentuk evaporasi atau rembesan.

Secara teoritis metode irigasi evaporatif memungkinkan untuk dilakukan, namun belum ada kajian mengenai desain *water table* pada perbedaan tekstur tanah. Posisi penempatan *water table* menjadi penting mengingat *capillary rise flux* (fluks kenaikan air) harus dapat memenuhi kehilangan air yang terjadi karena evapotranspirasi.

Tujuan penelitian ini adalah; 1) menentukan profil kenaikan air tanah pada sistem irigasi evaporatif untuk tiga jenis tanah dengan tekstur berbeda, 2) menentukan *capillary rise flux* pada tiga lokasi dengan profil tekstur tanah yang berbeda, 3) mendesain peletakkan pipa suplai air (*water table*) sistem irigasi evaporatif yang efektif pada ketiga lokasi.

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah air yang masuk ke *sheet-pipe* selalu dalam kondisi cukup. Asumsi lain adalah tidak terjadi hujan selama pertumbuhan tanaman, sehingga irigasi murni melalui penanaman *sheet pipe*. Kondisi air dalam *sheet-pipe* selalu penuh, sehingga dapat dianggap sebagai *water table* dan sumber air (*source*).

## II. METODOLOGI

### 2.1 Lokasi

Tiga lokasi dengan profil tekstur yang berbeda dipilih sebagai bahan kajian. Lokasi tersebut adalah Malang, Samosir, dan Lampung. Profil tekstur tanah pada ketiga lokasi tersebut diperoleh dari data sekunder (Baihaqi, 2017; Kasno, Irawan, Husnain, & Rochayati, 2017; Lubis, Nasution, & Razali, 2017). Profil tekstur ketiga daerah tersebut dapat dilihat Tabel 1.

### 2.2 Rancangan Sistem Irigasi Evaporatif

Dalam penelitian ini, irigasi evaporatif dengan menggunakan *sheet pipe* seperti pada Gambar 1. Pipa suplai air ditanam di bawah permukaan tanah pada kedalaman tertentu. Pori-pori di pipa di bawah tanah memungkinkan terjadinya aliran naik dengan prinsip kapilaritas. Aliran ini akan menuju ke daerah perakaran, sehingga dapat digunakan tanaman. Perbedaan dengan irigasi bawah permukaan lainnya, seperti irigasi kendi, dalam sistem ini pipa diletakkan dibawah zona perakaran.

### 2.3 Tahapan Penelitian

Tahap awal penelitian ini (tahap 1) adalah menyimulasikan aliran air pada tiap tekstur tanah yang ditemukan pada ketiga lokasi. Aliran air dapat

diketahui melalui profil kadar air pada lapisan-lapisan tanah. Perhitungan aliran air dan profil kadar air dilakukan menggunakan model aliran air untuk tanah tak jenuh. Persamaan dasarnya adalah (Hillel, 1998):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial q}{\partial z} \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- $\theta$  = kadar air pada lapisan-lapisan tanah (cm<sup>3</sup>/cm<sup>3</sup>)
- $q$  = adalah fluks air pada lapisan tanah, baik yang masuk maupun keluar (cm/hari)
- $t$  = durasi waktu (hari)
- $z$  = adalah kedalaman tanah (cm)

Tanah dibagi menjadi lapisan-lapisan (diskritisasi), lalu pada tiap lapisan dihitung total fluks, baik yang masuk maupun keluar dari lapisan tersebut. Untuk perhitungan pada permukaan tanah digunakan Persamaan 2.

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (q - q_{out} - ETc + q_c) \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan:

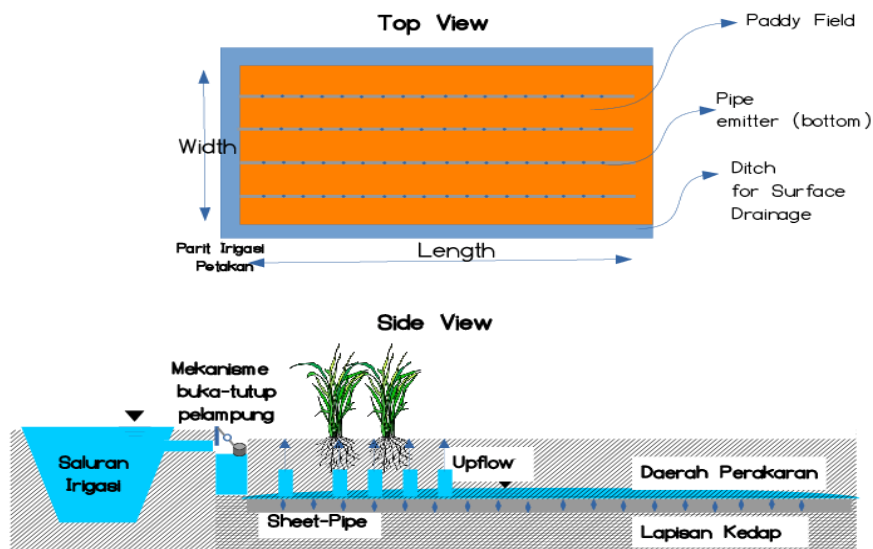
- $q$  = flux aliran air yang masuk ke lapisan tanah (cm)
- $q_{out}$  = flux aliran air yang keluar dari lapisan (cm)
- ETc = evapotranspirasi dari permukaan tanah yang tergantung pada fase perkembangan tanaman (cm)
- $q_c$  = kenaikan air kapiler atau *capillary rise* (cm)

Pengurangan air karena evapotranspirasi tidak terdapat pada lapisan tanah di bawah permukaan, sehingga menjadi Persamaan 3.

