

JRPB, Vol. 6, No. 1, Maret 2018, Hal. 39 - 52
DOI: <https://doi.org/10.29303/jrpb.v6i1.70>
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

ANALISIS KOMPOSISI SERBUK GERGAJI TERHADAP KONDUKTIVITAS HIDROLIK PIPA MORTARI IRIGASI TETES BAWAH PERMUKAAN TANAH

*Analysis of Sawdust Ratio on Hydraulic Conductivity
in Subsurface Mortari Pipe of Drip Irrigation*

L. Muhammad Ariandi S¹, Sirajuddin H. Abdullah^{1,*}, Guyup Mahardian Dwi Putra¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri,
Universitas Mataram

Email^{*}: sirajuddin hajiabdullah@gmail.com

Diterima: Desember 2017

Disetujui: Maret 2018

ABSTRACT

Mortari emitter of sawdust (SG) can solve problem faced by farmers in dryland on irrigating their land. Aim of this research was to design an emitter by determining its mixture ratio and thickness. This research used experimental method by conducting experiment in laboratory. Observed parameters to determine water discharge were flow velocity, hydraulic conductivity value, coefficient of variation, and coefficient of uniformity. Ratio of cement, sand and sawdust to made sawdust (SG) mortari emitter were varied, i.e. P1 (1:2:2); P2 (2:1:3); P3 (2:4:4); P4 (2:2:2); and P5 (2:3:1). Result showed that the hydraulic conductivity could be classified as very low since $K < 0.0036$ cm/hour. The water discharge, flow velocity, and coefficient of uniformity were decreased in every reservoir elevation. Sawdust (SG) mortar emitter of P5 had the highest seeping ability and P3 had the lowest. The coefficient of uniformity (CU) value was 78,74%-80.64%. The use of Sawdust (SG) mortar emitter can be adjusted to the water discharge required by any plant type. The P3 emitter is suitable for plant which requires low water discharge and the P5 emitter is suitable for the high one.

Keywords: *water discharge, SG mortar emitter, hydraulic conductivity*

ABSTRAK

Emiter mortari serbuk gergaji (SG) dapat memecahkan masalah yang dihadapi para petani lahan kering dalam mengairi lahannya. Tujuan dilakukan penelitian ini adalah dapat merancang sebuah emiter dengan menentukan komposisi dan ketebalan emiter. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan percobaan laboratorium. Parameter untuk menjawab tujuan penelitian adalah mencari nilai debit aliran yang dapat dihasilkan emiter mortari SG dengan menentukan kecepatan aliran, nilai konduktivitas hidrolis, koefisien variasi dan koefisien keseragaman. Emiter mortari SG dalam pengujian dilakukan dengan mencampurkan semen, pasir, dan serbuk gergaji masing-

masing dengan 5 perbandingan, yaitu P1 (1:2:2); P2 (2:1:3); P3 (2:4:4); P4 (2:2:2); dan P5 (2:3:1). Nilai konduktivitas hidrolis didapatkan hasil pengkelasan dalam kategori sangat rendah karena memiliki nilai $K < 0,0036$ cm/jam. Debit aliran, kecepatan aliran, dan koefisien keseragaman mengalami penurunan setiap ketinggian reservoir. Dimana emiter mortari SG dengan perlakuan P5 memiliki kemampuan merembeskan air dengan nilai tertinggi dan P3 pada emiter dengan kemampuan terendah. Nilai koefisien keseragaman pada emiter mortari SG terdapat keragaman dengan nilai CU sebesar 78,74%-80,64 %. Penggunaan emiter mortari SG dapat disesuaikan dengan jumlah kebutuhan debit air yang dibutuhkan oleh jenis tanaman. Emiter P3 baik digunakan pada tanaman dengan debit air rendah dan emiter P5 baik untuk tanaman dengan debit air tinggi.

Kata kunci: debit aliran, emiter mortari SG, konduktivitas hidrolis

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Peningkatan produksi di bidang pertanian salah satunya dapat ditempuh dengan memperluas pemanfaatan lahan pertanian. lahan produktif yang tersedia bagi produksi pertanian cenderung menurun disebabkan terjadi alih fungsi lahan dari sebelumnya dipakai untuk produksi pertanian berubah menjadi pemukiman dan alih fungsi yang lainnya. Di samping lahan produktif sebenarnya di Indonesia masih sangat tersedia luas lahan kering yang memiliki potensi yang sangat besar yang dapat dimanfaatkan untuk produksi pertanian.

