

**POLA PEMBASAHAN TANAH SISTEM IRIGASI TETES
DENGAN MENGGUNAKAN HYDRUS 2D/3D**

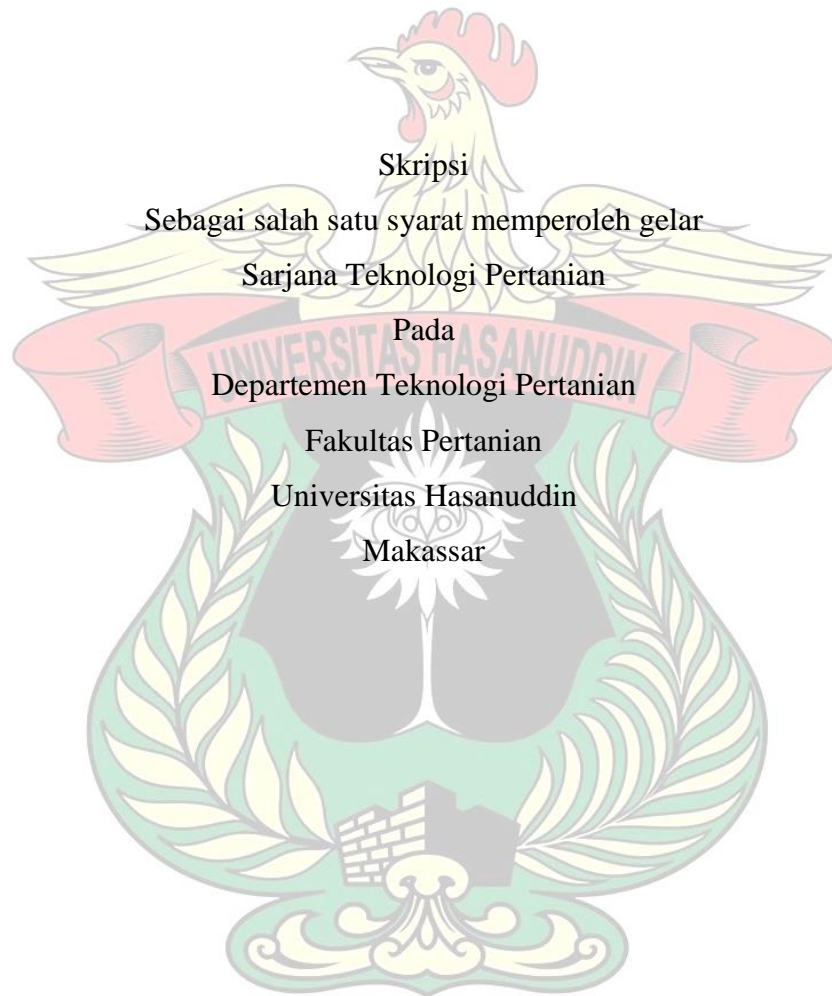
**Rabiatul Zuhaida Husain
G041 17 1020**



**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

**POLA PEMBASAHAN TANAH SISTEM IRIGASI TETES
DENGAN MENGGUNAKAN HYDRUS 2D/3D**

**RABIATUL ZUHaida HUSAIN
G041171020**



Skripsi

Sebagai salah satu syarat memperoleh gelar

Sarjana Teknologi Pertanian

Pada

Departemen Teknologi Pertanian

Fakultas Pertanian

Universitas Hasanuddin

Makassar

**DEPARTEMEN TEKNOLOGI PERTANIAN
FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2022**

LEMBAR PENGESAHAN

POLA PEMBASAHAN TANAH SISTEM IRIGASI TETES DENGAN MENGUNAKAN HYDRUS 2D/3D

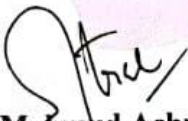
Disusun dan diajukan oleh
RABIATUL ZUHaida HUSAIN
G041171020


Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Hasanuddin pada tanggal 02 Juni 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan.

Menyetujui,

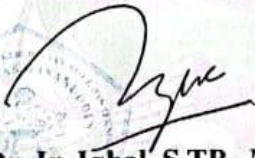
Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP
NIP. 19700603 199403 1 003


Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si
NIP. 19821209 201212 1 004

Ketua Program Studi


Dr. Ir. Iqbal, S.TP., M.Si., IPM
NIP. 19781225 200212 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Rabiatul Zuhaida Husain

NIM : G041171020

Program Studi : Teknik Pertanian

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa skripsi dengan judul Pola Pembasahan Tanah Sistem Irigasi Tetes dengan menggunakan HYDRUS 2D/3D adalah karya saya sendiri dan tidak melanggar hak cipta pihak lain. Apabila dikemudian hari skripsi karya saya ini membuktikan bahwa sebagian atau keseluruhannya adalah hasil karya orang lain yang saya pergunakan dengan cara melanggar hak cipta pihak lain, maka saya bersedia menerima sanksi.