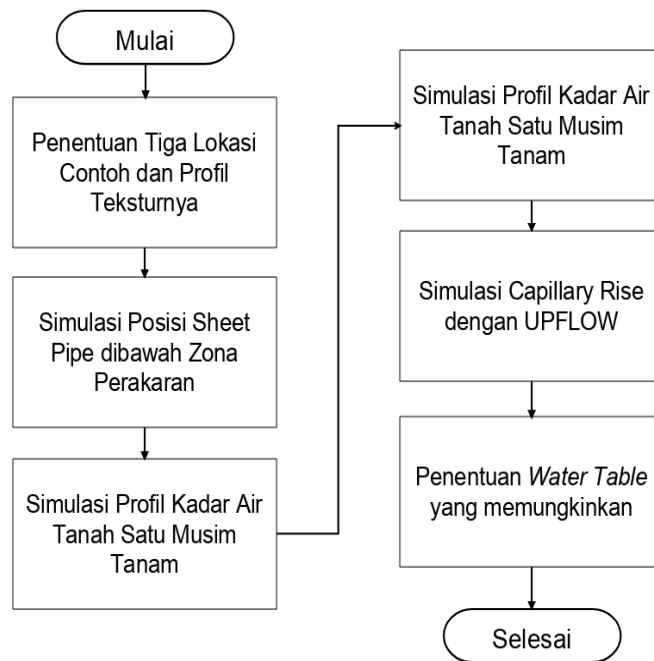
$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial z} (q - q_{out} + q_c) \dots\dots\dots (3)$$

Penempatan *sheet-pipe* (sebagai *water table*) ditetapkan pada kedalaman 60 cm. Jika tanaman padi memiliki kedalaman zona akar 50 cm, berarti *sheet-pipe* ditempatkan 10 cm dibawah zona akar. Kadar air pada posisi *sheet-pipe* diasumsikan jenuh. Dengan adanya pengurangan kadar air akibat evapotranspirasi di permukaan, maka akan terjadi aliran air dari *water table* ke permukaan. Model aliran pada Persamaan 2 dan 3 diprogram menggunakan bahasa pemrograman Python untuk kemudian dievaluasi profil kadar air selama satu musim tanam padi.

Tahap berikutnya (tahap 2), adalah mensimulasikan *capillary rise* yang memenuhi kebutuhan evapotranspirasi pada tiga lokasi yang dipilih. Pada tahap ini digunakan *software* UPFLOW (Ali, Abustan, & Islam, 2013; Udom & Nta, 2020). Tahap ini dilakukan untuk menentukan *water table* yang memenuhi *ET demand* dan pengaruhnya terhadap kebutuhan aerasi tanah (*deficient aeration*). *Software* UPFLOW menghitung berapa banyak air yang akan masuk ke tanah melalui air dangkal ke lapisan atas dalam kondisi lingkungan tertentu. Kondisi yang dianggap stabil adalah ketika aliran dihitung dengan mengimbangi ET demand dan kadar air tanah di permukaan (Raes & Deproost, 2003). *Flowchart* penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1 Penggunaan *Sheet-Pipe* sebagai Emitter Sistem Irigasi Evaporatif



**Gambar 2** Flowchart Penelitian

Perbedaan penelitian pada tahap 1 dan 2 adalah; pada tahap 1, simulasi dilakukan pada *water table* yang tetap untuk mengetahui profile kadar air selama pertumbuhan. Pada tahap 2, simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi aerasi tanah pada dua jenis kedalaman. *Deficient aeration* adalah hal yang ingin dihindari pada metode ini, dimana tanah berada pada kondisi kekurangan oksigen karena jenuh air. *Deficient aeration* akan menyebabkan pertumbuhan akar yang tidak sehat dan penurunan aktivitas mikroba tanah. Penentuan kedalaman peletakan *sheet-pipe* akan berada pada kedalaman diantara dua jenis kedalaman tersebut.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Simulasi Model Aliran Air dalam Tanah