Potensi yang sangat besar tersebut belum dapat dimanfaatkan secara optimal karena masih memiliki masalah yang selalu dihadapi para petani adalah dalam masalah sistem pengairan lahan kering. Lahan kering merupakan tanah yang tidak dapat digunakan secara terus menerus dikarenakan ketersediaan air yang sedikit bahkan tidak ada. Air yang tersedia pada lahan kering hanya mengandalkan turunnya hujan untuk kebutuhan dalam mengairi tanaman pada lahan tersebut.

Salah satu pemanfaatan teknologi dibidang pertanian yang senantiasa dikembangkan adalah penerapan sistem irigasi hemat air untuk mengatasi keterbatasan ketersediaan air dilahan pertanian

Sistem irigasi berfungsi meningkatkan hasil produksi tanaman

pertanian di Indonesia. Pencapaian target produksi mengharuskan terciptanya teknologi irigasi tepat guna dengan mengefisiensikan pemanfaatan dan penggunaan sumber daya alam, khususnya pertanian lahan kering. Sehingga diperlukan kemajuan teknologi dalam bidang irigasi dengan mudah dan biaya murah.

Terbatasnya pasokan air yang terjadi pada musim kemarau berkepanjangan dan letak lahan yang jauh dari sumber air menyebabkan tingkat evapotranspirasi tanaman meningkat, sehingga kebutuhan air tanaman akan meningkat. Solusi sebagai pemecahan masalah ini adalah dengan menyalurkan air dari suatu sumber air terdekat dengan mengaplikasikan sistem irigasi tetes melalui pipa dengan sebuah emiter yang digunakan untuk meneteskan air tepat di zona perakaran, sehingga dapat langsung disalurkan untuk kebutuhan tanaman. Penggunaan alat penyiraman sistem irigasi tetes (*drip irrigation*), bertujuan agar air dapat dimanfaatkan secara efektif dan efisien (Amuddin & Sumarsono, 2015).

Saluran irigasi yang biasa digunakan para petani adalah saluran terbuka dengan mengalirkan air di atas permukaan tanah. Petani biasa memanfaatkan saluran irigasi permukaan pada saat musim hujan dengan debit air yang tinggi menuju tanaman. Namun pada musim kemarau, petani menggunakan sumber air dari sungai, bendung dan danau dengan bantuan motor bakar pompa berbahan bakar bensin. Irigasi bawah permukaan tanah (*Subsurface*

Irrigation) merupakan teknik irigasi yang memiliki tingkat efisiensi penggunaan air lebih tinggi dari pada irigasi permukaan tanah (*Surface Irrigation*) (Suwito, dkk., 2016).

Penggunaan irigasi tetes bawah permukaan tanah di kalangan petani masih sangat minim, dikarenakan komponen yang rumit dan biaya instalasi yang mahal. Namun, hal ini dapat diatasi dengan mengganti komponen sistem irigasi yang mahal menggunakan komponen yang sederhana tetapi dengan fungsi yang sama, sehingga petani tetap bisa menggunakan sistem irigasi tetes dan mendapat keuntungan yang lebih besar.

Alat yang digunakan untuk mengalirkan air dari sumber air menuju perakaran tanaman disebut emiter. Emiter memanfaatkan gaya gravitasi untuk mengalirkan air dengan bantuan selang atau pipa PVC. Serbuk gergaji merupakan salah satu bahan yang dapat dijadikan campuran dari komposisi penyusun bahan untuk pembuatan emiter mortari selain pasir, air dan semen. Serbuk gergaji bersifat porous artinya serbuk gergaji tersebut dapat meloloskan air dengan baik.

Kebutuhan pasokan air terhadap tanaman pada lahan kering menjadi permasalahan terbesar akan kapan tersedianya dan bagaimana cara pemenuhan kebutuhan air tersebut. Sehingga berdasarkan hal tersebut dilakukan penelitian tentang analisis komposisi serbuk gergaji terhadap konduktivitas hidrolis pipa mortari irigasi tetes bawah permukaan tanah. Diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat sebagai bentuk inovasi dalam irigasi yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan tanaman terhadap sumber air terdekat pada lahan kering.

Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah

1. Merancang dan membuat emiter irigasi tetes sederhana berbentuk mortari dari serbuk gergaji.

2. Mengukur kinerja emiter irigasi tetes yang meliputi debit air keluar persatuan jam dari dinding mortari, nilai konduktivitas hidrolis jenuh, kecepatan aliran, koefisien variasi dan koefisien keseragaman emiter.
3. Menentukan komposisi campuran bahan pembuatan emiter mortari sebagai komponen sistem irigasi yang baik.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik dan Konservasi Lingkungan Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram pada bulan Desember 2016 sampai Januari 2017.

Alat dan Bahan Penelitian

Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gelas sebagai media pembanding campuran, bak sebagai wadah air, gergaji besi, gergaji kayu, gerinda, selang plastik, pisau, plastik, tang jepit, penggaris, meteran, ember, gelas ukur, ayakan, paku, palu, kayu, isolasi dan pipa paralon. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji, semen, pasir dan air.

Metode Penelitian

Dalam penelitian ini dibuat cetakan dari pipa paralon yang dibentuk menyerupai silinder mortari dengan bahan baku pembuatan dari serbuk gergaji. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental dengan percobaan laboratorium.

Prosedur Penelitian

Proses Pembuatan Cetakan Dengan Pipa Paralon Berbentuk Mortari

1. Proses persiapan meliputi pembuatan desain cetakan, perakitan dan pengecekan bahan baku yang akan digunakan.

2. Proses pencetakan emiter yang dilakukan dengan mencampurkan perbandingan antara semen, pasir, serbuk gergaji dan air yang dicampur dan dicetak dengan cetakan mortari yang telah didesain dengan pipa paralon ukuran panjang 20 cm, diameter dalam 8,5 cm, diameter luar 10 cm. Sehingga didapatkan tebal emiter mortari SG adalah 1,5 cm. Dimana dimensi motari ini mengacu dari disain penelitian sebelumnya yang dilakukan Suwito dkk., (2016).
3. Menentukan komposisi campuran emiter yang didesain berbentuk mortari dengan 5 perlakuan perbandingan campuran
 - a. Rasio bahan baku (Semen, Pasir dan Serbuk Gergaji)
 - i. Emiter (P1) perbandingan (1:2:2),
 - ii. Emiter (P2) perbandingan (2:1:3),
 - iii. Emiter (P3) perbandingan (2:4:4),
 - iv. Emiter (P4) perbandingan (2:2:2)
 - v. Emiter (P5) perbandingan (2:3:1).
4. Jumlah air yang diberikan sebagai campuran disesuaikan dengan adonan yang telah tercampur sampai berbentuk bubur.
5. Tabung emiter mortari SG dikeluarkan dari cetakan dan dikeringkan di bawah sinar matahari sampai mengeras.
6. Silinder emiter diberi penutup dengan campuran semen dan pasir.
7. Emiter diberikan plat berlubang silinder dari aluminium sebagai jalan masuk air dari reservoir yang disesuaikan dengan lubang selang plastik.
8. Emiter kembali dilapisi semen cair dipenutup emiter. Tujuannya agar rembesan tidak melewati penutup emiter, tunggu hingga kering di bawah sinar matahari.

Mendesain Rancangan Sumber Air (Reservoir)

1. Ember tampungan yang selanjutnya disebut sebagai reservoir diisi sebanyak 22 liter yang diukur dengan gelas ukur. Air kemudian disalurkan melalui 5 lubang selang penghubung dengan panjang yang disesuaikan dengan

ketinggian lubang reservoir menuju lubang emiter.

