

**ANALISIS DIFUSI LARUTAN PUPUK MELALUI DINDING *MORTAR*
ARANG SEKAM PADI**

(Skripsi)

Oleh:

DIAN FAJAR LESTARI



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

ABSTRACT

DIFFUSION ANALYSIS OF NUTRIENT SOLUTION THROUGH WALL MORTAR HUSK RICE CHARCOAL

By

Dian Fajar Lestari

Effort to increase agricultural output not only with the fulfillment of irrigation water but required nutrition through fertilization. Fertilization through irrigation water (fertigation) is considered more efficient. Fertigation method has been developed on a system of drip irrigation, sprinkler, and pitcher. Besides pitcher, there are other alternative that can be developed is mortar from rice husk charcoal (mortar ASP). The aims of this reasearch is to determine the value of difussion coefficient, continued by distribution analysis of nutrient solution and fertigation applications in crop cultivation pak choi (*Brassica chinensis L*).

Diffusion analysis of nutrient solution was used completely randomized design with factorial arrangement (RAL). The first factor is the type of mortar and consists of two levels; P₁ and P₂ whose composition ratio of cement, sand and charcoal rice husk respectively (1: 3: 3) and (1: 3: 4). The second factor is the concentration of fertilizer and consists of three levels, namely 3 mS/cm (K₁), 6 mS/cm (K₂), and 9 mS/cm (K₃). Distribution of nutrient solution in water is processed using software Surfer 11 and the result is an image plot of the software. While fertigation applications in plants pak choi (*Brassica chinensis L*) were tested using the F test and the results are displayed in table form.

Based on the analysis of variance at 5% level there was an interaction between factors mortar ASP composition and concentration of fertilizer. The best treatments in this research was P₂K₁ and P₂K₂ (combined treatments mortar ASP whose composition ratio of cement, sand and charcoal rice husk sepectivity (1:3:4) and concentration of fertilizer 3 mS/cm (K₁), 6 mS/cm (K₂). Fertilizer solution can pass through the walls of mortar so that it can be used as a means of fertigation. Distribution of nutrient solution in water increases coincided with increasing water depth and decreased when away from the center of mortar ASP. Fertigation applications in Pak choi plants showed that the plants can grow, but less than the maximum due to changes in the EC which still reaches 412-421 µS/cm on the 21st day.

Keywords: Fertigation, Diffusion, Mortar Rice Husk Charcoal.

ABSTRAK

ANALISIS DIFUSI LARUTAN PUPUK MELALUI DINDING MORTAR ARANG SEKAM PADI

Oleh

Dian Fajar Lestari

Usaha meningkatkan hasil pertanian tidak hanya dengan pemenuhan air irigasi akan tetapi diperlukan pemberian nutrisi melalui pemupukan. Pemupukan melalui air irigasi (fertigasi) dianggap lebih efisien. Metode fertigasi banyak dikembangkan pada sistem irigasi tetes, *sprinkler*, dan kendi. Selain kendi ada alternatif lain yang dapat dikembangkan adalah *mortar* dari arang sekam padi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai koefisien difusi larutan pupuk, dilanjutkan dengan analisis sebaran pupuk dan aplikasi fertigasi pada budidaya tanaman pak choi (*Brassica chinensis L.*).

Analisis difusi larutan pupuk menggunakan rancangan acak lengkap (RAL) faktorial. Faktor pertama adalah jenis *mortar* yang terdiri dari dua taraf yaitu P_1 dan P_2 dimana perbandingan komposisi semen, pasir dan arang sekam masing-masing (1:3:3) dan (1:3:4). Faktor kedua adalah konsentrasi pupuk yang terdiri dari tiga taraf yaitu 3 mS/cm (K_1), 6 mS/cm (K_2), dan 9 mS/cm (K_3). Sebaran larutan pupuk pada media air diolah menggunakan *software Surfer 11* dan hasilnya berupa plot gambar dari *software* tersebut. Sedangkan aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi (*Brassica chinensis L.*) diuji dengan menggunakan uji F dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel.

Hasil analisis ragam pada taraf 5% menunjukkan adanya interaksi antara faktor komposisi *mortar* ASP dan konsentrasi pupuk. Perlakuan P_2K_1 dan P_2K_2 (kombinasi perlakuan *mortar* ASP dengan komposisi arang sekam padi : pasir : semen 1:3:4 (P_2) dengan konsentrasi pupuk 3 mS/cm (K_1) dan 6 mS/cm (K_2)) adalah yang terbaik pada penelitian ini. Larutan pupuk dapat melewati dinding *mortar* sehingga dapat digunakan sebagai sarana fertigasi. Sebaran larutan pupuk pada air meningkat seiring kedalaman dari muka air dan menurun apabila jauh dari pusat *mortar* ASP. Aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi menunjukkan bahwa tanaman dapat tumbuh meskipun kurang maksimal akibat perubahan EC yang masih mencapai 412-421 $\mu\text{S/cm}$ pada hari ke-21.

Kata Kunci: Fertigasi, Difusi, *Mortar* Arang Sekam Padi

**ANALISIS DIFUSI LARUTAN PUPUK MELALUI DINDING *MORTAR*
ARANG SEKAM PADI**

Oleh

DIAN FAJAR LESTARI

Skripsi

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNOLOGI PERTANIAN

Pada

Jurusan Teknik Pertanian
Fakultas Pertanian Universitas Lampung



**FAKULTAS PERTANIAN
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2016**

Judul Skripsi : **ANALISIS DIFUSI LARUTAN PUPUK
MELALUI DINDING *MORTAR* ARANG
SEKAM PADI**

Nama Mahasiswa : **Dian Fajar Lestari**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1214071025

Program Studi : Teknik Pertanian

Fakultas : Pertanian

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

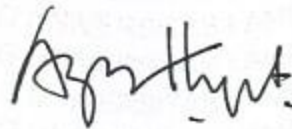


Ahmad Tusi, S.TP., M.Si.
NIP 19810613 200501 1 001



Ir. M. Zen Kadir, M.T.
NIP 19550417 198503 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Pertanian



Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P.
NIP 19650527 199303 1 002

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : **Ahmad Tusi, S.TP., M.Si.**



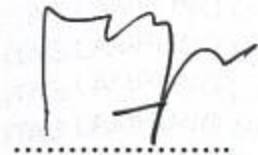
.....

Sekretaris : **Ir. M. Zen Kadir, M.T.**



.....

Penguji
Bukan Pembimbing : **Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc.**



.....

2. Dekan Fakultas Pertanian




Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si.
NIP 19611020 198603 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **21 November 2016**

PERNYATAAN KEASLIAN HASIL KARYA

Saya adalah **Dian Fajar Lestari, NPM 1214071025.**

Dengan ini menyatakan bahwa yang tertulis dalam karya ini adalah hasil karya saya yang dibimbing oleh komisi pembimbing, **1). Ahmad Tusi, S.TP., M.Si.** dan **2). Ir. M. Zen Kadir, M.T.** berdasarkan pada pengetahuan dan informasi yang saya dapatkan. Karya ilmiah ini berisi material yang saya buat sendiri dan hasil rujukan beberapa sumber seperti buku dan jurnal yang telah dipublikasikan sebelumnya. Dengan kata lain karya ini bukanlah hasil plagiat karya orang lain. Demikianlah pernyataan ini saya buat dan dapat dipertanggungjawabkan. Apabila di kemudian hari terdapat kecurangan dalam karya ini, maka saya siap mempertanggungjawabkannya.

Bandar Lampung, 21 November 2016
Yang membuat pernyataan



Dian Fajar Lestari
NPM 1214071025

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kotabumi, Lampung Utara pada tanggal 5 April 1994, sebagai anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Bapak Karsono dan Ibu Masminah. Penulis menempuh Pendidikan Sekolah Dasar (SD) di SDN 5 Trimadadi, Abung Selatan diselesaikan pada tahun 2006, Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMPN 3 Abung Selatan yang diselesaikan pada tahun 2009, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) di SMAN 1 Abung Semuli yang diselesaikan pada tahun 2012.

Tahun 2012, penulis melanjutkan pendidikan strata 1 (S1) di Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SNMPTN) Tertulis. Selama menjadi mahasiswa pernah menjadi asisten dosen mata kuliah Mikrobiologi Hasil Pertanian, Matematika Dasar, Lingkungan dan Bangunan Pertanian, dan Kalkulus. Selain itu penulis aktif di Organisasi Persatuan Mahasiswa Teknik Pertanian (PERMATEP) sebagai anggota Bidang Pengabdian Masyarakat (PengMas) PERMATEP Periode 2013-2014 dan menjabat sebagai Sekretaris Umum PERMATEP Periode 2014-2015.

Pada tahun 2014 penulis mendapatkan penghargaan dari Gubernur Lampung sebagai Juara 3 Lomba Anugerah Inovasi Provinsi Lampung Tahun 2014 Kategori Umum. Penulis juga pernah menjadi Kandidat Mahasiswa Berprestasi Tingkat Fakultas sebagai Wakil Jurusan Teknik Pertanian. Penulis melaksanakan Praktik Umum (PU) di Amazing Farm, Lembang, Bandung selama 30 hari pada tahun 2015 dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tematik selama 60 hari pada tahun 2016 di Desa Andalas Cermin, Kecamatan Rawa Pitu, Kabupaten Tulang Bawang.



Ku persembahkan karya sederhana ini untuk

***Bapak dan Ibu** tercinta (Karsono dan Masminah)
yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta do'a
yang tiada henti untuk kesuksesanku, karena tiada kata seindah
lantunan do'a dan tiada do'a yang paling khusus selain do'a yang
terucap dari orang tua. Ucapan terimakasih saja takkan pernah cukup
untuk membalas kebaikan Bapak dan Ibu, karena itu terimalah
persembahan bakti dan cintaku untuk kalian bapak ibuku.*

***Adikku tersayang (Ari Cahya Kurniawan)**
yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, dan do'anya untuk
keberhasilanku, terimakasih dan sayangku untukmu*

*Serta
Almamater Tercinta Universitas Lampung Teknik Pertanian
Tekfan 2012*

SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, atas segala rahmat dan hidayah-Nya skripsi ini dapat diselesaikan. Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Semoga beliau berkenan memberikan syafaatnya kepada kita, orang tua, guru-guru, dosen-dosen, dan sahabat-sahabat kita.