Makassar, 2 Juni 2022

Yang Menyatakan



(Rabiatul Zuhaida Husain)

ABSTRAK

RABIATUL ZUHaida HUSAIN (G041171020). Pola Pembasahan Tanah Sistem Irigasi Tetes dengan menggunakan HYDRUS 2D/3D. Pembimbing: MAHMUD ACHMAD dan ABDUL AZIS.

Produktivitas lahan pertanian sangat bergantung terhadap ketersediaan air terutama lahan yang tidak memiliki infrastruktur pengairan. Untuk itu, diperlukan teknik irigasi yang dapat mengatasi permasalahan yang dihadapi petani. Pengelolaan irigasi tetes permukaan yang tepat perlunya mengetahui bagaimana distribusi air yang dikeluarkan oleh emiter di sekitar area perakaran. Simulasi numerik adalah pendekatan yang efisien untuk menyelidiki praktik manajemen tetesan yang optimal. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola pembasahan tanah dalam ukuran penetrasi vertikal dari emiter irigasi tetes secara pengamatan eksperimen dengan simulasi menggunakan *software* HYDRUS 2D/3D. Metode penelitian ini dilakukan dengan prosedur sebagai berikut: persiapan sampel tanah (lempung berpasir), pengukuran tekstur tanah dengan metode hydrometer, pengukuran nilai penetrasi vertikal pengamatan eksperimen dan simulasi HYDRUS 2D/3D. Hasil pengukuran nilai penetrasi vertikal antara keduanya dianalisis menggunakan rumus regresi linear sederhana. Terdapat 2 tekstur tanah yang disimulasikan yaitu tanah lempung berpasir dan pasir, dengan debit tetesan yaitu 51 mm/jam. Parameter hidraulik lainnya diprediksi menggunakan ROSETTA yang tergabung di HYDRUS 2D/3D. Hasil analisis menunjukkan perbandingan nilai penetrasi vertikal pengamatan eksperimen dan simulasi dengan nilai R^2 yaitu 0,9976. Ini berarti pengamatan eksperimen dan HYDRUS 2D/3D tidak berbeda jauh, sehingga pemodelan HYDRUS 2D/3D dapat digunakan untuk merencanakan pola pembasahan tanah menggunakan irigasi tetes. Dengan menggunakan setting simulasi pada tekstur lempung berpasir maka simulasi dilakukan pada tekstur tanah yang lain yaitu tekstur pasir menghasilkan pergerakan air lebih cepat pada penetrasi vertikal.

Kata Kunci: Pola Pembasahan Tanah, Irigasi Tetes, HYDRUS 2D/3D.

ABSTRACT

RABIATUL ZUHaida HUSAIN (G041171020). *Soil Wetting Pattern of Drip irrigation System Using HYDRUS 2D/3D*. Supervised by: MAHMUD ACHMAD and ABDUL AZIS.

The productivity of agricultural land is highly dependent on the availability of land water that does not have irrigation infrastructure. For this reason, irrigation techniques are needed that can overcome the problems faced by farmers. Proper management of surface irrigation needs to know how the distribution of air released by the emitter around the root area is needed. Numerical simulation is an efficient approach for implementing optimal droplet management practices. This study aims to determine the pattern of soil wetting in the vertical penetration measure of the drip irrigation emitter by experimental observations with simulations using HYDRUS 2D/3D software. This research method was carried out with the following procedures: soil sample preparation (sand loam), soil texture measurement using the hydrometer method, measurement of the penetration value of experimental observations and 2D/3D HYDRUS simulation. The results of the vertical penetration measurement between the two were analyzed using a simple linear regression formula. There are 2 simulated soil textures, namely sandy loam and sand, with a droplet discharge of 51 mm/hour. Other hydraulic parameters are predicted using ROSETTA incorporated in HYDRUS 2D/3D. The results of the analysis show that the penetration value in experimental and simulation observations with R^2 is 0.9976. This is an experimental experiment and HYDRUS 2D/3D is not much different, so HYDRUS 2D/3D modeling can be used to engineer soil wetting patterns using drip irrigation. By using the simulation setting on the sandy loam texture, the simulation is carried out on another soil texture, namely the sand texture resulting in faster air movement on vertical penetration.