2. Perakitan membuat talangan dari kayu yang dirangkai membentuk sebuah kerangka untuk menempatkan ember sebagai tempat tampungan air dengan ketinggian sumber air 100 cm, 75 cm, 50 cm, dan 25 cm. Dengan tujuan melihat pengaruh ketinggian reservoir terhadap daya rembesan air, terkait dengan debit aliran yang dihasilkan agar dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman pada saat diaplikasikan di lapangan

Teknik Pengambilan Data

1. Sebelum digunakan, emiter direndam untuk menjaga kelembaban dan mengisi pori-pori ruang poros sehingga membuat emiter berada dalam kondisi jenuh.
2. Pengambilan data dilakukan sebanyak 4 kali 15 menit (60 menit), setiap ulangan sebanyak 6 kali ulangan untuk menghitung parameter dari 5 campuran emiter mortari SG pada ketinggian 100 cm, 75 cm, 50 cm dan 25 cm.
3. Air yang merembes dari dinding emiter sebelumnya ditampung pada sebuah ember dan diukur volume hasil rembesan dengan gelas ukur.
4. Data hasil pengamatan dianalisis dengan membuat tabel dan dihitung dengan program aplikasi *Microsoft Excel*.

Parameter Penelitian

Nilai Konduktivitas Hidrolik Jenuh dan Debit Aliran

Mortari SG (Serbuk Gergaji) akan merembeskan air dikarenakan perbedaan *head* dari reservoir. Air yang merembes dari dinding mortari SG akan ke luar dan tertampung pada gelas ukur. Pengukuran debit rembesan air dilakukan ketika laju rembesan air pada mortari stabil. Rembesan air yang keluar dari dinding mortari SG akan diukur volume aliran sehingga diperoleh debit.

Uji nilai konduktivitas hidrolik dapat diklasifikasikan berdasarkan permeabilitas tanah dari berbagai macam kelas-kelas konduktivitas hidrolik tanah. Tabel 1

menunjukkan nilai konduktivitas hidrolis dalam tanah jenuh.

Tabel 1. Kelas-kelas Konduktivitas Tanah

Kelas	Konduktivitas Jenis	
	Mikrometer per menit ($\mu\text{m}/\text{menit}$)	cm/jam
Sangat tinggi	>100	>36
Tinggi	10-100	3,6-36
Sedang	1-10	0,36-3,6
Agak rendah	0,1-1	0,036-0,36
Rendah	0,01-0,1	0,0036-0,036
Sangat rendah	<0,01	<0,0036

Sumber: Muhidin (1998)

Hasil yang diperoleh berupa debit rembesan (Q) yang keluar dari dinding mortari dan dihitung dengan persamaan Hukum Darcy:

$$K_s = \frac{Q \times l}{A \times \Delta H} \dots\dots\dots 1)$$

Keterangan:

- Ks = Nilai Konduktivitas Hidrolis Jenuh (cm/jam)
- Q = Debit Rembesan(l/jam) atau (cm³/jam)
- L = Tebal Dinding Mortari SG (cm)
- A = Luas Selubung Luar Mortari SG (cm²)
- ΔH = Beda tinggi tabung mariot dengan selang penghubung ke mortari (cm)

Emiter yang digunakan pada rancangan sistem irigasi tetes ini adalah emiter buatan berbentuk silinder yang terbuat dari mortar serbuk gergaji. Debit penetes dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V}{t} \dots\dots\dots 2)$$

Keterangan :

- Q = Debit Penetes (l/jam)
- V = Volume (liter)
- t = Waktu (jam)

Menghitung Kecepatan Aliran

Menganalisa kecepatan aliran fluida yang merembes dengan rumus :

$$v = \frac{Q}{A} \dots\dots\dots 3)$$

Keterangan :

- v = Kecepatan Aliran (m/s)
- Q = Debit (m³/s)
- A = Luas Penampang (m²)

Menghitung Koefisien Variasi dan Koefisien Keseragaman Distribusi Penyebaran Air Emiter

Koefisien variasi penetes diperoleh untuk mengetahui variasi debit penetes yang keluar dari masing-masing penetes. Salah satu cara untuk mengetahui nilai koefisien variasi penetes dapat diperoleh dengan persamaan Keller dan Karmeli :

$$Cv = \sqrt{\frac{(q_1^2 + q_2^2 + q_3^2 + \dots + q_n^2) - \left(\frac{n(q_{mean}^2)}{n-1}\right)}{q_{mean}^2}} \dots\dots\dots 4)$$

Dimana :

- Cv = Koefisien Variasi Penetes
- q = Debit Penetes (l/jam)
- q_{mean} = Debit Penetes Rata-Rata (l/jam)
- 1,2,3,...,n = Jumlah Sampel Penetes yang Dihitung