Skripsi dengan judul “*Analisis Difusi Larutan Pupuk melalui Dinding Mortar Arang Sekam Padi*” merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknologi Pertanian di Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis mendapat banyak dukungan, bimbingan, dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Ahmad Tusi, S.TP., M.Si. selaku Pembimbing Utama atas semua bimbingan arahan, kritik, dan saran yang telah diberikan dalam proses penyelesaian skripsi ini;
2. Bapak Ir. M. Zen Kadir, M.T. selaku Pembimbing Kedua dan Pembimbing Akademik atas semua bimbingan arahan, kritik, dan saran pada masa perkuliahan dan proses penyelesaian skripsi ini;

3. Bapak Dr. Ir. Sugeng Triyono, M.Sc. selaku Penguji Utama pada ujian skripsi atas masukan dan saran-saran yang telah diberikan;
4. Seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Pertanian;
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Irwan Sukri Banuwa, M.Si. selaku Dekan Fakultas Pertanian Universitas Lampung;
6. Bapak Dr. Ir. Agus Haryanto, M.P. selaku Ketua Jurusan Teknik Pertanian Fakultas Pertanian Universitas Lampung.

Akhir kata penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, akan tetapi sedikit harapan semoga skripsi yang sederhana ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. *Aamiin*

Bandar Lampung, 21 September 2016

Penulis

Dian Fajar Lestari

DAFTAR ISI

	Halaman
DAFTAR TABEL.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian.....	3
1.5. Hipotesis	4
1.5.1. Hipotesis Pengaruh Interaksi	4
1.5.2. Hipotesis Pengaruh Utama Faktor Komposisi <i>Mortar</i> ASP	4
1.5.3. Hipotesis Pengaruh Utama Faktor Konsentrasi Larutan Pupuk	4
1.6. Batasan Masalah.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1. Alat Irigasi <i>Subsurface</i> (Kendi dan <i>Mortar</i> ASP).....	5
2.2. Fertigasi.....	6
2.3. Konduktivitas Hidrolik	7
2.3.1. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik menggunakan <i>Constant Head</i>	9
2.3.2. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Jenuh menggunakan <i>Falling Head</i>	11
2.4. Analisis Difusi Larutan	13
2.5. Efek Salinitas	14
2.6. Tanaman Pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>).....	17
2.7. <i>Electrical Conductivity</i> (EC).....	19
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	21

3.1. Waktu dan Tempat	21
3.2. Alat dan Bahan	21
3.3. Parameter Perlakuan	21
3.4. Prosedur Penelitian	23
3.4.1. Pembuatan Rangkaian Alat Penelitian	24
3.4.2. Pengukuran K_s <i>Mortar</i> dengan Metode <i>Falling Head</i>	25
3.4.3. Difusi Larutan melalui Dinding <i>Mortar</i> ASP	26
3.4.4. Sebaran Pupuk pada Media Air	27
3.4.5. Aplikasi pada Budidaya Tanaman Pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>)	28
3.5. Parameter Pengamatan	28
3.5.1. Konduktivitas Hidrolik Jenuh	28
3.5.2. Difusi Larutan Pupuk melalui Dinding <i>Mortar</i>	28
3.5.3. Sebaran Pupuk pada Media Air	28
3.5.4. Aplikasi Fertigasi pada Tanaman Pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>).	29
3.6. Analisis Data	30
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	32
4.1. Spesifikasi Tabung <i>Monometer</i> dan <i>Mortar</i> ASP	32
4.2. Konduktivitas Hidrolik Jenuh <i>Mortar</i> ASP	33
4.3. Nilai Koefisien Difusi Dinding <i>Mortar</i> ASP	34
4.4. Hubungan Antara Suhu dan PH	39
4.5. Sebaran Larutan Nutrisi pada Media Air menggunakan <i>Surfer</i> 11	39
4.6. Aplikasi Fertigasi pada Tanaman Pak choi.....	42
4.6.1. Tinggi Tanaman	42
4.6.2. Jumlah Daun	42
4.6.3. Bobot Brangkasan	43
4.6.4. EC Nutrisi Tanaman	44
4.6.5. Suhu Nutrisi Tanaman	45
4.6.6. PH Nutrisi Tanaman	45
V. KESIMPULAN DAN SARAN	46
5.1. Kesimpulan	46
5.2. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA	48
LAMPIRAN	51

DAFTAR TABEL

Tabel	Teks	Halaman
1.	Nilai Ks pada berbagai jenis tanah dan alat irigasi	8
2.	Toleransi salinitas tanah dan pH pada berbagai jenis tanaman.....	15
3.	Pengaruh salinitas tanah pada daun, batang, akar utama dan akar lateral bidara (<i>ZizipHus mauritiana</i>)	17
4.	Klasifikasi tanaman pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>)	18
5.	Nilai pH dan EC beberapa jenis sayuran.....	20
6.	Rancangan percobaan.....	22
7.	Analisis ragam konduktivitas hidrolis <i>mortar</i> ASP.....	33
8.	Analisis ragam difusi larutan pupuk pada dinding <i>mortar</i> ASP	35
9.	Uji lanjut beda nyata terkecil interaksi faktor komposisi <i>mortar</i> ASP dengan konsentrasi pupuk.....	36
10.	Uji lanjut beda nyata terkecil bobot brangkasan bawah.....	43
11.	Uji lanjut beda nyata terkecil suhu nutrisi tanaman	45
12.	Uji lanjut beda nyata terkecil pH nutrisi tanaman.....	45
<i>Lampiran</i>		
13.	Nilai konduktivitas hidrolis jenuh <i>mortar</i> ASP	52
14.	Perubahan nilai EC setiap penambahan 1 liter air (EC air baku sebesar 139 μ S/cm).....	55
15.	Perubahan nilai EC setiap penambahan 1 liter air (EC air baku sebesar 246 μ S/cm).....	56
16.	Nilai koefisien difusi <i>mortar</i> ASP.....	57

17. Hubungan antara suhu dan pH	76
18. Sebaran larutan pupuk.....	77
19. Aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi	78
20. Konduktivitas hidrolik jenuh <i>mortar</i> ASP	91
21. Analisis nilai difusi <i>mortar</i> ASP	93
22. Uji lanjut interaksi komposisi <i>mortar</i> dan konsentrasi pupuk	97
23. Analisis tinggi tanaman minggu ke-3	98
24. Analisis jumlah daun.....	100
25. Analisis bobot brangkasan atas	102
26. Analisis bobot brangkasan bawah.....	103
27. Analisis suhu nutrisi tanaman	105
28. Analisis pH nutrisi tanaman	107

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Teks	Halaman
1.	Posisi kendi pada selah-selah tanaman	5
2.	Aliran horizontal kolom jenuh	9
3.	Diagram skematik <i>falling head permeameter</i>	12
4.	Dampak <i>stress</i> garam dalam tanah.....	16
5.	Tanaman pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>)	18
6.	Diagram alir penelitian.....	23
7.	Rangkaian pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh <i>mortar</i> ASP.....	25
8.	Rangkaian pengukuran difusi larutan pupuk pada dinding <i>mortar</i> ASP.....	26
9.	Jarak horizontal pengukuran sebaran pupuk	27
10.	Dimensi tabung <i>monometer</i> dan <i>mortar</i> ASP	32
11.	Konduktivitas hidrolis jenuh <i>mortar</i> ASP P ₁ dan P ₂	34
12.	Pengaruh interaksi komposisi <i>mortar</i> ASP (P) dan konsentrasi pupuk (K) terhadap nilai koefisien difusi	35
13.	Perbedaan nilai difusi P ₁ dan P ₂	37
14.	Penurunan nilai koefisien difusi.....	38
15.	Keseimbangan larutan pupuk.....	38
16.	Hubungan suhu dan pH.....	39
17.	Perubahan konsentrasi di luar <i>mortar</i> ASP.....	40
18.	Sebaran pupuk hari ke-4	41

19. Tinggi tanaman pak choi	42
20. Jumlah daun tanaman pak choi	43
21. Bobot brangkasan.....	44
22. Perubahan nilai EC.....	44

Lampiran

23. Perubahan nilai EC setiap penambahan 1 liter air (EC air baku sebesar 139 $\mu\text{S}/\text{cm}$).....	55
24. Perubahan nilai EC setiap penambahan 1 liter air (EC air baku sebesar 246 $\mu\text{S}/\text{cm}$).....	56
25. Pembuatan arang sekam.....	79
26. Pengukuran massa jenis komposisi <i>mortar</i> ASP	79
27. Proses pembuatan <i>mortar</i> ASP dengan perbandingan volume	79
28. Penyesuaian panjang <i>mortar</i> ASP.....	80
29. Pemotongan <i>mortar</i> ASP dengan gerinda potong.....	80
30. Pengukuran dimensi <i>monometer</i> dan <i>mortar</i> ASP.....	80
31. Pembuatan lubang dop penutup <i>mortar</i> ASP.....	81
32. <i>Mortar</i> ASP untuk uji ks dan analisis difusi	81
33. Pupuk <i>good plant</i> dan <i>aquades</i>	81
34. Pupuk cair <i>good plant</i>	82
35. Pembuatan nutrisi EC 3 dan 6 mS/cm.....	82
36. Pembuatan EC 9 mS/cm	82
37. Pengukuran Ks <i>mortar</i> P ₁ dan P ₂	83
38. Pengukuran difusi larutan pupuk	83
39. Semaian tanaman pak choi.....	83
40. Pompa hidroponik	84

41. Aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi	84
42. Pengukuran tinggi tanaman pak choi M_0 dan M_1	84
43. Pengukuran tinggi tanaman pak choi M_2 dan M_3	85
44. Hasil panen.....	85
45. Bobot brangkasan tanaman	85
46. Pengukuran EC	86
47. Pengukuran pH.....	86
48. Pengukuran sebaran pupuk	86
49. Pengukuran EC jarak 10 dan 15 cm dari pusat <i>mortar</i> ASP.....	87
50. Pengukuran EC jarak 5 dari pusat dan dalam <i>mortar</i> ASP.....	87
51. Pengukuran perubahan nilai EC.....	87
52. Sebaran larutan pupuk 3 mS/cm selama 5 hari	88
53. Sebaran larutan pupuk 6 mS/cm selama 5 hari	89
54. Sebaran larutan pupuk 9 mS/cm selama 5 hari	90

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Usaha untuk meningkatkan hasil pertanian tidak hanya dengan pemenuhan air irigasi akan tetapi diperlukan pemberian nutrisi yang tepat sesuai kebutuhan tanaman melalui pemupukan. Menurut Plaster (1992) dalam Hermantoro dkk (2003), cara pemupukan umumnya diberikan dengan cara ditebarkan di permukaan tanah, dibenamkan di dalam tanah, disemprotkan pada daun, atau melalui air irigasi yang disebut dengan fertigasi. Cara fertigasi dianggap lebih efisien karena pemupukan dengan cara ditebarkan di permukaan tanah lebih banyak terbuang dan pembenaman pupuk di dalam tanah membutuhkan waktu untuk dapat diserap oleh tanaman. Pada sistem fertigasi, pupuk diberikan secara fleksibel dalam waktu dan jumlah pemberian yang dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman.