Tabel 1 menunjukkan bahwa tekstur tanah yang dikaji pada penelitian ini adalah: *clay, clay loam, silt loam*. Tabel 2 menunjukkan parameter-parameter yang melekat pada tekstur-tekstur tanah tersebut. Kurva retensi air untuk ketiga jenis tanah ini dapat dilihat pada Gambar 3. Kurva ini diperoleh dari persamaan Van Genuchten pada Persamaan 4 (Ghanbarian-alavijeh, Liaghat, Huang, & Van genuchten, 2010; Guellouz, Askri, Jaffré, & Bouhlila, 2020; Vereecken *et al.*, 2010). Sementara konduktivitas hidrolis dihitung dengan persamaan Mualem-Van Genuchten (Tian, Kool, Ren, Horton, & Heitman, 2019), seperti ditunjukkan pada Persamaan 5.

$$\theta(\psi) = \theta_r + (\theta_s - \theta_r) \frac{1}{[1 + |\alpha\psi^n|]^m} \dots\dots\dots (4)$$

$$K(S) = K_s S^L [1 - (1 - S^{n/(n-1)})^m]^2 \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:  $S = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$ , dan  $L = 0,5$

dimana pada Persamaan 4:

- $\theta$  = kadar air tanah (% volume)
- $\theta_r$  = kadar air tanah residual atau minimal dalam kondisi tanah kering (% volume)
- $\theta_s$  = kadar air tanah jenuh (% volume)
- $\psi$  = matrik potensial tanah atau *matrix suction* (kPa)
- $\alpha, n, m$  = parameter tanah

Sedangkan pada Persamaan 5:

- $K_s$  = konduktivitas hidrolis tanah jenuh (cm/hari)
- $K$  = konduktivitas hidrolis (cm/hari)
- $n, m$  = parameter tanah

Dari hasil simulasi profil kadar air pada beberapa jenis tanah tersebut diketahui evaporasi dalam satu musim tanam akan terus mengurangi kadar air di permukaan tanah. Penentuan *water table* pada kedalaman 60 cm atau 10 cm dibawah zona perakaran memberikan pola sebaran kadar air yang sama pada permukaan hingga 5 cm. Hal ini berlaku untuk ketiga tekstur, yaitu clay, clay loam dan silt loam. Lapisan tanah dari permukaan hingga kedalaman sekitar 5 cm akan berada pada kondisi kadar air kritis ( $\theta_c$ ) selama satu musim tanam. Model aliran menunjukkan bahwa aliran air ke permukaan tanah tidak akan bisa melampaui kebutuhan air untuk evapotranspirasi. Dalam tiap fase pertumbuhan, dengan perbedaan nilai

kebutuhan air tanaman (ETc), kadar air permukaan selalu dibawah  $\theta_c$ .

Kondisi permukaan tanah dengan kadar air dibawah  $\theta_c$ . terjadi karena penguapan pada masa awal tanam. Penguapan yang terjadi sekitar 4 mm. Nilai tersebut sebagian besar teruapkan dari permukaan tanah, karena tutupan lahan tanaman padi masih belum dominan. Nilai ini hampir mencapai nilai maksimum evapotranspirasi pada tanaman padi pada masa vegetatif. Secara teoritis, kadar air kritis adalah waktu dimana pemberian irigasi perlu dilakukan untuk mencegah kadar air titik layu permanen ( $\theta_{PWP}$ ), namun pada metode irigasi evaporatif, irigasi permukaan tidak

diberikan. Kondisi ini akan bertahan hingga akhir musim tanam atau panen. Hal yang perlu dipertimbangkan adalah, selama musim tanam, kadar air lapisan tanah yang lebih dalam dari 5 cm selalu berada diatas  $\theta_c$ . Pada zona kedalaman akar 50 cm, tidak akan terjadi gangguan pertumbuhan, karena 90% distribusi akar (45 cm) akan mendapatkan air.

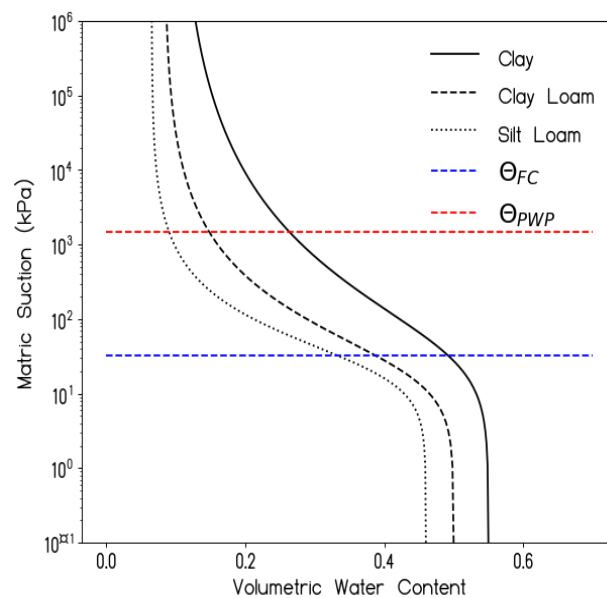
Pada awal pertumbuhan, jika kadar air pada 5 cm awal permukaan tanah menyebabkan gangguan pertumbuhan, maka perlu perlakuan khusus. Perlakuan tersebut misalnya dengan pemberian irigasi dan pengeringan secara berselang-seling, sehingga tetap menghemat air.