Nilai keseragaman distribusi penyebaran air biasanya dinyatakan dengan koefisien keseragaman (CU). Biasanya koefisien keseragaman (CU) dinyatakan dengan persamaan berikut:

$$CU = 100 \times \left(1 - \frac{\sum (xi - xr)}{n \times xr}\right) \dots\dots\dots 5)$$

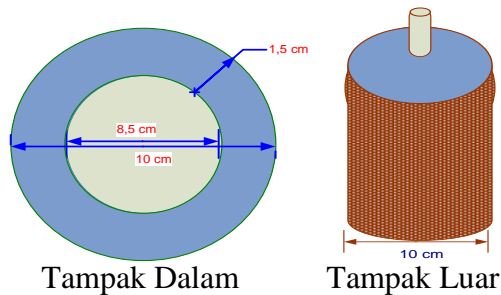
Dimana :

- CU = Koefisien keseragaman irigasi (%)
- n = Jumlah penetes
- xi = Rata-rata debit penetes (l/jam)
- xr = Rata-rata debit penetes per lateral (l/jam)

Analisis Data

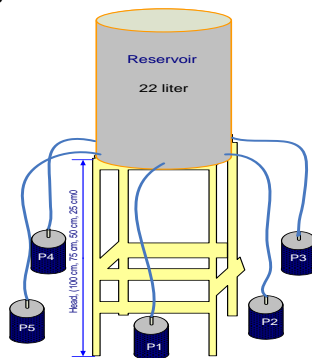
Untuk menganalisa data yang digunakan adalah analisis menggunakan persamaan matematis dengan menggunakan program *Microsoft Excell*.

Desain Emiter Mortari



Gambar 1. Desain Emiter Mortari SG

Rancangan Penelitian



Gambar 2. Desain Sketsa Skema Rencana Penelitian

Perlakuan Perbandingan Emiter
(Semen : Pasir : Serbuk Gergaji)

P1 : (1:2:2)

P2 : (2:1:3)

P3 : (2:4:4)

P4 : (2:2:2)

P5 : (2:3:1)

Head

(Perlakuan Ketinggian Reservoir)

1. 100 cm
2. 75 cm
3. 50 cm
4. 25 cm

Activate Windows

HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain Penelitian

Sistem irigasi mortari SG merupakan jenis penemuan dari sistem irigasi tetes dengan memodifikasi emiter sebagai alat pengeluaran air. Sistem kerja irigasi mortari SG adalah dengan merembeskan air melalui dinding emiter yang melewati luas permukaan silinder yang memiliki porositas, sehingga air melewati rongga-rongga kosong dalam silinder emiter SG.

Nama emiter mortari SG berasal dari kata “mortar” dan diberikan imbuhan -i. Kata Mortar berarti suatu campuran plastis yang terdiri dari semen, agregat halus dan

air dengan perbandingan 1:3:0,5 berdasarkan massanya. Emiter Mortari memiliki bahan dasar pembuatan dari campuran semen pasir dan bahan agregat yaitu serbuk gergaji (SG). Emiter ini dibuat secara manual, dengan keahlian tangan (*handicraft*), dengan mencampurkan dan mencetak bahan-bahan sederhana yang telah disiapkan.

Bahan yang digunakan sebagai media porus untuk meloloskan air adalah serbuk gergaji. Serbuk gergaji yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk gergaji yang dihasilkan dari pohon kayu mahoni yang telah kering yang didapatkan di salah satu pengerajin kayu di Kota Praya Kabupaten Lombok Tengah. Serbuk gergaji yang dihasilkan berasal dari serutan kayu dengan mesin yang dihaluskan untuk menjadi produk kerajinan kayu dan bangunan seperti kusen pintu, daun pintu, kusen jendela, daun jendela, lemari, meja dan kursi. Serbuk gergaji selama ini belum banyak digunakan sebagai bahan pembuat emiter untuk irigasi. Bahan emiter yang biasa digunakan adalah arang sekam padi, kendi, keramik, cincin yang dibalut dengan kain, dan sebagainya. Serbuk gergaji biasanya dimanfaatkan sebagai bahan campuran batu bata, campuran membuat meja dan pengganti kayu bakar atau dibakar begitu saja. Dalam penelitian ini selain harganya murah, serbuk gergaji mudah didapatkan.