Fertigasi merupakan cara pemberian pupuk bagi tanaman melalui sistem irigasi dengan cara melarutkan bahan pupuk ke dalam air irigasi. Menurut Salih dkk (2012) fertigasi memungkinkan petani untuk secara otomatis memberikan jumlah nutrisi yang memadai dengan konsentrasi yang sesuai untuk tanaman pada daerah perakaran aktif sepanjang musim tanam. Faktor utama yang menjadi pendorong aplikasi sistem fertigasi modern adalah perkembangan sistem irigasi mikro

dimana didalamnya terdapat irigasi tetes (*trickle irrigation*) dan irigasi curah (*sprinkler irrigation*). Metode fertigasi banyak dikembangkan pada sistem irigasi tetes dan irigasi *sprinkler*.

Selain telah diterapkan pada sistem irigasi mikro tersebut, sistem fertigasi juga telah dikembangkan ke sistem irigasi kendi dimana dinding kendi mampu meloloskan larutan pupuk sehingga kendi dapat digunakan sebagai alat fertigasi (Hermantoro dkk, 2003). Hasil pengukuran difusi larutan pupuk melalui dinding kendi dengan konduktivitas kendi sebesar 6.23×10^{-7} sampai dengan $7.25 \times 10^{-7} \text{ cm/det}$ mampu meloloskan larutan pupuk dengan permeabilitas sekitar $6.74 \times 10^{-7} \text{ cm/det}$. Laju difusi larutan melalui dinding kendi menurun dengan bertambahnya waktu bersamaan dengan berkurangnya konsentrasi larutan di dalam kendi (Hermantoro dkk, 2003).

Terdapat alternatif selain kendi dari tanah liat yang dapat dikembangkan yaitu *mortar* dari arang sekam padi. Pencampuran arang sekam padi dalam *mortar* akan meningkatkan porositas. Porositas tinggi yang dimiliki oleh *mortar* ASP dapat dijadikan sebagai bahan baku alat irigasi. Menurut Suwito dkk (2016) komposisi semen, pasir dan arang sekam padi masing-masing 1: 3: 3 dan 1: 3: 4 memiliki nilai konduktivitas hidrolis jenuh dan $9.72 \times 10^{-7} \text{ cm/det}$ dan $4.36 \times 10^{-6} \text{ cm/det}$. Dalam penelitian tersebut baru mengkaji komposisi bahan dan konduktivitas hidrolis jenuh *mortar* ASP. Oleh karena itu penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui koefisien difusi larutan pupuk dan sebaran pupuk dalam air, setelah analisis tersebut dilakukan aplikasi sistem fertigasi *mortar* ASP pada budidaya tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*).

1.2. Rumusan Masalah

Mortar ASP sudah diketahui nilai konduktivitas hidrolis jenuh untuk keperluan sistem irigasi hemat air namun belum dikembangkan menjadi suatu sistem fertigasi. Dalam pengembangan sistem fertigasi *mortar* ASP, langkah pertama harus mengetahui apakah dinding *mortar* ASP mampu meloloskan larutan pupuk. Untuk itu perlu mengkaji difusi larutan pupuk melalui dinding *mortar* ASP sebelum sistem fertigasi diaplikasikan pada budidaya tanaman.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Analisis nilai konduktivitas hidrolis jenuh *mortar* ASP;
2. Analisis kemampuan dinding *mortar* ASP meloloskan larutan pupuk;
3. Mengetahui pengaruh komposisi *mortar* ASP dan konsentrasi larutan pupuk terhadap nilai koefisien difusi;
4. Mengetahui sebaran larutan pupuk pada media air;
5. Mengetahui aplikasi sistem fertigasi *mortar* ASP terhadap hasil budidaya tanaman pak choi (*Brassica chinensis* L).

1.4. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kemampuan dinding *mortar* ASP meloloskan larutan pupuk dengan beberapa konsentrasi EC sehingga nantinya hasil kajian ini dapat digunakan sebagai referensi untuk keperluan fertigasi.

1.5. Hipotesis

Mortar ASP diduga dapat meloloskan larutan pupuk sebagai alat fertigasi.

1.5.1. Hipotesis Pengaruh Interaksi

Ho: Interaksi antara komposisi *mortar* ASP dan konsentrasi larutan pupuk tidak memberikan pengaruh yang nyata terhadap nilai koefisien difusi.

Hi: Interaksi antara komposisi *mortar* ASP dan konsentrasi larutan pupuk berpengaruh terhadap nilai koefisien difusi.

1.5.2. Hipotesis Pengaruh Utama Faktor Komposisi *Mortar* ASP

Ho: Komposisi *mortar* ASP tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien difusi.

Hi : Komposisi *mortar* ASP berpengaruh terhadap nilai koefisien difusi.

1.5.3. Hipotesis Pengaruh Utama Faktor Konsentrasi Larutan Pupuk

Ho: Konsentrasi larutan pupuk tidak berpengaruh terhadap nilai koefisien difusi.

Hi: Konsentrasi larutan pupuk berpengaruh terhadap nilai koefisien difusi.

1.6. Batasan Masalah

Penelitian ini menguji pengaruh nilai konduktivitas hidrolik jenuh *mortar* ASP dan konsentrasi larutan terhadap lamanya waktu rembesan hingga mencapai kesetimbangan larutan pupuk serta melihat aplikasi sistem fertigasi *mortar* ASP pada budidaya tanaman pak choi (*Brassica chinensis* L).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Alat Irigasi *Subsurface* (Kendi dan *Mortar ASP*)

Menurut Siyal dkk (2009) irigasi kendi merupakan irigasi kuno yang relatif efisien dan termasuk (*subsurface irrigation*) kerana kendi ditanam dalam tanah sebagai *emitter*. Sistem irigasi kendi merupakan metode irigasi yang menggunakan kendi sebagai penampung air sementara di bawah permukaan tanah dimana akan merembeskan air disekitar daerah perakaran tanaman. Menurut Stein (1994) dalam Hermantoro (2003) instalasi sistem irigasi kendi yang dilakukan dengan cara membenamkan kendi ke dalam tanah sampai batas leher kendi dan terdapat empat tanaman disekitar kendi tersebut. Sedangkan air dipasok dari drum yang memberikan pasokan air dengan tinggi tekan tetap. Model pemasangan kendi pada selah-selah tanaman dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Posisi kendi pada selah-selah tanaman
(Sumber: <http://www.lembahpinus.com>)

Dengan memperhatikan keberhasilan irigasi kendi maka dilakukan pembuatan *mortar* ASP. Pada dasarnya *mortar* ASP tidak jauh berbeda dengan kendi, dimana dapat dibuat atau diproduksi secara massal oleh industri lokal. *Mortar* ASP cukup kuat untuk menahan beban tekan. Oyetola dan Abdullahi (2006) melakukan penelitian mengenai pengaruh komposisi campuran antara semen OPC dan abu sekam padi dengan dengan perbandingan 50:50 mampu menahan gaya tekan sebesar 0.59 N/mm^2 . Menurut Suwito dkk (2016), bahan komposisi semen : pasir : arang sekam padi masing-masing 1: 3: 3 dan 1: 3: 4 memiliki nilai konduktivitas hidrolis jenuh sebesar $9.72 \times 10^{-7} \text{ cm/det}$ dan $4.36 \times 10^{-6} \text{ cm/det}$. Nilai konduktivitas hidrolis jenuh *mortar* ASP tidak jauh berbeda dengan nilai konduktivitas hidrolis jenuh kendi yaitu sebesar 6.23×10^{-7} sampai dengan $7.25 \times 10^{-7} \text{ cm/det}$ (Hermantoro dkk, 2003).

2.2. Fertigasi

Fertigasi diartikan sebagai proses pemupukan bagi tanaman melalui sistem irigasi dengan cara melarutkan pupuk ke dalam air irigasi (Landis, dkk 2010).

Kebutuhan air irigasi adalah faktor utama fertigasi sebab tujuan utama instalasi irigasi yaitu menyediakan air irigasi bagi tanaman, baru diikuti aplikasi sistem fertigasi dengan konsentrasi pupuk yang dapat diatur sesuai dengan kebutuhan tanaman. Fertigasi yang efektif memerlukan pengetahuan tentang bagaimana karakteristik tanaman seperti laju kebutuhan pupuk dan distribusi perakaran dalam tanah. Selain itu hal yang perlu dipertimbangkan adalah daya larut pupuk dalam air irigasi, mobilitas pupuk dalam tanah dan faktor kualitas air irigasi seperti pH, kandungan mineral, kadar garam terlarut.

Menurut Hermantoro dkk (2003), kendi dapat digunakan sebagai alat fertigasi. Kendi dapat merembeskan larutan pupuk secara konstan sehingga dapat memenuhi kebutuhan air dan hara tanaman. Air yang sebelumnya telah dicampur pupuk dimasukkan ke dalam kendi melalui mulut kendi. Kendi diletakkan pada selah-selah tanaman sehingga rembesan larutan pupuk yang keluar dari dalam kendi dapat langsung dijangkau tanaman karena berada di daerah perakaran tanaman. Sistem fertigasi kendi mampu memenuhi kebutuhan air dan nutrisi tanaman lada perdu dan dapat dikembangkan pada tanaman yang memiliki sifat mirip lada perdu dan hortikultura.

2.3. Konduktivitas Hidrolik

Konduktivitas hidrolik merupakan kemampuan suatu bahan dalam meloloskan air. Konduktivitas hidrolik tanah dalam keadaan jenuh dikenal dengan sebutan permeabilitas tanah (*soil permeability*). Secara kuantitatif permeabilitas tanah diartikan sebagai kecepatan Bergeraknya suatu cairan pada suatu media berpori dalam keadaan jenuh. Konduktivitas hidrolik dapat berubah tergantung dengan debit air yang masuk dan zat terlarut yang dalam air tersebut. Metode penetapan konduktivitas hidrolik (*permeabilitas*) di laboratorium menggunakan metode *constant head* pada tabung uji yang dihubungkan dengan *reservoir* (tangki air) yang mempunyai tinggi tekan tetap (*constant head*) dan dengan beda elevasi H (Wangsadipura, 2005).

Nilai konduktivitas hidrolik jenuh (K_s) berfungsi sebagai indikator laju rembesan suatu bahan dalam keadaan jenuh. Saat pengujian *mortar* ASP di lapangan nilai K_s tanah akan mempengaruhi laju rembesan *mortar* ASP. Semakin kecil nilai K_s

tanah terhadap K_s *mortar* ASP maka laju rembesan air akan terhambat.

Sebaliknya, jika nilai K_s tanah lebih besar dari *mortar* ASP maka laju rembesan air tidak akan mengalami hambatan. Berikut data nilai K_s dari berbagai jenis tekstur tanah pertanian dapat dilihat pada Tabel 1.