**Tabel 1** Kedalaman dan Tekstur Tanah di Tiga Lokasi (Contoh Kasus)

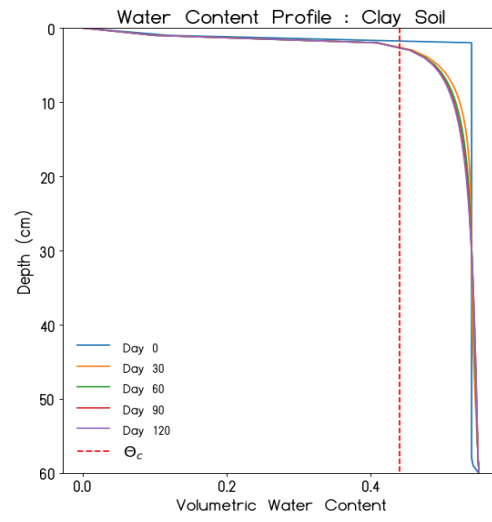
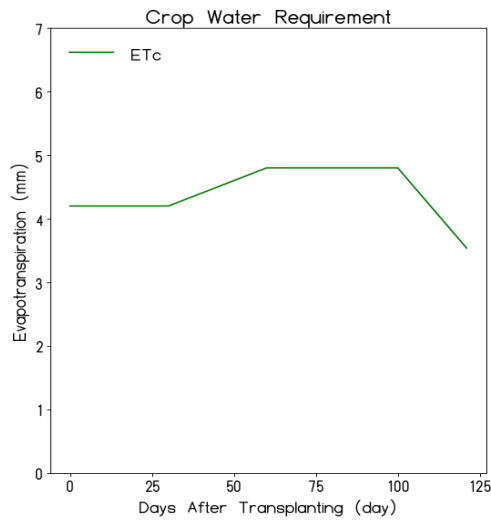
Malang		Samosir		Lampung	
Kedalaman (cm)	Tekstur	Kedalaman (cm)	Tekstur	Kedalaman (cm)	Tekstur
0 - 27	Silt loam	0 - 65	Clay	0 - 19	Silty clay
27 - 55	Silt loam	65 - 117	Clay	19 - 38	Clay
55 - 110	Clay loam	117 - 134	Clay	38 - 63	Clay
		134 - 150	Clay	63 - 100	Clay

**Tabel 2** Parameter Retensi Air pada Tekstur Tanah Tertentu (Raes, 2003)

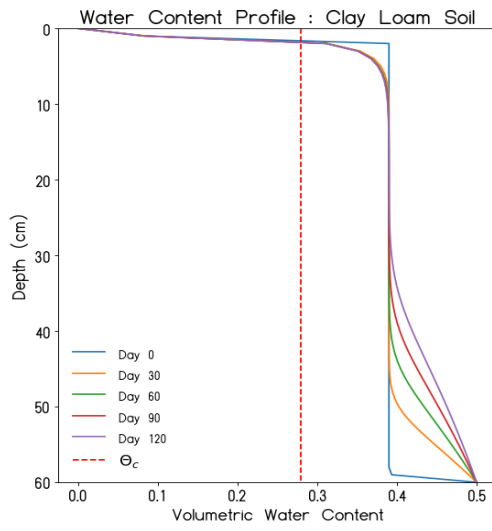
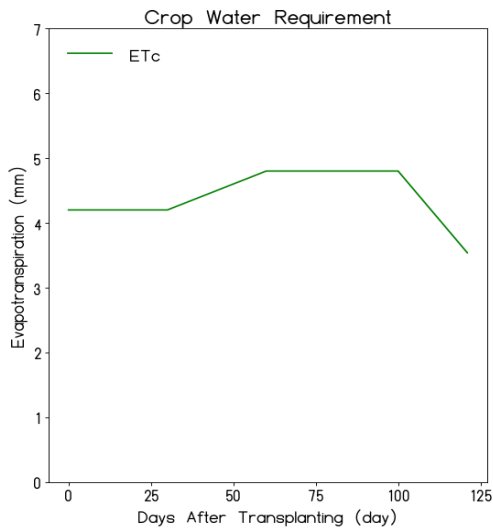
Tekstur Tanah	$\theta_{FC}$	$\theta_{PWP}$	$\theta_s$	$\theta_r$	$\alpha$	n
Clay	0,54	0,39	0,55	0,1	0,011	1,27
Clay Loam	0,39	0,23	0,50	0,083	0,012	1,44
Silt Loam	0,33	0,13	0,46	0,065	0,0049	1,67