Keywords: *Soil Wetting Pattern, Drip Irrigation, HYDRUS 2D/3D.*

PERSANTUNAN

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa., karena atas rahmat dan nikmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa dengan selesainya penulisan skripsi ini tidak lepas dari doa dan dukungan serta semangat oleh berbagai pihak. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. **Ayahanda Dr. H. Husain Ibrahim, M.Pd, Ibunda Dr. Hj. Aisyah Yusuf, M.Pd beserta Keluarga besar** yang senantiasa memberikan kasih sayang dan selalu mendoakan penulis serta memberikan dukungan baik berupa moril ataupun materi sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. **Dr. Ir. Mahmud Achmad, MP dan Dr. Abdul Azis, S.TP., M.Si** selaku dosen pembimbing utama dan kedua, terima kasih atas kesabaran, ilmu dan segala arahan yang telah diberikan dari penyusunan proposal, penelitian hingga penyusunan skripsi ini selesai.
3. **Prof. Dr. Ir. Mursalim dan Dr. Suhardi, S.TP, M.P.** selaku dosen penguji yang telah memberikan ilmu, masukan, saran, dan waktu luang kepada saya demi menyempurnakan skripsi ini.
4. **Dosen-Dosen Departemen Teknologi Pertanian, Program Studi Teknik Pertanian** yang telah memberikan ilmu dan pengetahuan serta pengalaman selama proses perkuliahan baik di dalam kelas maupun di luar kelas.
5. **Fedro, Tono, Zaenal, Asfar, Taufik, Miftah, Gunawan, Amin, Dilla, Anna, Ekky, Oca, Dewi, Ega, Ummul, Febri, Husna dan Tim BACO House** yang telah membantu saat menyiapkan alat dan bahan penelitian, pengambilan data penelitian serta dalam penyusunan skripsi ini.
6. **Seluruh teman-teman Keteknikan Pertanian 17, Gear 2017, serta warga KMD TP UH** yang telah membantu baik berupa dukungan, ide serta bantuan selama penelitian berlangsung.

Semoga Allah SWT senantiasa membalas kebaikan mereka dengan kebaikan dan pahala yang berlipat ganda. Aamiin.

Makassar, 2 Juni 2022

Rabiatul Zuhaida Husain

RIWAYAT HIDUP



Rabiatul Zuhaida Husain, lahir di Kabupaten Takalar, Sulawesi Selatan pada tanggal 04 Februari 1999 merupakan anak terakhir dari empat bersaudara dari pasangan Dr. H. Husain Ibrahim, M.Pd dan Dr. Hj. Aisyah Yusuf, M.Pd. Menempuh pendidikan formal pada tingkat Sekolah Dasar di SDN No. 133 Inpres Pari'risi Takalar pada tahun 2005-2011, melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama MTS Darul Fallah Bogor pada tahun 2011-2014. Melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMA IT Al-Fityan School Gowa pada tahun 2014-2017. Melanjutkan pendidikan ke Universitas Hasanuddin Makassar pada tahun 2017 Program Studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian. Selama perkuliahan aktif dalam organisasi yaitu Himpunan Mahasiswa Teknologi Pertanian Universitas Hasanuddin (HIMATEPA UH) sebagai Pengurus Departemen Perkaderan periode 2019/2020. Selain itu, penulis juga aktif menjadi asisten praktikum di bawah naungan *Agricultural Engineering Study Club* (AESC) tahun 2019-2021.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
PERSANTUNAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xii
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Tujuan dan Kegunaan.....	2
2. TINJAUAN PUSTAKA.....	3
2.1 Pola Pembasahan.....	3
2.2 Irigasi Tetes.....	4
2.3 HYDRUS 2D/3D	4
2.4 Zona Perakaran.....	7
2.5 Sifat Fisik Tanah	7
2.6 Laju Infiltrasi	10
3. METODE PENELITIAN	11
3.1 Waktu dan Tempat	11
3.2 Alat dan Bahan	11
3.3 Prosedur Penelitian.....	11
3.3.1 Persiapan Sampel Tanah	11
3.3.2 Pengamatan Eksperimen	12
3.3.3 Simulasi HYDRUS 2D/3D	12
3.4 Validasi Data	13
3.5 Bagan Alir Penelitian	14
4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	15
4.1 Pola Pembasahan Tanah Pengamatan Eksperimen	15
4.2 Simulasi Pola Pembasahan	16

4.3 Perbandingan Simulasi HYDRUS 2D/3D dengan Pengamatan Eksperimen.....	18
4.4 Pemanfaatan Simulasi Sistem Irigasi Tetes.....	20
5. PENUTUP	24
DAFTAR PUSTAKA.....	25
LAMPIRAN	27