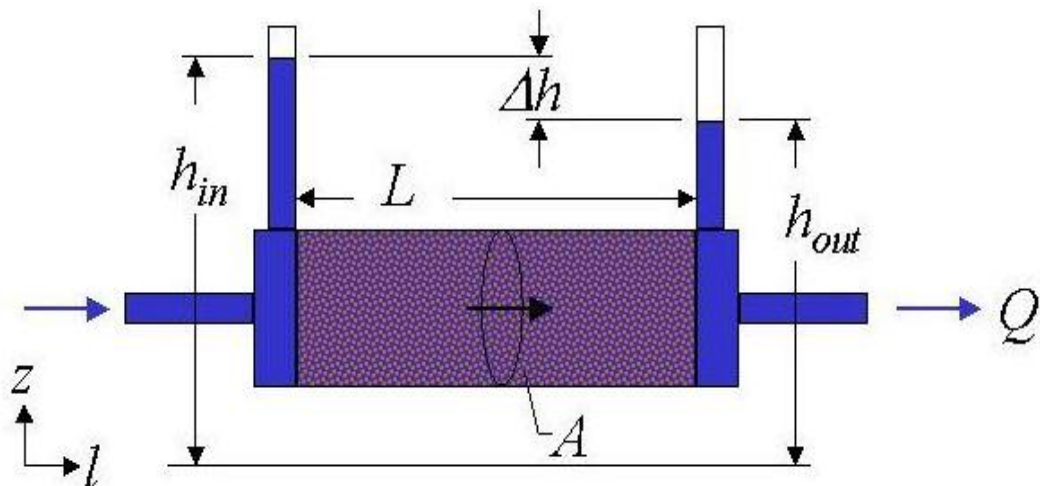
Tabel 1. Nilai K_s pada berbagai jenis tanah dan alat irigasi

No	Jenis tekstur tanah	K_s (cm/jam)	Sumber Data
1.	Lempung	0.0000852	Rosyidah dan Warosoedarmo, 2013
2.	Lempung berdebu	0.0000617	
3.	Lempung berliat	0.0000600	
4.	Liat	0.0001130	
5.	Pasir berlempung	2.1600000	Ashrafi, 2009
6.	Pasir halus	35.4600000	
7.	Pipa Gerabah	0.0167000	
8.	<i>Mortar</i> 1:3:3 (P1)	0.0035000	Suwito dkk, 2016
9.	<i>Mortar</i> 1:3:4 (P2)	0.0157000	

Tabel 1 menunjukkan perbandingan nilai konduktivitas hidrolis jenuh (K_s) *mortar* ASP dengan berbagai jenis tanah dan salah satu alat irigasi bawah tanah berupa pipa gerabah. Nilai (K_s) *mortar* ASP pada perlakuan P_1 dan P_2 jika dibandingkan dengan K_s dari berbagai tekstur tanah lempung, lempung berdebu, lempung berliat, dan liat maka nilai K_s *mortar* ASP lebih tinggi. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa laju rembesan *mortar* ASP terhambat jika diuji pada keempat jenis tanah tersebut. Sedangkan nilai K_s tanah bertekstur pasir berlempung sebesar 2.16 cm/jam sedangkan K_s pasir (*fine sand*) sebesar 35.46 cm/jam (Ashrafi, 2009). Nilai K_s *mortar* ASP pada perlakuan P_1 dan P_2 lebih kecil dari K_s kedua jenis tanah tersebut sehingga rembesan *mortar* ASP tidak akan mengalami hambatan.

2.3.1. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik menggunakan *Constant Head*

Menurut Budi (2011), permeabilitas adalah kemampuan media untuk mengalirkan air melalui porinya. Koefisien permeabilitas dapat didefinisikan sebagai kecepatan air melalui suatu unit luasan pada satu unit *hydraulic gradient* (Gambar 2), dimana *hydraulic gradient* (i) adalah *head* (ΔH) persatuan lintasan air (L). Telah diketahui bahwa kecepatan aliran air di dalam melewati tanah sangat kecil sehingga dikategorikan sebagai aliran laminer. Kecepatan aliran laminer dapat ditentukan menurut hukum Darcy.



Gambar 2. Aliran horizontal kolom jenuh
(Sumber: <http://pustakatambang.blogspot.co.id>)

Menurut Hillel (1971) hukum Darcy melibatkan kehantaran hidrolik dan gradien hidrolik sebagai parameter. Gambar 2 menunjukkan kolom horisontal tanah, dimana aliran air yang terjadi dari kiri ke kanan, dari reservoir atas ke bawah, di masing-masing tingkat air dijaga konstan. Pengalaman menunjukkan bahwa tingkat debit Q , menjadi volume V yang mengalir melalui kolom per satuan waktu.

$$Q = \frac{V}{t} \dots \dots \dots (1)$$

Cara yang biasa untuk menentukan penurunan *head* hidrolik seluruh sistem adalah untuk mengukur *head* pada batas *inflow* (H_i) dan pada batas *outflow* (H_0), relatif terhadap beberapa tingkat referensi. ΔH adalah perbedaan antara dua *head* ini.

$$\Delta H = H_i - H_0 \dots \dots \dots (2)$$

Kecepatan aliran air dirumuskan sebagai berikut:

$$q = \frac{V}{A \times t} = \frac{Q}{A} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana:

- q : kecepatan aliran air/fluks (cm/jam)
- Q : debit air (cm³/jam)
- V : jumlah air yang mengalir atau volume (cm³)
- A : luas penampang (cm²)
- t : waktu (jam)

Kehilangan *head* per satuan jarak dalam arah aliran ($\Delta H / L$) adalah gradien hidrolik (*i*). tingkat debit spesifik Q/A (volume air yang mengalir melalui daerah A per waktu t disebut kerapatan fluks/fluks), dengan simbol q . Dengan demikian, fluks sebanding dengan gradien hidrolik.

$$q = K \times i \dots \dots \dots (4)$$

Dimana:

- q : kecepatan aliran air/fluks (cm/jam)
- K : konduktivitas hidrolik jenuh (cm/jam)
- i : gradien hidrolik

Proporsional faktor k umumnya ditunjuk sebagai konduktivitas hidrolik:

$$K = \frac{Q \times L}{A \times \Delta h} \dots \dots \dots (5)$$

Dimana:

K : konduktivitas hidrolik jenuh (cm/jam)

Q : debit rembesan (cm³/jam)

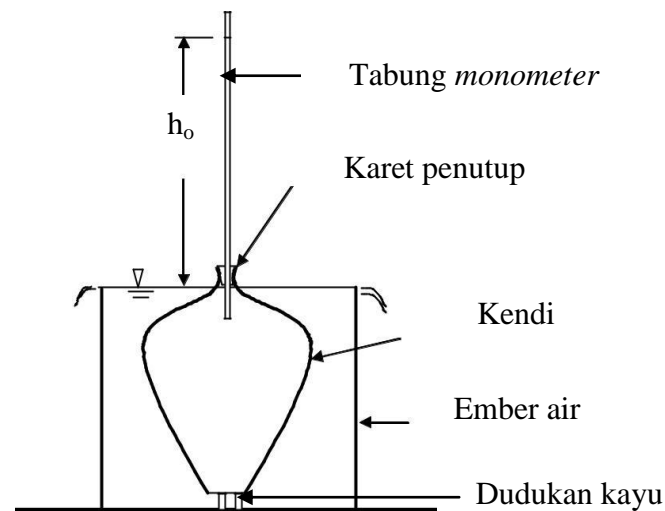
A : luas permukaan selubung luar (cm²)

l : tebal dinding (cm)

Δh : beda tinggi permukaan air (cm)

2.3.2. Pengukuran Konduktivitas Hidrolik Jenuh menggunakan *Falling Head*

Konduktivitas hidrolik jenuh kendi dapat diukur menggunakan metode *falling head* dari Abu-Zreig dan Atoum (2004). Sebuah metode *falling head* dimodifikasi dan diadaptasi untuk mengukur konduktivitas hidrolik jenuh dari seluruh kendi menggunakan air keran. Pertama kali kendi penuh air direndam dalam bak air selama tiga hari untuk penjenuhan. Setelah itu kendi direndam sampai leher kendi dalam ember air untuk tujuan pengukuran konduktivitas hidrolik jenuh. Tingkat air di ember yang dipertahankan konstan dengan cara *overflow* (meluap). Sebuah tabung *monometer* dimasukkan ke dalam karet penutup dan dipasang erat ke mulut kendi. Diagram skematik *falling head* yang digunakan untuk mengukur konduktivitas hidrolik jenuh dari kendi ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram skematik *falling head* permeameter

Perubahan *head*, yang merupakan ketinggian muka air di tabung *monometer* atas hingga permukaan air bebas dari ember, dipantau dengan waktu. Persamaan *falling head* untuk perhitungan K_s menurut Stein (1990) dalam Abu-Zreig dan Attom (2004):

$$\ln \frac{h_0}{h} = \frac{A \times K_s}{a \times L} \times t \dots \dots \dots (6)$$

Dimana:

h_0 = tinggi dari air di tabung *monometer* ke permukaan air bebas pada t_0 (cm),

h = tinggi air di tabung *monometer* pada waktu t (cm),

A = luas area permukaan kendi (cm^2),

a = luas penampang tabung *monometer* (cm^2),

L = ketebalan dinding rata-rata dari kendi (cm),

K_s = jenuh konduktivitas hidrolis jenuh (cm/jam),

t = waktu kumulatif (jam).