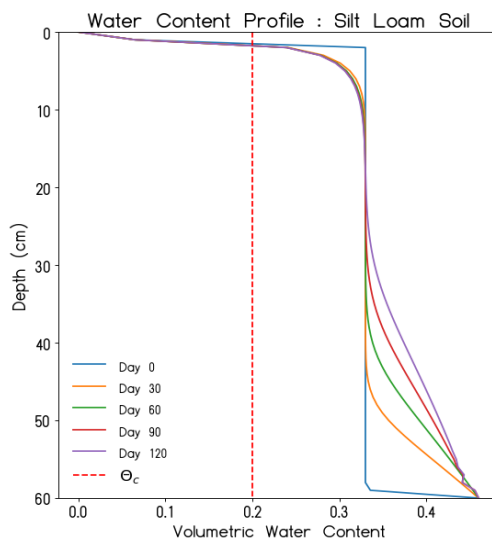
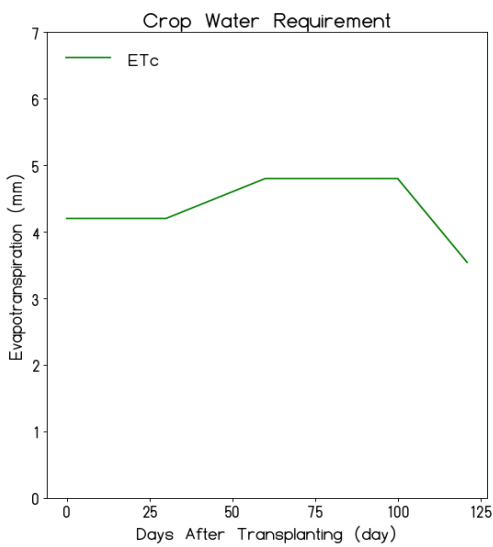
**Gambar 3** Kurva Retensi Air untuk Tiga Tekstur Tanah



(a)



(b)



(c)

**Gambar 4** Pola Sebaran Air pada Metode Irigasi Evaporatif untuk Tekstur Tanah (a) Clay, (b) Clay Loam, dan (c) Silt Loam

### 3.2 Penggunaan Software UPFLOW

Tiga lokasi yang digunakan, yaitu Malang, Samosir, dan Lampung memiliki profil tekstur masing-masing *silty loam-clay loam*, *clay-clay loam-clay*, dan *silt loam-silt-loam-clay loam* (Tabel 1). Kebutuhan evapotranspirasi (*ET demand*) yang diberikan untuk tiap tahap perkembangan adalah; 1,2 mm/hari (tahap awal), 2,6 mm/hari (vegetatif atau perkembangan), 2,7 mm/hari (pembuahan), dan 1,6 mm/hari (pematangan biji).

### 3.3 Skenario Daerah Malang

Daerah Malang memiliki profil tekstur tanah *silt loam* pada kedalaman 0-60 cm dan *clay loam* pada kedalaman 60 cm–1.000 cm. Dengan profil tersebut dilakukan simulasi untuk memenuhi kebutuhan evapotranspirasi pada tiap musim. Tabel 3 menunjukkan kedalaman *water table* yang harus diberikan akan menyesuaikan dengan kebutuhan evapotranspirasi pada tiap fase. Fase yang membutuhkan air paling banyak, yaitu pembuahan membutuhkan *water table* yang paling rendah, yaitu 0,5 m, berbeda dengan fase lainnya.

Satu hal yang perlu diperhatikan dalam pemberian irigasi bawah permukaan adalah kondisi *deficient aeration*, dimana terdapat air berlebih yang mengganggu aerasi tanah. Penempatan *water table* yang lebih dangkal menyebabkan terjadinya *deficient aeration* pada fase vegetatif aktif dan pembuahan, masing-masing sebesar 37% dan

50%. Kondisi ini dapat diperbaiki dengan menurunkan *water table*, namun dengan resiko tidak terpenuhinya evapotranspiration demand. Tabel 4 menunjukkan dampak penurunan *water table* lebih dalam hingga 0,8 cm. Pada setiap tahap pertumbuhan tidak terdapat *deficient aeration*, namun kenaikan air (*capillary rise*) tidak dapat memenuhi *ET demand* pada fase vegetatif aktif, pembuahan dan pematangan biji.

Jika *water table* dinaikkan pada kedalaman 0,5 m, *ET demand* akan terpenuhi oleh *capillary rise* namun *deficient aeration* akan terjadi pada tiap fase perkembangan (Tabel 5).

### 3.4 Skenario Daerah Samosir

Daerah Samosir memiliki profil tekstur tanah masing-masing *clay* (0-120 cm), *clay loam* (120-150 cm), dan *clay* (150-1.000 cm). Dengan demikian untuk memenuhi *ET demand*, *water table* harus diletakkan pada kedalaman di atas 1 m pada tiap fase perkembangan (Tabel 6). Kondisi demikian masih menyisakan *deficient aeration* sebesar 41% dan 31% pada fase vegetatif aktif dan pembuahan. Seperti halnya pada daerah Malang, menurunkan *water table* pada nilai konstan, yaitu 1,5 m (Tabel 7) akan menghilangkan *deficient aeration*, namun tidak dapat memenuhi *ET demand*. Sementara menaikkan *water table* ada kedalaman 1,3 m (Tabel 8) dapat memenuhi sebagian besar *ET demand*, namun meningkatkan *deficient aeration*.