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2-1. Pola Pembasahan Tanah di Berbagai Tekstur Tanah.....	3
Gambar 2-2. Diagram Segitiga Tesktur Tanah	8
Gambar 3-1. Instalasi Pengamatan Eksperimen.....	12
Gambar 3-2. Bagan Alir Penelitian	14
Gambar 4-1. Pola Pembasahan Pengamatan Eksperimen.....	15
Gambar 4-2. Simulasi Pola Pembasahan Tanah	17
Gambar 4-3. Perbandingan Data Penetrasi vertikal dengan Waktu Simulasi dan Pengamatan Eksperimen	19
Gambar 4-4. Perbandingan Data Penetrasi vertikal dengan Waktu Simulasi dan Pengamatan Eksperimen secara Regresi Linear	20
Gambar 4-5. Hubungan Penetrasi Vertikal dengan Volume Air Setiap Jam.....	21

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Pola Pembasahan Tanah Pengamatan Eksperimen	27
Lampiran 2. Dokumentasi Pola Pembasahan Simulasi HYDRUS 2D/3D dengan Tekstur Tanah Lempung Berpasir	28
Lampiran 3. Tabel Perbandingan Pengamatan Eksperimen dan Simulasi.....	29
Lampiran 4. Tahapan Simulasi dengan Tekstur Tanah Lempung Berpasir menggunakan HYDRUS 2D/3D	30
Lampiran 5. Dokumentasi Skema Instalasi Pengamatan Eksperimen	39
Lampiran 6. Dokumentasi Pola Pembasahan Simulasi HYDRUS 2D/3D dengan Tekstur Tanah Pasir	40
Lampiran 7. Hasil Uji Sifat Fisik Tanah di Laboratorium	41

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Produktivitas lahan pertanian sangat bergantung terhadap ketersediaan air terutama lahan yang tidak memiliki infrastruktur pengairan. Pada musim kemarau, ketersediaan air menjadi masalah bagi petani, sedangkan penggunaannya pada saat sekarang banyak dimanfaatkan untuk bidang lain seperti rumah tangga dan industri. Berbagai teknik yang diupayakan untuk meminimalkan penggunaan air yang terbatas itu agar dapat memenuhi kebutuhan tanaman dalam proses pertumbuhan tanaman yang optimal. Untuk itu, dipergunakan salah satu teknik irigasi yang dapat mengatasi permasalahan yang dihadapi petani. Manajemen suatu sistem irigasi memerlukan pemahaman yang menyeluruh agar teknik irigasi tersebut dapat dimanfaatkan secara berdayaguna bagi kesejahteraan masyarakat tani sesuai dengan PP Tahun 2001.

Irigasi tetes menjadi salah satu teknik irigasi yang direkomendasikan, karena teknik ini memiliki tingkat efisiensi yang tinggi dibandingkan dengan irigasi genangan (Yanto et al., 2014). Irigasi tetes terdapat dua macam, yaitu irigasi tetes permukaan dan irigasi tetes bawah permukaan. Irigasi tetes permukaan ialah pemberian dengan cara menetes secara kontinu pada permukaan tanah di sekitar area perakaran.

Teknik irigasi tetes perlu dioptimalkan parameternya seperti jumlah dan durasi pemberian air, jarak perpipaian serta penempatan emitor permukaan tanah. Pengelolaan irigasi tetes permukaan yang tepat perlunya mengetahui bagaimana volume air yang dikeluarkan oleh emiter di sekitar area perakaran. Untuk menggunakan teknik ini perlu diketahui distribusi air dalam tanah, agar dapat mengurangi pembasahan di area yang tidak perlu. Pembasahan di area yang tidak perlu artinya di luar dari jangkauan akar menyerap nutrisi yang dibutuhkan tanaman. Beberapa faktor yang memengaruhi area perakaran yang dibasahi antara lain tekstur tanah, Kelembapan tanah, volume air yang diberikan, permeabilitas vertikal dan horizontal (Sumarsono & Perdana, 2011). Semakin cepat pergerakan air akan semakin cepat pendistribusian air dalam tanah.

Model empiris, analitis dan numerik telah dikembangkan untuk mensimulasikan distribusi air dalam tanah. Karena kecepatan komputer yang meningkat dan ketersediaan model numerik mudah dijangkau untuk mensimulasikan aliran air dan transpor-transpor tanah, sudah ada beberapa peneliti sebelumnya yang menggunakan teknologi tersebut sebagai perbandingan dan evaluasi penyebaran air yang dilakukan secara eksperimen. Simulasi numerik adalah pendekatan yang efisien untuk menyelidiki praktik manajemen tetes yang optimal. Seperti Kandelous dan Simunek (2010) menggunakan HYDRUS untuk mengevaluasi data laboratorium dan lapangan yang melibatkan pergerakan air di tanah bertekstur lempung berliat dengan kedalaman dan debit yang berbeda. Juga Kandelous (2011) memvalidasi hasil simulasi pergerakan air sistem irigasi tetes bawah permukaan menggunakan HYDRUS dengan kadar air yang diukur di lapangan.