2.4. Analisis Difusi Larutan

Difusi larutan dalam media porus mengikuti hukum Fick (Hillel, 1971) dapat dilihat pada persamaan 7:

$$q_c = -D(c) \times \frac{\partial C}{\partial x} \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- q_c : fluks aliran larutan (mS/cm/hari)
- $D(c)$: koefisien difusi (cm²/hari)
- ∂C : perubahan konsentrasi larutan (mS/cm)
- ∂x : perubahan jarak atau tebal dinding (cm)

Mehta dkk (1995) dalam Hermantoro (2003) mengatakan bahwa untuk tujuan praktis $D(c)$ tergantung pada kadar air bahan. Kemampuan dinding kendi meloloskan larutan pupuk direpresentasikan melalui percobaan difusi larutan melalui dinding kendi. Jumlah massa larutan persatuan waktu yang melewati dinding kendi dapat didekati dengan persamaan 8:

$$q_c = \frac{\Delta Cl \times V}{A \times \Delta t} \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- ΔCl : perubahan konsentrasi di luar kendi (mS/cm)
- Δt : interval waktu pengukuran (hari)
- A : luas penampang dinding kendi (cm²)
- V : volume larutan luar kendi (cm³)

Substitusi persamaan 7 dan persamaan 8 menghasilkan persamaan untuk menghitung nilai D :

$$D = - \frac{\left\{ \frac{\Delta Cl \times V}{A \times \Delta t} \right\}}{\frac{\Delta C}{\Delta x}} \dots \dots \dots (9)$$

Dimana:

ΔCl : perubahan konsentrasi di luar kendi (mS/cm)

V : volume larutan luar kendi (cm³)

A : luas penampang dinding kendi (cm²)

Δt : interval waktu pengukuran (hari)

ΔC : perbedaan konsentrasi dalam dan luar kendi (mS/cm)

Δx : jarak atau tebal dinding (cm)

2.5. Efek Salinitas

Menurut Kalsim (2010), salinitas tanah berkaitan dengan konsentrasi garam terlarut yang tinggi dalam lengas tanah pada daerah perakaran. Konsentrasi garam terlarut yang tinggi menyebabkan tekanan osmotik tinggi sehingga mempengaruhi pertumbuhan tanaman dengan menghambat pengisapan air oleh akar. Pengaruh utama salinitas terhadap pertumbuhan dan produksi tanaman yaitu perkecambahan benih terhambat, secara fisiologis tanaman akan kering dan layu, pertumbuhan tanaman terhambat, daun kecil ruas pendek, percabangan sedikit, daun berwarna hijau kebiruan, pembungaan terhambat, biji lebih kecil, dan sebagai akibatnya produksi juga akan berkurang.

Toleransi tanaman terhadap salinitas dinyatakan dengan hantaran listrik ekstrak jenuh tanah (EC dalam mmhos/cm) di daerah perakaran tanaman. Beberapa peneliti menyatakan salinitas dalam satuan dS/m (desi Siemens/m). Konversi

satuan 1 dS/m= 1 mS/cm (mili Siemens/cm = 1 mmhos/cm). Toleransi salinitas tanah dan pH pada berbagai jenis tanaman dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Toleransi salinitas tanah dan pH pada berbagai jenis tanaman

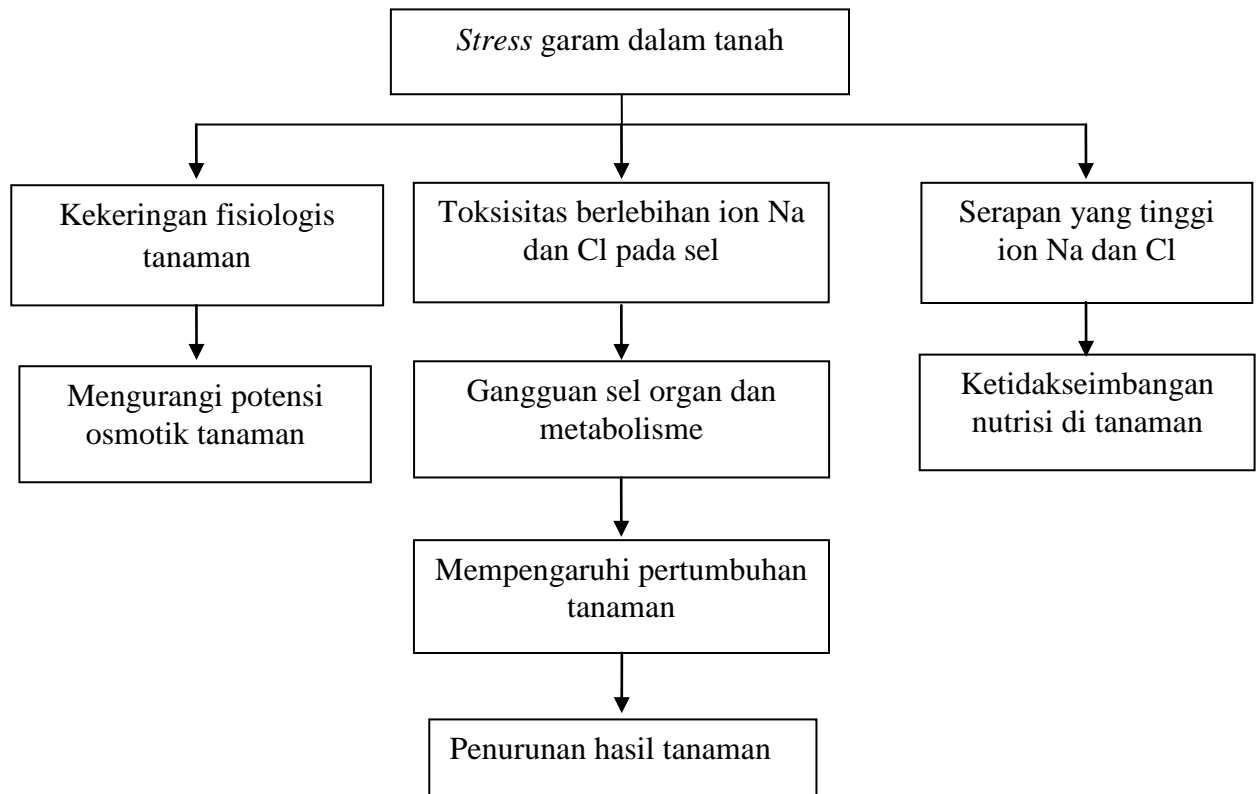
Tanaman	Salinitas (mmhos/cm) pada pengurangan produksi (%)					pH	
	0	10	25	50	100	Kisaran	Optimum
Buncis	1	1.5	2.3	3.6	6.5	5.2-8.2	6.0-7.0
Cabai	1.5	2.2	3.3	5.1	8.5	5.2-8.2	6.0-7.6
Jagung	1.7	2.5	3.8	5.9	10	5.2-8.5	5.8-7.8
Kacang Tanah	3.2	3.5	4.1	4.9	6.5	5.4-8.2	6.0-7.5
Kedelai	5	5.5	6.2	7.5	10	5.2-8.2	5.5-7.5
Kelapa	4	8	12	16	25	4.5-8.5	5.2-7.5
Nenas	0.5	1	2	3	6	4.0-7.8	5.0-6.5
Padi	3	3.8	5.1	7.2	12	4.5-8.2	5.5-7.5
Sawit	0.5	1	2	3	8	3.5-7.5	5.0-6.5
Semangka	2.5	3.3	4.4	6.3	10	5.0-8.2	5.6-7.6
Tomat	2.5	3.5	5	7.6	12.5	5.0-8.2	6.0-7.5

Sumber: Sys C.; Vans Ranst; J Debaveye; F. Beenaert, 1993. Land Evaluation Part III: Crop Requirements. Agriculture Publication No. 7. Genaral Administration for development Cooperation. Belgium.

Menurut Lauchli dan Grattan (2007), perkembangan reproduksi dianggap kurang sensitif terhadap *stress* garam dari pertumbuhan vegetatif. Pada gandum, *stress* garam dapat mempercepat pertumbuhan reproduksi namun menghambat perkembangan bulir dan menurunkan potensi hasil. Sedangkan pada beras *stress* garam lebih sensitif, hasil yang rendah terutama terkait dengan penurunan anakan dan bulir steril dalam beberapa kultivar. Menurut de Oliviera, dkk (2013), dampak salinitas terhadap pertumbuhan tanaman berhubungan dengan potensi osmotik tanaman, ketidakseimbangan nutrisi, efek toksisitas akibat ion berlebih,

atau kombinasi dari faktor-faktor tersebut yang akan mengurangi hasil tanaman.

Dampak *stress* garam dalam tanah dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Dampak *stress* garam dalam tanah
(Annal of Botany dalam Lauchi dan Grattan, 2007)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan Bhatt dkk (2008), salinitas menyebabkan penurunan munculnya bibit, kadar air, dan potensi air dari organ bibit. Kadar air dalam daun, batang, akar utama dan akar lateral secara signifikan menurun dengan meningkatnya konsentrasi garam dalam tanah. Kadar air maksimum dalam daun dan minimum di akar lateral. Organ dapat diatur sesuai dengan kadar air dalam urutan menurun berikut: daun > batang > akar utama > akar lateral. Potensi air secara signifikan menjadi lebih negatif di daun, batang, akar utama dan akar lateral akibat salinitas tanah meningkat. Pengaruh salinitas tanah pada daun, batang, akar utama dan akar lateral bidara dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Pengaruh salinitas tanah pada daun, batang, akar utama dan akar lateral bidara (*ZizipHus mauritiana*)

Salinitas	Tinggi tunas	panjang akar	luas daun	Berat cabang (daun+batang)	Akar utama Berat	akar lateral Berat	Jumlah akar Berat
DS/m	Cm	Cm	cm/tanaman	mg/tanaman	mg/tanaman	mg/tanaman	mg/tanaman
0.3	21.1 ± 1.3	34.7 ± 1.2	220.0 ± 5.0	742.7 ± 28.6	254.7 ± 20.6	91.0 ± 8.4	345.7 ± 25.5
3.9	18.7 ± 1.0	27.6 ± 1.0	173.0 ± 3.0	523.3 ± 17.7	204.0 ± 15.7	77.3 ± 7.7	264.0 ± 20.1
6.0	16.2 ± 1.1	22.5 ± 1.2	155.0 ± 2.0	412.7 ± 16.7	182.7 ± 13.9	61.7 ± 6.5	229.4 ± 18.0
7.9	13.1 ± 0.7	17.6 ± 0.9	123.0 ± 3.0	275.3 ± 12.8	152.0 ± 11.6	44.7 ± 4.1	184.9 ± 14.0
10	9.3 ± 0.8	13.4 ± 0.8	96.0 ± 3.0	173.3 ± 6.9	109.7 ± 8.1	39.7 ± 3.9	140.6 ± 10.6
α	22.52	35.64	224.60	758.64	262.14	94.91	357.05
β	-1.22	-2.23	-12.67	-59.28	-14.51	-5.70	-20.21
R	-0.726	-0.853	-0.961	-0.946	-0.796	-0.675	-0.862
LSD 0.05	6.60	8.10	18.90	113.20	63.20	35.80	68.70

Keterangan: α : potensi air, β : kadar prolin, R: Hubungan antara potensi air dan kadar prolin, LSD 0.05: Uji Lanjut taraf 5%

2.6. Tanaman Pak choi (*Brassica chinensis L*)

Pak choi (Gambar 5) merupakan salah satu sayuran penting di Asia, khususnya di Cina. Sayuran ini sangat populer terutama di kalangan masyarakat keturunan Cina. Tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*) yang memiliki nilai ekonomis dan nilai gizi tinggi. Tanaman ini berkembang pesat di daerah subtropis maupun tropis.