**Tabel 3** Kedalaman *Water Table* yang Dibutuhkan pada Daerah Malang (Hasil Simulasi)

Fase Perkembangan	Kedalaman <i>Water Table</i> (m)	<i>Deficient Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)
Pertumbuhan awal	0,80	-	1,2
Vegetatif aktif	0,55	37	2,6
Pembuahan	0,50	50	2,7
Pematangan biji	0,75	-	1,6

**Tabel 4** *Water Table* 0,8 m terhadap *Deficient Aeration* dan *ET Demand*

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> Me jauhi Akar (m)	<i>Deficient Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	<i>ET demand</i> terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	0,80	-	1,2	100
Vegetatif aktif	0,80	-	1,4	54
Pembuahan	0,80	-	1,3	48
Pematangan biji	0,80	-	1,4	88

**Tabel 5** *Water Table* 0,5 m terhadap *Deficient Aeration* dan *ET Demand*

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> Me jauhi Akar (m)	<i>Deficient Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	<i>ET demand</i> terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	0,50	100%	1,2	100
Vegetatif aktif	0,50	54%	2,6	100
Pembuahan	0,50	50%	2,7	100
Pematangan biji	0,50	91%	1,6	100

**Tabel 6** Kedalaman *Water Table* yang Dibutuhkan pada Daerah Samosir (Hasil Simulasi)

Fase Perkembangan	Kedalaman <i>Water Table</i> (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)
Pertumbuhan awal	1,50	-	1,2
Vegetatif aktif	1,30	41	2,6
Pembuahan	1,30	31	2,7
Pematangan biji	1,45	-	1,6

**Tabel 7** *Water Table* 1,5 m terhadap *Deficient Aeration* dan *ET Demand*

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> Mejauhi Akar (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	<i>ET demand</i> terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	1,50	-	1,2	100
Vegetatif aktif	1,50	-	1,3	50
Pembuahan	1,50	-	1,3	48
Pematangan biji	1,50	-	1,3	81

**Tabel 8** *Water Table* 1,3 m terhadap *Deficient Aeration* dan *ET Demand*

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> Mejauhi Akar (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	<i>ET demand</i> terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	1,30	100	0,7	58
Vegetatif aktif	1,30	41	2,6	100
Pembuahan	1,30	31	2,7	100
Pematangan biji	1,30	100	1,1	69

### 3.5 Skenario Daerah Lampung

Profil tekstur tanah Daerah Lampung masing-masing adalah *silt loam* (0-27 cm), *silt loam* (27 cm-55 cm), dan *clay loam* (55 cm-110 cm). Variasi kedalaman *water table* pada tiap fase berkisar antara 1 m hingga 1,95 m (Tabel 9). Akan terdapat *deficient aeration* sebesar 79% dan 90% pada fase vegetatif aktif dan pembuahan. Sama seperti pada Daerah Malang dan Samosir. Seperti halnya pada daerah Malang, menurunkan *water table* pada nilai konstan, yaitu 1,45 m (Tabel 10) akan menghilangkan *deficient aeration*, namun tidak dapat memenuhi *ET demand* pada fase vegetatif aktif dan pembuahan. Sementara menaikkan *water table* pada kedalaman 1 m (Tabel 10) dapat memenuhi sebagian besar *ET demand*, namun meningkatkan *deficient aeration*.

Hasil simulasi aliran menunjukkan aliran kapilaritas tidak dapat mengimbangi *ET demand*, sehingga permukaan tanah hingga kedalaman sekitar 5 cm menunjukkan kadar air yang rendah. Kadar air rendah tersebut lebih rendah daripada kadar air kritis. Hasil perhitungan dengan *software* UPFLOW menunjukkan bahwa *pipe-sheet* harus diinstal pada kedalaman yang berbeda-beda pada ketiga lokasi yang dipilih. Profil tekstur tanah menentukan kedalaman tersebut. Salah satu pertimbangan penting adalah tercukupinya *ET demand* dan menyediakan aerasi yang cukup untuk perakaran.

Penentuan posisi kedalaman instalasi irigasi bawah permukaan, seperti sheet pipe, harus ditentukan secara tepat sebelum penanaman. Simulasi menggunakan model aliran dan *software*

UPFLOW menjadi penting untuk menjaga kebutuhan air tanaman terpenuhi. Berbeda dengan irigasi permukaan untuk sawah yang dilakukan penggenangan pada fase vegetatif, pada model irigasi evaporatif akan ada pembentukan lapisan kering (*dry layer*) sejak awal tanam. Hal ini disebabkan laju evapotranspirasi tidak dapat diimbangi kenaikan air kapiler, sementara kedalaman akar pada awal tanam masih dangkal. Pemberian kombinasi irigasi evaporatif dengan *Alternate-Wetting Drying (AWD)* dapat menjadi solusi saat transplantasi hingga beberapa waktu di fase vegetatif awal. Setelah akar semakin dalam, kebutuhan air dapat dipenuhi oleh kenaikan air kapiler pada lapisan tanah yang lebih dalam.