Berdasarkan uraian-uraian tersebut, maka penelitian ini meneliti mengenai topik “Pola Pembasahan Tanah Sistem Irigasi Tetes dengan menggunakan HYDRUS 2D/3D”.

1.2 Tujuan dan Kegunaan

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pola pembasahan tanah dalam ukuran penetrasi vertikal dari emiter irigasi tetes secara pengamatan eksperimen dengan simulasi menggunakan *software* HYDRUS 2D/3D, dan sebagai bahan informasi bagi masyarakat (tani) yang menggunakan irigasi tetes untuk membudidayakan tanaman pada tanah dengan karakteristik tertentu.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pola Pembasahan

Pola pembasahan di tanah menunjukkan bentuk dari rembesan yang ditetesi dengan cairan. Bentuk atau konturnya menggambarkan pola pembasahan tanah yang telah dibasahi. Kontur didapatkan dengan menghitung nilai kecepatan pergerakan air dalam tanah (Arianti et al., 2016).

Pola pembasahan tanah dari rembesan yang ditetesi cairan menemui beberapa hambatan. Hambatan itu dapat disebabkan beberapa faktor. Faktor-faktor dimaksud persentasi dari fraksi tanah, yaitu pasir, debu dan liat, permeabilitas baik secara vertikal maupun horizontal, isapan kapilaritas, waktu pemberian air, lapisan permeabel, banyaknya air yang diberikan dan nilai lengas tanah awal. Tekstur tanah yang halus seperti lumpur maka pergerakan airnya cenderung tidak dianggap dari isapan kapilaritas dan gravitasi. Sedangkan tanah yang bulb, umumnya pola pembasahan lebih luas jangkauan secara lateral dibandingkan dengan vertikal (Sumarsono & Perdana, 2011).

Penyebaran air ini disebut juga dengan proses masuknya air ke dalam tanah. Faktor seperti kadar air tanah, bahan organik, porositas tanah dan kerapatan tanah juga termasuk pengaruh dari penyebaran air. Pola pembasahan ini penting diketahui agar menjadi acuan untuk tata guna lahan dan desain dari irigasi yang akan diterapkan pada lahan pertanian (Kartika, 2019).



Gambar 2-1. Pola Pembasahan Tanah di Berbagai Tekstur Tanah.
(Sumber: Tingwu et al., 2003).

2.2 Irigasi Tetes

Irigasi adalah suatu sistem untuk menyediakan, membagikan, mengelola dan mengatur air agar meningkatkan produktivitas tanaman. Irigasi juga dapat disebut sebagai upaya pemberian air untuk keperluan penyediaan cairan yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman. Istilah irigasi berkaitan dengan pendistribusian air dari sumber air ke tanaman (Sadewa, 2016).

Beberapa jenis jaringan irigasi, yaitu jaringan irigasi sederhana, jaringan irigasi semi teknis, dan jaringan irigasi teknis. Jaringan irigasi ini memerlukan alat penunjang untuk menyalurkan air yang diperlukan oleh tanaman, jenisnya meliputi irigasi permukaan, irigasi rawa, irigasi air bawah tanah, irigasi pompa dan irigasi tambak (Kartika, 2019).

Irigasi tetes merupakan metode pendistribusian air melalui emiter yang terkena secara langsung pada tanaman di permukaan tanah. Irigasi tetes juga dapat dilakukan di bawah permukaan dengan tetesan yang perlahan secara terus-menerus secara langsung membasahi zona perakaran yang biasa disebut dengan irigasi kendi. Efisiensi dari penggunaan air dengan teknik irigasi ini mencapai 80-95% (Yanto et al., 2014).

Irigasi tetes dapat diaplikasikan dengan memanfaatkan tekanan menggunakan pompa ataupun gaya gravitasi. Komponen jaringan irigasi tetes, yaitu pipa primer, pipa sekunder dan pipa lateral. Pipa yang berfungsi untuk mendistribusikan air pada tanaman dengan tingkat tetesan air yang seragam ialah pipa lateral. Pengaturan keseragaman emiter perlu perhitungan dengan mempertimbangkan beberapa faktor sehingga tanah selalu lembap pada area perakaran dan tanaman dapat bertumbuh dengan optimal (Sumarsono & Perdana, 2011).