Gambar 5. Tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*)

Menurut USDA (2016), klasifikasi tanaman pak choi dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Klasifikasi tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*)

Klasifikasi tanaman pak choi (<i>Brassica chinensis L</i>)	
<i>Kingdom</i>	<i>Plantae</i>
<i>Subkingdom</i>	<i>Tracheobionta</i>
<i>Subdivisi</i>	<i>Spermatophyta</i>
<i>Divisi</i>	<i>Magnoliophyta</i>
<i>Kelas</i>	<i>Dicotyledonae</i>
<i>Subkelas</i>	<i>Dilleniidae</i>
<i>Ordo</i>	<i>Capparales</i>
<i>Famili</i>	<i>Brassicaceae</i>
<i>Genus</i>	<i>Brassica</i>
<i>Spesies</i>	<i>Brassica chinensis (L.)</i>

Menurut Rubatzky dan Yamaguchi (1998), tanaman pak choi memiliki daun bertangkai, berbentuk oval, berwarna hijau tua dan mengkilap, tumbuh tegak setengah mendatar, tangkai daun berwarna hijau muda, gemuk dan berdaging dengan tinggi 15-30 cm. Sayuran ini memiliki banyak kelebihan dibandingkan famili sawi-sawian yang lain diantaranya, waktu panen singkat, daya adaptasi luas (tidak peka terhadap perubahan suhu) dan kualitas produk tahan lama karena

dapat disimpan hingga 10 hari setelah panen pada suhu 0-5⁰C dengan kelembaban 95%. Penelitian Perwitasari dkk (2012) menyebutkan bahwa terdapat pengaruh kombinasi macam media dan nutrisi terhadap pertumbuhan dan hasil tanaman pak choi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan terbaik terdapat pada komposisi media arang sekam dan nutrisi *goodplant*.

2.7. Electrical Conductivity (EC)

Electrical conductivity (EC) merupakan suatu kemampuan air sebagai penghantar listrik yang dipengaruhi oleh jumlah ion atau garam yang terlarut di dalam air. Semakin tinggi konsentrasi larutan semakin tinggi daya hantar listrik yang terjadi karena banyaknya kandungan garam dan akumulasi ion mempengaruhi kemampuan menghantarkan listrik. Menurut Herwibowo dan Budiana (2014), *electrical conductivity* (EC) untuk sayuran daun berkisar 1.5-2.5 mS/cm. Pada EC yang terlampau tinggi, tanaman tidak dapat menyerap hara karena telah jenuh. Batasan jenuh untuk sayuran daun adalah EC sebesar 4.2 mS/cm. Pertumbuhan tanaman akan terhambat bila EC melebihi batas jenuh dan dapat mengakibatkan keracunan pada tanaman. Setiap jenis dan umur tanaman membutuhkan larutan dengan EC yang berbeda-beda. Berikut ini merupakan kebutuhan EC tanaman dari tanaman kecil, medium, besar, dan fase generatif.

- Tanaman kecil : 1 mS/cm
- Tanaman medium : 1.5 mS/cm
- Tanaman besar : 2 mS/cm
- Tanaman fase generatif : 2.5-3.5 mS/cm

Nilai pH dan EC untuk beberapa jenis sayuran dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai pH dan EC beberapa jenis sayuran

Tanaman	PH	EC
Brokoli	6.0-6.8	3.0-3.5
Kubis	6.5-7.0	2.5-3.0
Cabai	5.5-6.0	3.0-3.5
Kubis Bunga	5.8-6.2	1.8-2.2
Mentimun	5.5-6.0	1.5-2.0
Terung jepang	5.8-6.2	1.0-2.5
Bawang daun	6.5-7.0	0.8-1.5
<i>Lettuce</i>	6.0-6.5	2.0-3.0
<i>Head Lettuce</i>	6.0-6.5	2.0-3.0
Bayam	6.0-7.0	1.4-1.8
Tomat	5.5-6.5	2.0-5.0
Zucchini	6.5-7.0	1.5-2.0
Pak choi	6.5-7.0	1.5-2.0

Sumber: Trubus (2004) dalam Musfati (2009)

III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juli – September 2016 dengan tempat penelitian yang berbeda. Pengujian konduktivitas hidrolis jenuh *mortar* ASP, analisis difusi larutan pupuk melalui dinding *mortar* ASP dilakukan di Laboratorium Daya dan Alat Mesin Pertanian Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung. Sebaran larutan pupuk dan aplikasi fertigasi pada tanaman Pak choi dilakukan di Griya Gedung Meneng.

3.2. Alat dan Bahan

Adapun alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah tabung *monometer*, *mortar* ASP, EC meter, pH meter, *stopwatch*, mistar, gelas ukur, bak air (ember), ayakan, cetok, timbangan, gerinda potong, bor listrik, dop paralon, isolasi dan paralon. Sedangkan bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah larutan pupuk *goodplant*, arang sekam, benih Pak choi, dan air.

3.3. Parameter Perlakuan

Difusi larutan pupuk melalui dinding *mortar* ASP dilakukan dengan metode rancangan percobaan. Rancangan perlakuan yang diterapkan pada pengujian ini adalah rancangan faktorial RAL, karena penelitian melibatkan faktor perlakuan

lebih dari satu. Kedua faktor dalam rancangan perlakuan ini adalah komposisi *mortar* ASP (P) dan konsentrasi pupuk (K). Jenis *mortar* ASP (P) memiliki 2 taraf dan Faktor konsentrasi pupuk mempunyai 3 taraf.

a. Faktor komposisi *mortar* ASP (P)

- *Mortar* P₁ dimana perbandingan komposisi semen, pasir dan arang sekam (1:3:3)
- *Mortar* P₂ dimana perbandingan komposisi semen, pasir dan arang sekam (1:3:4)

b. Faktor konsentrasi pupuk

- 3 (mS/cm/cm) (K₁)
- 6 (mS/cm/cm) (K₂)
- 9 (mS/cm/cm) (K₃)

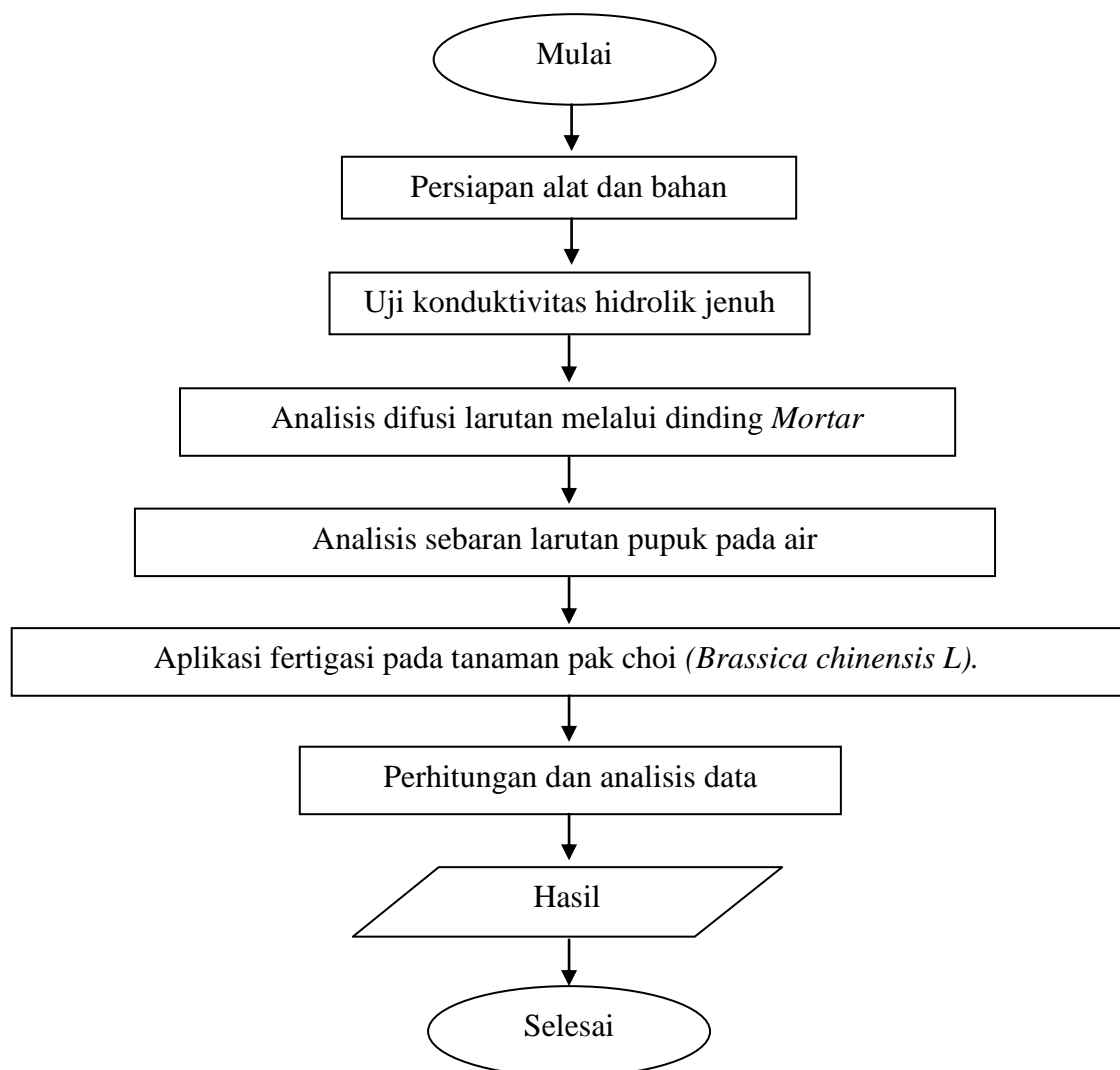
Adapun rancangan percobaan yang dilakukan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Rancangan percobaan

	Ulangan	K ₁	K ₂	K ₃	Total
p ₁	1	Y ₁₁₁	Y ₂₁₁	Y ₃₁₁	
	2	Y ₁₁₂	Y ₂₁₂	Y ₃₁₂	
	3	Y ₁₁₃	Y ₂₁₃	Y ₃₁₃	
	Total	Y _{11.}	Y _{21.}	Y _{31.}	Y _{.1.}
P ₂	1	Y ₁₂₁	Y ₂₂₁	Y ₃₂₁	
	2	Y ₁₂₂	Y ₂₂₂	Y ₃₂₂	
	3	Y ₁₂₃	Y ₂₂₃	Y ₃₂₃	
	Total	Y _{12.}	Y _{22.}	Y _{32.}	Y _{.2.}
Total		Y _{1..}	Y _{2..}	Y _{3..}	Y _{...}