Terbentuknya lapisan kering memberikan keuntungan bagi lahan sawah. Lapisan kering akan bertindak sebagai mulsa yang menghalangi terjadinya evaporasi terus-menerus di permukaan. Dengan demikian pengurangan air pada daerah akar hanya terjadi karena transpirasi. Hal ini berdampak pada peningkatan produktivitas air.

Teknik irigasi evaporatif pada tulisan ini bergantung pada pipa yang ditanam atau tabung berpori yang dipasang di bawah permukaan tanah untuk mengirimkan air langsung ke area akar tanaman. Tekstur tanah sangat mempengaruhi pergerakan dan distribusi air di dalam profil tanah. Tekstur tanah secara langsung mempengaruhi kinerja irigasi bawah permukaan. Untuk merancang sistem irigasi bawah permukaan yang baik, menentukan frekuensi irigasi yang tepat, dan mengoptimalkan pengiriman air ke akar tanaman, sangat penting untuk memahami tekstur tanah di lahan pertanian.

**Tabel 9** Kedalaman *Water Table* yang Dibutuhkan pada Daerah Lampung (Hasil Simulasi)

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> mejaihi akar (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	ET demand terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	1,95	-	1,45	1,2
Vegetatif aktif	1,05	79	1,45	1,8
Pembuahan	1,00	90	1,45	1,8
Pematangan biji	1,50	-	1,45	1,6

**Tabel 10** *Water Table* 1,45 m terhadap *Deficient Aeration* dan ET Demand

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> mejaihi akar (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	ET demand terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	1,45	-	1,2	100
Vegetatif aktif	1,45	-	1,8	69
Pembuahan	1,45	-	1,8	67
Pematangan biji	1,45	-	1,6	100

**Tabel 11** *Water Table* 1,0 m terhadap *Deficient Aeration* dan ET Demand

Fase Perkembangan	<i>Water Table</i> mejaihi akar (m)	<i>Deficient</i> <i>Aeration</i> (%)	<i>Capillary Rise</i> (mm/day)	ET demand terpenuhi (%)
Pertumbuhan awal	1,00	90	1,2	100
Vegetatif aktif	1,00	30	2,6	100
Pembuahan	1,00	26	2,7	100
Pematangan biji	1,00	64	1,6	100

#### IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi model aliran dapat mengetahui kadar air tanah selama musim tanam untuk satu jenis tekstur. Pada sisi lain, simulasi menggunakan *software* UPFLOW mengetahui pemenuhan defisit aeration pada tanah dengan profil tekstur komposit. Dapat diketahui, pada setiap tekstur yang dikaji, laju evapotranspirasi tidak bisa diimbangi oleh aliran air kapiler yang naik ke atas. Kadar air pada permukaan akan berada di bawah kadar air kritis. Terbentuknya lapisan kering di permukaan tanah menyebabkan lapisan akar yang atas tidak bisa mengambil air. Kondisi tersebut bisa diatasi dengan pengambilan air dari bagian akar lainnya hingga kedalaman akar maksimum (50 cm). Pada saat awal tanam hingga fase vegetatif, ketika akar masih dangkal, kekurangan air pada permukaan dapat dipenuhi dengan pemberian irigasi permukaan dengan metode AWD. Perancangan peletakkan *water table* pada setiap taktur yang berbeda menjadi prosedur yang penting dilakukan sebelum penanaman padi. Biaya instalasi sheet-pipe yang relatif lebih sulit daripada irigasi permukaan membuat prosedur ini sangat penting untuk keberhasilan irigasi tanaman padi.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Nadiya Tussa'adah, mahasiswa Program Studi Teknik Pertanian yang telah membantu pada pengambilan data untuk kajian ini.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, M. H., Abustan, I., & Islam, S. (2013). Simulation of upward flux from shallow water-table using UPFLOW model. *Journal of Natural Resources and Development*, 3, 123-127. <https://doi.org/10.5027/jnrd.v3i0.12>
- Ardiansyah. (2008). *Estimation of Evapotranspiration in Cultivated and Uncultivated Paddy Field in Tropical Watershed.* Doctoral Thesis, The University of Tokyo. (Doctoral Thesis). The University of Tokyo, Tokyo, Jepang.
- Ardiansyah, Setiawan, B. I., Arif, C., & Saptomo, S. K. (2019). Peningkatan efisiensi aplikasi air pada petakan sawah dengan penerapan irigasi evaporatif (kajian teoritis). *Jurnal Irigasi*, 14(1), 47-54. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v14.i1.46-53>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Saptomo, S. K., Matsuda, H., Tamura, K., Inoue, Y., ... Suwarno, W. B. (2021). Performances of sheet-pipe typed subsurface drainage on land and water productivity of paddy fields in Indonesia. *Water*, 13(1), 48. <https://doi.org/10.3390/w13010048>
- Arif, C., Setiawan, B. I., Saptomo, S. K., Taufik, M., Saputra, S. F. D., Ardiansyah, & Mizoguchi, M. (2021). Functional design of smart evaporative irrigation for mina-padi system in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 622(1), 012052. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/622/1/012052>
- Baihaqi, M. R. (2017). *Perbedaan Karakteristik dan Klasifikasi Tanah Lahan Kering dan Lahan Sawah pada Bentuk Lahan Karst di Desa Sitarjo Malang (Disertasi)*. Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.