2.3 HYDRUS 2D/3D

HYDRUS adalah perangkat lunak untuk mensimulasikan gerakan air, panas, dan zat terlarut dalam variabel dua dan tiga dimensi yang terdiri dari program komputer komputasi dan berbasis grafis interaktif. Secara numerik, *software* HYDRUS memecahkan persamaan richards untuk menentukan aliran air dan persamaan adveksi dispersi untuk perpindahan panas dan zat terlarut. HYDRUS

dapat digunakan untuk menganalisis gerakan air dan zat terlarut sekaligus dalam keadaan tak jenuh, sebagian jenuh ataupun jenuh di bawah permukaan tanah. *Software* ini telah dikembangkan oleh Rien van Genuchten dan Jirka Simunek, keduanya merupakan ilmuwan terkemuka di bidang hidrologi zona vadose yang telah memperoleh banyak penghargaan tingkat internasional salah satunya AAAS (*American Association for Advancement of Science*). Dimulai tahun 2005 dirilis HYDRUS-1D dan hingga saat ini terus berkembang dengan karya terakhir yaitu HYDRUS 2D/3D (Sejna et al., 2014).

HYDRUS 2D/3D dapat menyimulasikan infiltrasi dan redistribusi air dengan asumsi homogen dan tanah isotropik, persamaan aliran air untuk 2D menggunakan persamaan Richards (Kandelous & Simunek, 2010):

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[K(h) \frac{\partial h}{\partial x} + K(h) \right] \quad (1)$$

keterangan :

- θ = kadar air volumetrik (cm^3/cm^3)
- h = tekanan air tanah (cm)
- t = waktu (menit)
- x = koordinat horizontal
- z = koordinat vertikal
- K = konduktivitas hidraulik (cm/menit)

Persamaan Richards untuk aliran jenuh dapat digunakan untuk, (1) memprediksi air dan zat terlarut pergerakan di zona vadose, (2) menganalisis eksperimen laboratorium atau lapangan tertentu yang melibatkan aliran air tak jenuh dan/atau transport zat terlarut, dan (3) mengekstrapolasi informasi dari sejumlah lapangan untuk tanah yang berbeda, tanaman dan kondisi iklim, serta perbedaan skema pengelolaan tanah dan air (Sejna et al., 2014).

Sedangkan sifat hidraulik tanah dimodelkan menggunakan hubungan konstitutif van Genuchten-Mualem dengan persamaan sebagai berikut (Kandelous & Simunek, 2010):

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{(1 + |\alpha h|^n)^m}, & h < 0 \\ \theta_s, & h \geq 0 \end{cases}$$

$$K(h) = K_s S_e^l \left[1 - \left(1 - S_e \frac{1}{m} \right)^{m-1} \right]^2$$

dimana

$$S_e = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}, m = 1 - \frac{1}{n} \quad (2)$$

keterangan:

- θ_s = kandungan air jenuh (cm^3/cm^3)
 θ_r = kandungan air sisa (cm^3/cm^3)
 K_s = konduktivitas hidraulik (cm/menit)
 α , n dan l = parameter empiris

Bentuk pola pembasahan air di bawah permukaan tanah diperkirakan menyerupai elips yang mengelilingi sumber garis atau sumber air. Oleh karena itu, pengukuran pola pembasahan dilihat dari tiga arah, yaitu vertikal ke atas, horizontal dan vertikal ke bawah). Sebuah model empiris diusulkan untuk memperkirakan ukuran pola pembasahan selama irigasi berlangsung dimana faktor konduktivitas hidraulik, kadar air awal, kadar air akhir, panjang saluran dan diameter lubang emiter dianggap berpengaruh. Bentuk umum model yang diusulkan diamsusikan seperti yang ditunjukkan pada persamaan berikut (Fan et al., 2021):

$$X = aK_s^{a_1} (\theta_s - \theta_i)^{a_2} L^{a_3} D^{a_4} t^{a_5}$$

$$Y = bK_s^{b_1} (\theta_s - \theta_i)^{b_2} L^{b_3} D^{b_4} t^{b_5} + L/2 \quad (3)$$

$$Z = cK_s^{c_1} (\theta_s - \theta_i)^{c_2} L^{c_3} D^{c_4} t^{c_5} + L/2$$

Keterangan:

- X = lebar pembasahan horizontal
Y = ketinggian pembasahan vertikal ke atas
Z = kedalaman pembasahan vertikal ke bawah
L = panjang sumber saluran (cm)
D = diameter sumber saluran (cm)
t = waktu (menit)
 θ_s = kandungan air jenuh (cm^3/cm^3)

θ_i = kandungan air awal (cm^3/cm^3)

a ke a_5 , b ke b_5 dan c ke c_5 = koefisien empiris

Data masukan untuk HYDRUS 2D/3D terdapat tujuh *file* masukan terpisah. *Input* ini diantaranya, yaitu informasi dasar, informasi material, informasi waktu, informasi pergerakan cairan, informasi perpindahan panas, informasi air serapan akar, informasi batas jaringan elemen, informasi pusat, informasi elemen, informasi batas (tekanan atau kandungan air), informasi atmosfer, informasi dimensi, informasi larutan tumbuhan merambat dan informasi jalur jaringan (Sejna et al., 2014).