3.4. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian yang dilakukan adalah pembuatan rangkaian alat penelitian, pengujian konduktivitas hidrolis jenuh *mortar* ASP, analisis difusi larutan melalui dinding *mortar* ASP, pengukuran sebaran larutan pupuk dalam media air dan aplikasi fertigasi pada tanaman Pak choi. Adapun diagram alir dari penelitian yang akan dilakukan terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Diagram alir penelitian

3.4.1. Pembuatan Rangkaian Alat Penelitian

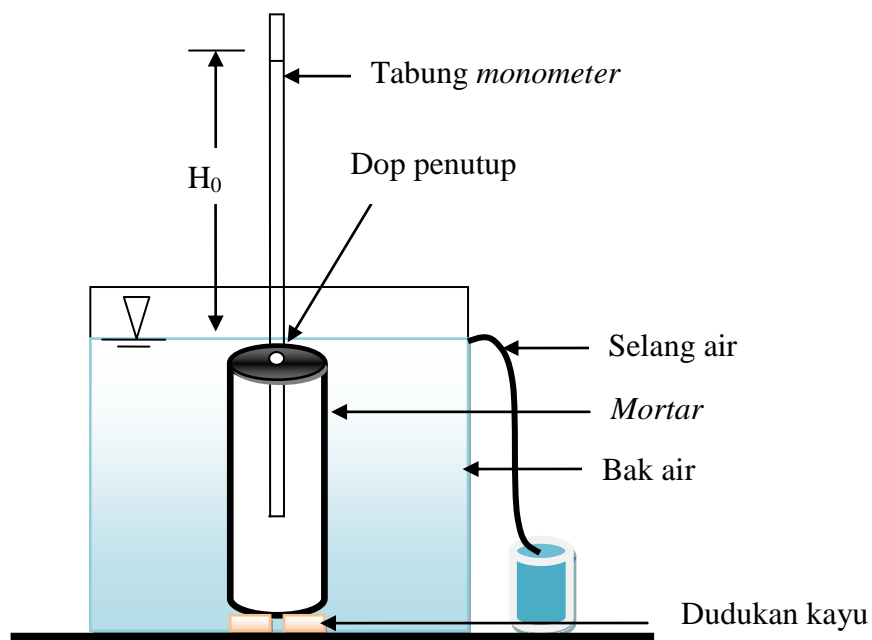
Rangkaian alat penelitian terdiri dari tabung *monometer* yang dibuat dari pipa berukuran 0.5 *inchi*, ember cat yang telah diberi lubang dengan adaptor agar air dapat keluar dari lubang tersebut sesuai dengan ketinggian *mortar* ASP. Berikut adalah tahapan-tahapan dalam perangkaian alat penelitian yang akan digunakan:

1. Pada penelitian ini *mortar* ASP yang digunakan P_1 dan P_2 .
2. Pipa berukuran 0.5 *inchi* dipotong sepanjang 50 cm.
3. Pada bagian atas *mortar* ASP ditempelkan dop berukuran 4 *inchi*.
4. Dop *mortar* ASP diberi lubang untuk masuknya pipa berukuran 0.5 *inchi*.
5. *Mortar* ASP dan pipa 0.5 *inchi* tersebut digabungkan menjadi satu dengan cara memasukkan pipa berukuran 0.5 *inchi* ke dalam sok drat sehingga dapat digunakan sebagai tabung *monometer*.
6. Ember cat yang telah diberi lubang dengan adaptor sesuai dengan ketinggian *mortar* ASP agar air dapat keluar dari lubang tersebut, tingkat air di ember yang dipertahankan konstan dengan cara *overflow* (meluapkan air).
7. *Mortar* ASP yang telah dipasang tabung *monometer* dimasukkan ke dalam ember cat untuk tujuan pengukuran konduktivitas hidrolik jenuh.
8. Rangkain *falling head* yang telah siap, tabung *monometer* diisi air hingga ketinggian 50 cm dari atas permukaan air.

3.4.2. Pengukuran K_s Mortar dengan Metode *Falling Head*

Prosedur percobaan untuk mengukur konduktivitas hidrolis jenuh mortar ASP adalah:

1. *Mortar* ASP diisi penuh air dan direndam ke dalam bak air selama tiga hari untuk penjenuhan.
2. Setelah *mortar* ASP direndam, *mortar* ASP dipasang tabung *monometer* dimasukkan ke dalam ember air untuk tujuan pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh.
3. Tingkat air di ember yang dipertahankan konstan dengan cara *overflow*.
4. Setelah laju aliran keluar maka dilakukan pengukuran tinggi air di tabung *monometer* pada waktu t .
5. K_s mortar ASP dihitung menggunakan Persamaan 6.
6. Diagram skematik *falling head* yang digunakan untuk mengukur konduktivitas hidrolis jenuh dari *mortar* ASP ditunjukkan pada Gambar 7.

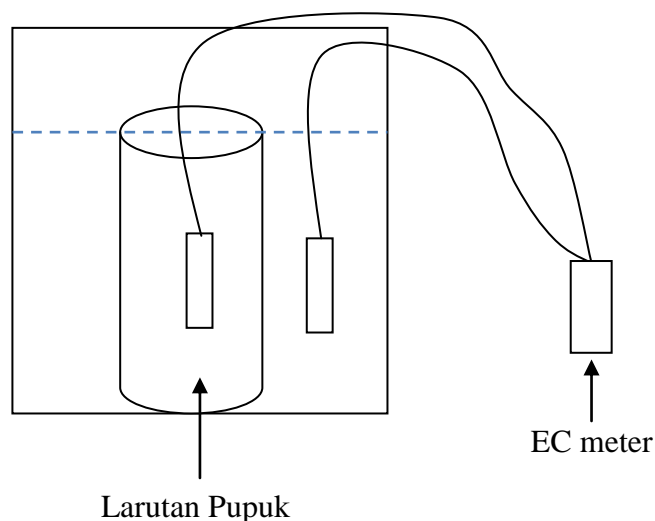


Gambar 7. Rangkaian pengukuran konduktivitas hidrolis jenuh mortar ASP

3.4.3. Difusi Larutan melalui Dinding *Mortar* ASP

Prosedur percobaan difusi larutan melalui dinding *mortar* ASP dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. *Mortar* ASP direndam dalam air selama 2 hari lebih supaya jenuh.
2. *Mortar* ASP diisi larutan sampai ketinggian badan *mortar*.
3. *Mortar* ASP dimasukkan dalam wadah yang telah diisi air.
4. Ketinggian air di dalam wadah tersebut dibuat sama tinggi dengan larutan pupuk dalam *mortar* ASP.
5. Air yang dimasukkan pada ember cat sebanyak 11 liter air agar ketinggian sama.
6. Konsentrasi larutan diukur dengan EC meter baik di dalam maupun di luar *mortar* ASP, selain itu dilakukan pengukuran suhu dan pH dengan waktu pengambilan data sehari dua kali yaitu pukul 8.00 dan 13.00 WIB.
7. Rangkaian analisis difusi larutan pupuk pada dinding *mortar* ASP terlihat pada Gambar 8.

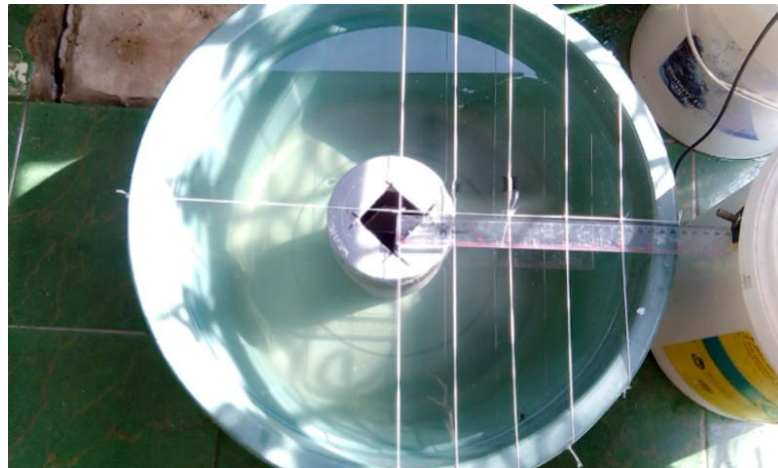


Gambar 8. Rangkaian pengukuran difusi larutan pupuk pada dinding *mortar* ASP

3.4.4. Sebaran Pupuk pada Media Air

Prosedur percobaan sebaran pupuk pada media air dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. *Mortar* ASP direndam dalam air selama 2 hari supaya jenuh.
2. *Mortar* ASP diisi larutan sampai ketinggian badan *mortar* (862 ml).
3. *Mortar* ASP dimasukkan dalam wadah yang telah diisi air sebanyak 30 liter dan diberi tanda menggunakan tali sesuai jarak yang ditentukan.
4. Ketinggian air di dalam wadah tersebut dibuat sama tinggi dengan larutan pupuk dalam *mortar* ASP.
5. Pengukuran konsentrasi larutan dengan EC meter di setiap titik dengan jarak horizontal 5, 10, 15, dan 20 cm dari pusat *mortar* ASP, dimana masing-masing jarak horizontal diukur pada kedalaman 2, 4, dan 6 cm dari muka air diukur dengan waktu pengambilan data sehari sekali (Gambar 9).



Gambar 9. Jarak horizontal pengukuran sebaran pupuk

3.4.5. Aplikasi pada Budidaya Tanaman Pak choi (*Brassica chinensis L*)

Setelah mengetahui sebaran pupuk pada media air disetiap titik kemudian dilakukan aplikasi ke tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*).

3.5. Parameter Pengamatan

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa tahapan penelitian ini yaitu konduktivitas hidrolis jenuh, difusi larutan pupuk melalui dinding *mortar* ASP, analisis sebaran larutan pupuk pada media air dan aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*). Adapun parameter disetiap tahapan adalah sebagai berikut:

3.5.1. Konduktivitas Hidrolis Jenuh

Parameter yang diamati yaitu penurunan *head* air yang terbaca pada tabung *monometer*.

3.5.2. Difusi Larutan Pupuk melalui Dinding *Mortar*

Parameter yang diamati yaitu perubahan konsentrasi di dalam dan di luar *mortar* ASP, suhu dan pH di dalam dan di luar *mortar* ASP.

3.5.3. Sebaran Pupuk pada Media Air

Parameter yang diamati yaitu perubahan konsentrasi disetiap titik dengan jarak horizontal 5, 10, 15, dan 20 cm dari pusat *mortar* ASP, dimana masing-masing jarak horizontal diukur pada kedalaman 2, 4, dan 6 cm dari permukaan air.