- Barrett, C. B., Moser, C. M., McHugh, O. V., & Barison, J. (2004). Better technology, better plots, or better farmers? Identifying changes in productivity and risk among Malagasy rice farmers. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(4), 869–888. <https://doi.org/10.1111/j.0002-9092.2004.00640.x>
- Ghanbarian-alavijeh, B., Liaghat, A., Huang, G. H., & Van genuchten, M. Th. (2010). Estimation of the van Genuchten Soil water retention properties from soil textural data. *Pedosphere*, 20(4), 456–465. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(10\)60035-5](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(10)60035-5)
- Guellou, L., Askri, B., Jaffré, J., & Bouhlila, R. (2020). Estimation of the soil hydraulic properties from field data by solving an inverse problem. *Scientific Reports*, 10(1), 9359. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-66282-5>
- Hasanah, N. A. I., Setiawan, B. I., Arif, C., & Widodo, S. (2015). Evaluasi koefisien tanaman padi pada berbagai perlakuan muka air. *Jurnal Irigasi*, 10(2), 57–68.
- Hillel, D. (1998). *Environmental Soil Physics: Fundamentals, Applications, and Environmental Considerations*. Elsevier.
- Kasno, A., Irawan, I., Husnain, H., & Rochayati, S. (2017). Integrated nutrient management of an acid paddy soil in Karang Tanjung Village, Padang Ratu, Central Lampung. *Journal of Tropical Soils*, 22(2), 97–106. <https://doi.org/10.5400/jts.2017.v22i2.97-106>
- Lubis, N. M. A., Nasution, Z., & Razali. (2017). Klasifikasi tanah lahan sawah terasering di Desa Huta Hotang Kecamatan Onan Runggu berdasarkan toposekuen. *Jurnal Online Agroekoteknologi*, 5(4), 764–772. <https://doi.org/10.32734/joa.v5i4.2489>
- Raes, D. (2003). UPFLOW: Model to assess water movement from a shallow water table to the root zone. *IUPWARE's Newsletter*, 2, 15–17.
- Raes, D., & Deproost, P. (2003). Model to assess water movement from a shallow water table to the root zone. *Agricultural Water Management*, 62(2), 79–91. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(03\)00094-5](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(03)00094-5)
- Saptomo, S. K., Rudiyanto, Askari, M., Arif, C., Suwarno, W. B., Adlan, ... Matsuda, H. (2021). Experimental and numerical investigation of laboratory scale sheetpipe-typed automatic subsurface irrigation. *Communications in Science and Technology*, 6(2), 117–124. <https://doi.org/10.21924/cst.6.2.2021.604>
- Satyanarayana, A., Thiyagarajan, T. M., & Uphoff, N. (2006). Opportunities for water saving with higher yield from the system of rice intensification. *Irrigation Science*, 25(2), 99–115. <https://doi.org/10.1007/s00271-006-0038-8>
- Tian, Z., Kool, D., Ren, T., Horton, R., & Heitman, J. L. (2019). Approaches for estimating unsaturated soil hydraulic conductivities at various bulk densities with the extended Mualem-van Genuchten model. *Journal of Hydrology*, 572, 719–731. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.027>
- Udom, I. J., & Nta, S. A. (2020). UPFLOW model prediction of capillary rise into root zone soil moisture for shallow water table soils of Obio Akpa river floodplain in the Niger-Delta environment, Nigeria. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 22(2), 21–31.
- Uphoff, N. (2012). Comment to ‘The System of Rice Intensification: Time for an empirical turn’, [NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences 57 (2011) 217–224]. *NJAS: Wageningen Journal of Life Sciences*, 59(1–2), 53–60. <https://doi.org/10.1016/j.njas.2012.02.001>
- Vereecken, H., Weynants, M., Javaux, M., Pachepsky, Y., Schaap, M. G., & van Genuchten, M. Th. (2010). Using pedotransfer functions to estimate the van Genuchten–Mualem soil hydraulic properties: A review. *Vadose Zone Journal*, 9(4), 795–820. <https://doi.org/10.2136/vzj2010.0045>