2.4 Zona Perakaran

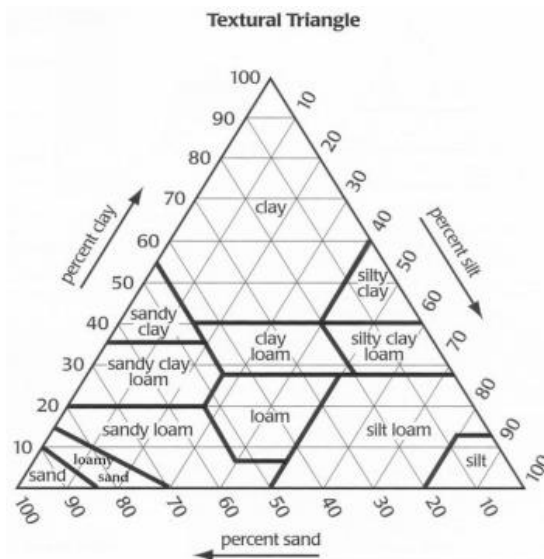
Zona perakaran adalah bagian dari tanah sebagai tempat tumbuh dan berpijaknya akar tanaman. Karakteristik tanah seperti tekstur, struktur, porositas dan unsur hara tanah akan memberi efek langsung terhadap pertumbuhan dan perkembangan akar berupa distribusi dan biomassa akar secara leluasa. Kedalaman perakaran umumnya berkisar 0 sampai 20 cm, lapisan tanah ini disebut *top soil* dimana terdapat campuran bahan organik alami dan tanah sangat subur dibandingkan struktur tanah yang lain. Pemantauan zona akar berupa kemampuan akar menyerap nutrisi dan pertumbuhan akar penting dilakukan dalam pemahaman yang lebih baik untuk penerapan aliran dan penyimpanan air serta keseimbangan dalam hidrologi (Zhao et al., 2019).

2.5 Sifat Fisik Tanah

2.5.1 Tekstur Tanah

Tekstur tanah adalah perbandingan butir-butir fraksi tanah yang terdiri dari fraksi pasir, debu dan liat. Ukuran fraksi tanah tersebut memiliki ukuran yang berbeda-beda berdasarkan dari sistem klasifikasi seperti ISSS, USDA dan USPPRA. Standar ukuran dari USDA merupakan sistem yang populer digunakan. Perbandingan tiap-tiap fraksi tanah untuk menentukan tekstur tanah dapat dilihat pada segitiga tekstur. Segitiga tekstur menunjukkan bahwa tekstur tanah terbagi menjadi 12 tekstur. Peran tekstur tanah dapat memengaruhi sifat fisik tanah yang

lainnya diantaranya pergerakan air dan zat terlarut, udara, pergerakan panas, volume tanah, kepadatan tanah dan lain-lain (Mahmud et al., 2014).



Gambar 2-2. Diagram Segitiga Tesktur Tanah (Sumber: Wulandari, 2018).

Tekstur tanah utama terdiri dari pasir, liat dan debu. Ukuran partikel Tekstur pasir sebesar antara 0,05 mm sampai 2,0 mm. Tekstur pasir memiliki pori yang besar sehingga kurang untuk menahan atau menyimpan air. Ukuran antara 0,002 mm sampai 0,05 mm termasuk fraksi tanah debu. Tekstur liat berukuran kurang dari 0,002 mm. Tekstur debu sangat mudah terbawa oleh aliran air sehingga proses infiltrasi sangat rendah terjadi. Tekstur liat sulit menyerap air namun mudah dalam menyimpan air dalam jumlah yang besar. Lempung sebutan untuk tekstur tanah yang memiliki persentasi seimbang antara tiga fraksi tanah yang telah dibahas sebelumnya. Tekstur lempung berdebu merupakan tekstur tanah yang dianggap ideal karena memiliki komposisi fraksi seimbang dan hara dapat melekat dengan baik (Soniari, 2016).

2.5.2 Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah adalah banyaknya kandungan air yang mengisi pori-pori tanah yang terdapat di atas *water table* baik mengisi sebagian pori maupun seluruhnya. Nilai dari Kelembapan tanah dapat berubah-ubah karena terjadinya evaporasi dari permukaan tanah, perkolasi dan transpirasi. Potensi aliran permukaan, upaya tindakan pengendalian banjir dan kualitas dari air tanah dapat diperoleh dari

Kelembapan tanah sehingga sangat penting diketahui terutama bagi pemerintah (Kartika, 2019).