3.5.4. Aplikasi Fertigasi pada Tanaman Pak choi (*Brassica chinensis L.*)

Pengamatan yang dilakukan yaitu dengan mengamati parameter lingkungan, larutan nutrisi, pertumbuhan tanaman. Masing-masing parameter ini ada yang diukur harian, mingguan, dan pengamatan saat panen.

a. Pengamatan Harian

Parameter yang diukur dalam pengamatan harian meliputi:

1. Suhu Nutrisi Tanaman

Pengukuran suhu dilakukan pada nutrisi sekitar tanaman dilakukan di pagi hari.

2. PH Nutrisi Tanaman

Pengukuran pH dilakukan pada nutrisi sekitar tanaman dilakukan di pagi hari.

3. EC nutrisi

Pengukuran EC dilakukan di pagi hari.

b. Pengamatan mingguan

Variabel tanaman yang diukur meliputi:

1. Jumlah daun per tanaman (helai)

Perhitungan jumlah daun dilakukan pada daun yang telah terbuka sempurna pada setiap tanaman.

2. Tinggi tanaman (cm)

Tinggi tanaman diukur dari perbatasan antara akar dan batang sampai dengan daun tertinggi pada masing-masing tanaman.

c. Pengamatan saat panen

Tanaman pak choi dipanen pada 21 hari setelah tanam (HST). Pak choi yang siap panen memiliki ciri-ciri fisik yaitu tanaman belum berbunga, batang, dan daun belum terlihat menua, dan batang masih dalam keadaan tunak.

Pengamatan saat panen meliputi:

1. Bobot brangkasan total

Tanaman hasil panen pada masing-masing perlakuan ditimbang seluruhnya beserta akarnya menggunakan timbangan.

2. Bobot brangkasan atas (tajuk) tanaman

Tanaman dipotong bagian akarnya, kemudian ditimbang bobot atas (tajuk) tanaman menggunakan timbangan.

3. Bobot brangkasan bawah (akar) tanaman

Bobot brangkasan bawah tanaman diperoleh dari pengurangan bobot brangkasan total dengan berat tajuk tanaman.

3.6. Analisis Data

Ada beberapa analisis yang akan dilakukan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Data konduktivitas hidrolis jenuh 18 *mortar* diuji kesamaan ragamnya dengan menggunakan uji F dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel dengan menggunakan Ms. Excel.
2. Data koefisien difusi yang diperoleh diuji kesamaan ragamnya dengan menggunakan uji F dan apabila terdapat interaksi antar perlakuan maka dilakukan uji terhadap pengaruh sederhana sebagai konsekuensi logis dalam percobaan faktorial RAL. Selanjutnya data dianalisis lebih lanjut dengan uji

beda nyata terkecil (BNT) pada taraf 5% dan 1%. Hasil uji data ditampilkan dalam bentuk tabel dan grafik.

3. Data sebaran pupuk pada media air diolah menggunakan *software Surfer 11* dan hasilnya berupa plot gambar dari *software* tersebut.
4. Semua data aplikasi fertisasi pada tanaman pak choi (*Brassica chinensis L*) diuji kesamaan ragamnya dengan menggunakan uji F dan hasilnya ditampilkan dalam bentuk tabel dengan menggunakan Ms. Excel.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai konduktivitas hidrolis jenuh (K_s) *mortar* ASP dengan komposisi semen : pasir : arang sekam padi masing-masing 1:3:3 (P_1) dan 1:3:4 (P_2) sebesar 0.00741 dan 0.01628 cm/jam;
2. *Mortar* ASP mampu meloloskan larutan pupuk dimana P_2 memiliki nilai koefisien difusi lebih besar dibandingkan dengan *mortar* ASP P_1 , nilai rata-rata koefisien difusi *mortar* ASP P_2 pada konsentrasi 3, 6, dan 9 mS/cm masing-masing sebesar 0.4467, 0.3739, dan 0.1732 cm²/hari, sedangkan nilai rata-rata koefisien difusi *mortar* ASP P_1 pada konsentrasi 3, 6, dan 9 mS/cm masing-masing sebesar 0.1707, 0.1583, dan 0.1298 cm²/hari.
3. Hasil analisis ragam menggunakan taraf 5% terdapat interaksi antara faktor komposisi *mortar* ASP dan konsentrasi larutan pupuk, perlakuan P_2K_1 dan P_2K_2 (kombinasi perlakuan *mortar* ASP dengan komposisi arang sekam padi : pasir : semen 1:3:4 (P_2) dengan konsentrasi pupuk 3 mS/cm (K_1) dan 6 mS/cm (K_2) adalah yang terbaik pada penelitian ini.

4. Sebaran pupuk pada media air menunjukkan bahwa pada bidang vertikal meningkat seiring kedalaman dari permukaan dan menurun apabila jauh dari pusat *mortar* ASP.
5. Aplikasi fertigasi pada tanaman pak choi menunjukkan bahwa tanaman dapat tumbuh meskipun kurang maksimal akibat perubahan EC yang masih mencapai 412-421 $\mu\text{S}/\text{cm}$ pada hari ke-21.

5.2. Saran

Saran penelitian ini sebagai berikut:

1. Apabila *mortar* ASP dimanfaatkan untuk budidaya tanaman dengan sistem hidroponik diperlukan mortar yang lebih porus lagi dan perlu diperbesar ukuran luas penampang sehingga EC setimbang sesuai dengan kebutuhan tanaman;
2. Perlu adanya penelitian lanjutan mengenai kontrol otomatis suhu untuk mengetahui seberapa besar pengaruh suhu terhadap laju difusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Abu-Zreig, M.M. and M.F. Atoum. 2004. Hydraulic Characteristics and Seepage Modelling of Clay Pitchers Produced in Jordan. *Canadian Biosystem Engeenering*. Vol. 46:1-15.
- Ashrafi, S., A.D. Gupta., M. S. Babel, N. Izumi and R. Loof. 2009. Simulation of Infiltration from Porous Clay Pipe in Subsurface Irrigation. *Hydrological Sciences Journal*. Vol. 47(2): 253-268.
- Bhatt M.J., A.D. Patel., P. M. Bhatti., and A. N. Pandey. 2008. Effect of soil salinity on growth, water status and nutrient accumulation in seedlings of zizipHus mauritiana (Rhamnaceae). *Journal of Fruit and Ornamental Plant Research*. Vol. 16: 383-401.
- Budi, G.S. 2011. *Pengujian Tanah di Laboratorium : Penjelasan dan Panduan*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 154 halaman.
- de Oliveira. A.B., N.L.M. Alencar., and E. G. Filho. 2013. Comparison Between the Water and Salt Stresss Effects on Plant Growth and Development In *Responses of Organisms to Water Stress*. Editor: Sener Akinci. Intech. Rijeka Croatia. Chapter 4: 67-94.
- Heriwibowo, K. dan N.S. Budiana. 2014. *Hidroponik Sayuran untuk Hobi dan Bisnis*. Penebar Swadaya. Jakarta Timur. 132 halaman.
- Hermantoro. B. I. Setiawan., S. Hardjoamidjojo., dan M.H. Bintoro. 2003. Efektifitas Sistem Fertigasi Kendi pada Tanaman Ladu Perdu (*Piper nigrum* Linn). *Buletin Keteknikan Pertanian Institut Pertanian Bogor*. Vol. 17(1): 1-7.
- Hillel, D. 1971. *Soil and Water Physical Principles and Processes*. Academic Press. New York. San Francisco. London. 288 halaman.
- Kalsim, D.K. 2010. *Teknik Draenase Bawah Permukaan untuk Pengembangan Lahan Pertanian*. Graha Ilmu. Yogyakarta. 166 halaman.
- Landis T.D., J. R. Pinto., and A. S. Davis. 2010. *Fertigation - Injecting soluble fertilizers into the irrigation system: Part 2*. Forest Nursery Note.

- Lauchli, A. and S.R. Grattan. 2007. Plant Growth and Development Under Salinity Stress. *In Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crop*. Editors: M.A. Jenks., P.M. Hasegawa., and S.M. Jain. Springer Netherlands. 1-32.
- Musfati, A. 2009. *Modifikasi Sistem Hidroponik Kultur Air (Water Culture) pada Tanaman Pak choi (Brassica chinensis L)*. Skripsi Teknik Pertanian. Universitas Lampung. Bandar Lampung.
- Naik, B.S., R.K. Panda., S.C. Nayak., and S.D. Sharma. 2008. Hydraulics and salinity profile of pitcher irrigation in saline water condition. *Agricultural Water Management*. Vol. 95:1129–1134.
- Naik, B.S., R.K. Panda., S.C. Nayak., S.D. Sharma., and AP. Sahu. 2013. Impact of Pitcher Material And Salinity of Water Used on Flow Rate, Wetting Front Advance, Soil Moisture And Salt Distribution In Soil In Pitcher Irrigation: A Laboratory Study. *Irrig. and Drain*. Vol. 62: 687–694.
- Oyetola, E.B., and M. Abdullahi. 2006. The Use of Rice Husk Ash in Low–Cost Sandcrete Block Production. *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*. 58-70.
- Perwitasari, B., M. Tripatmasari., dan C.Wasonowati. 2012. Pengaruh Media Tanam dan Nutrisi terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Pak choi (*Brassica Juncea L*) dengan Sistem Hidroponik. *Agrovigor*. Vol.5(1): 14-25.
- Rosyidah, E., dan Worosoedarmo, R. 2013. Pengaruh Sifat Fisik Tanah pada Konduktivitas Hidrolik Jenuh di 5 Penggunaan Lahan (Studi Kasus di Kelurahan Sumbersari Malang). *Agritech*. Vol. 33(3): 340-345.
- Rubatzky, V.E., dan M. Yamaguchi. 1998. *Sayuran Dunia: prinsip, produksi dan gizi*, jilid 2. ITB. Bandung. 320 halaman
- Salih, J.E.M., A. H. Adom., and A.Y Md Shaakaf. 2012. Solar Powered Automated Fertigation Control System for Cucumis Melo L. Cultivation in Green House. *Procedia APCBEE*. Vol. 4: 9–87.
- Siyal, A.A., M. Th. van Genuchten., and T. H. Skaggs. 2009. Performance of Pitcher Irrigation System. *Soil Science*. Vol. 174(6): 312-320.
- Suwito, M., A. Tusi., dan A. Haryanto. 2016. *Pengaruh Penambahan Arang Sekam Padi Terhadap Sifat Konduktivitas Hidrolik Pipa Mortar*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*. Vol.5(1): 43-48
- USDA. 2016. *Plant and Database*. [Plants.usda.gov/core/profile?symbol=BRCH4](https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=BRCH4). (24 April 2016)

Wangsadipura, M. 2005. Analisis Hidrolik Aliran Bawah Permukaan melalui Media Gambut (Studi Kasus Lahan Perkebunan Kelapa di Guntung Riau). *Jurnal Teknik Sipil Institut Teknologi Bandung*. Vol. 12(1): 21-34.