Kadar air adalah jumlah air di dalam tanah dengan perbandingan volume air terhadap total volume tanah. Satuan kadar air tanah dapat dinyatakan dalam persentasi bobot maupun persentase volume. Kadar air tanah dipengaruhi oleh sifat fisik tanah. Pengukuran kadar air dapat dilakukan baik secara langsung maupun tidak langsung. Pengukuran yang melihat dari beda berat tanah termasuk langsung, sedangkan tidak langsung melalui pengukuran sifat tanah yang saling berkaitan dengan air tanah (Firhodika, 2019).

2.5.3 Permeabilitas Tanah

Permeabilitas tanah adalah kemampuan tanah dalam meloloskan air ke lapisan profil tanah. Secara kuantitatif permeabilitas tanah ialah kecepatan laju pergerakan air melalui pori-pori tanah pada waktu tertentu dengan satuan sentimeter/jam. Faktor-faktor yang memengaruhi permeabilitas tanah, yaitu struktur, tekstur dan unsur organik. Ukuran rata-rata pori memengaruhi nilai dari koefisien permeabilitas tanah. Hubungan ukuran pori-pori tanah dengan koefisien permeabilitas berbanding lurus. Permeabilitas tanah juga disebut konduktivitas hidrolik dalam keadaan jenuh. Berikut nilai tingkatan permeabilitas tanah (Ayni, 2010):

- a. Sangat lambat : $< 0,125 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- b. Lambat : $0,125-0,5 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- c. Agak lambat : $0,5-2 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- d. Cukup : $2-6,5 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- e. Cukup cepat : $6,5-12,5 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- f. Cepat : $12,5-25 \text{ cm}^2/\text{jam}$
- g. Sangat cepat : $>25 \text{ cm}^2/\text{jam}$

Terdapat dua lapisan tanah untuk permeabilitas tanah. Nilai $0,20-9,46 \text{ cm}/\text{jam}$ menunjukkan kisaran nilai permeabilitas termasuk lambat sampai agak cepat pada lapisan atas, sedangkan lapisan bawah termasuk agak lambat sampai sedang dengan nilai permeabilitas tanah berkisar $1,10-3,62 \text{ cm}/\text{jam}$. Permeabilitas tanah juga dapat memengaruhi nilai dari laju infiltrasi, limpasan, penyimpanan air tanah, dan drainase. Permeabilitas tanah tinggi menunjukkan laju infiltrasi juga tinggi

sehingga aliran permukaan minim terjadi. Aliran permukaan dapat membawa *top soil* yang baik untuk pertumbuhan tanaman. Sifat dasar tanah ini menunjukkan aktivitas hidrolis tanah tidak jenuh. Pengukuran permeabilitas tanah dapat dilakukan di lapangan maupun di laboratorium (Singh et al., 2019).

2.6 Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi adalah banyaknya air yang masuk melalui permukaan tanah yang ditunjukkan dalam satuan mm/jam atau cm/jam. Laju infiltrasi makin tinggi pada tanah yang kering namun makin menurun jika tanah jenuh hingga lajunya menjadi konstan. Kepadatan tanah, cara mengolah tanah, jenis tanaman dan jenis permukaan tanah merupakan hal-hal yang memengaruhi laju infiltrasi. Nilai laju infiltrasi bergantung juga pada kapasitas infiltrasi tanah. Kapasitas infiltrasi merupakan kemampuan tanah untuk meloloskan air dari permukaan tanah secara vertikal. Dengan mengetahui nilai laju infiltrasi dapat menentukan lama penyiraman tanaman agar tidak terjadi genangan dan air dapat dimanfaatkan secara maksimal untuk kebutuhan tanaman (Maro'ah, 2011).

Sebelum terjadi aliran permukaan, tanah mudah menyerap air sebelum terjadinya gaya kapiler karena tanahnya sudah jenuh. Transisi antara sebelum terjadinya aliran permukaan dan terjadinya aliran permukaan, gaya yang dominan yaitu gaya kapiler dan gaya gravitasi. Sedangkan gaya gravitasi dominan ketika setelah aliran permukaan. Peningkatan potensial kapiler dan gaya gravitasi akan mempercepat infiltrasi. Jika kelembaban tanah berkurang maka akan diisi oleh infiltrasi, maka selisih potensial kapiler akan menjadi kecil. Pori-pori dalam tanah masing-masing berkaitan dari segala arah dan mendirikan jejaring yang kompleks. Jika jaringan diisi air dari bawah maka bawah jaringan tersebut menjadi jenuh sempurna. Semakin lama waktu infiltrasi maka semakin kecil laju infiltrasi. Hal ini dikarenakan tanah semakin jenuh dan ruang pori dalam tanah sudah terisi sehingga pergerakan air semakin lambat bergerak (Wibowo, 2010).