Gambar 3. Campuran Semen, Pasir dan Serbuk Gergaji

Gambar 3 menunjukkan bahan dasar membuat mortari SG. Campuran perbandingan bahan dasar emiter mortari SG seperti semen, pasir dan air digunakan menggunakan takaran yang sama dengan nilai perbandingan yang beragam. Sehingga komposisi campuran hanya menggunakan

asumsi pengukuran yang tepat agar emiter dapat berbentuk menyerupai silinder. Desain silinder digunakan untuk dapat menyeragamkan debit aliran yang merembes melewati dinding emiter.

Bahan dasar emiter mortari kemudian dicampur hingga tercampur rata dan adonan menyerupai bubur. Adonan mortar kemudian dimasukkan kedalam pipa paralon yang telah disiapkan dan ditunggu hingga campuran mortar mengeras. Setelah bahan campuran mengeras, mortar kemudian dikeluarkan dari cetakan paralon dan dikeringkan dengan sinar matahari sampai benar-benar kering (Gambar 4).



Gambar 4. Pengeringan Emiter Mortari SG Dibawah Sinar Matahari

Mortar yang telah kering kemudian disebut dengan emiter mortari. Emiter mortari kemudian diberikan penutup emiter dari campuran semen dan pasir. Penutup emiter berfungsi sebagai jalan keluar masuknya air dari reservoir, sehingga penutup dibuatkan jalan masuk air yang terbuat dari plat aluminium dengan dimensi yang disesuaikan dengan dimensi selang dari reservoir yang presisi. Dimensi plat penutup dan selang penghantar yang presisi dapat menghantarkan aliran air untuk dirembeskan dengan baik dan menghilangkan tingkat kebocoran yang dapat mengurangi debit air. Gambar 5 memperlihatkan uji coba rembesan dinding emiter mortari SG setelah dikeringkan.



Gambar 5. Uji Coba Rembesan Dinding Emiter Mortari SG Setelah Dikeringkan

Penutup yang telah diberikan plat aluminium dilapisi kembali dengan polesan semen, tujuannya untuk menahan air keluar dari lubang penutup emiter. Polesan semen hanya diberikan pada bagian penutup saja karena yang diharapkan rembesan air hanya melewati selubung dinding emiter dan emiter bagian bawah saja, sehingga bagian penutup dibuat agar tidak dapat merembeskan air.

Gambar 6 merupakan emiter kering dari hasil percobaan pembuatan emiter mortari SG yang telah siap digunakan. Emiter atau penetes adalah alat yang digunakan sebagai media penyalur dari tampungan air untuk dialirkan di sekitar media tanaman (perakaran). Emiter memanfaatkan perbedaan ketinggian dan tekanan dari reservoir untuk menyalurkan air dengan bantuan selang plastik.



Gambar 6. Emiter Mortari SG dengan 5 Perlakuan Campuran

Emiter mortari SG memiliki diameter 10 cm. Emiter memiliki diameter dalam 8,5 cm, luas selubung emiter 78,5 cm² dan ketebalan 1,5 cm. Ketebalan dinding selubung emiter berpengaruh terhadap

kemampuan meloloskan air. Semakin tebal dinding selubung emiter, semakin lama rembesan air melewati dinding selubung emiter.

Tabel 2. Dimensi Campuran Emitter

Emiter	Bahan campuran Emiter			Luas Penampang (cm ²)	Panjang (cm)	Volume emitter (cm ³)
	Semen	Pasir	Serbuk Gergaji			
P1	1	2	2	603,12	10,6	601,19
P2	2	1	3	723,84	11,7	663,58
P3	2	4	4	1021,52	16,6	941,49
P4	2	2	2	800,97	13,7	777,01
P5	2	3	1	873,31	15	850,74

Berdasarkan Tabel 2, campuran bahan baku emiter mortari SG dengan perlakuan P1 memiliki ukuran paling kecil, yaitu: 10,6 cm, luas penampang 603,12 cm², dan kemampuan tampungan volume air sebesar 601,19 cm³. Sedangkan emiter mortari perlakuan P3 memiliki ukuran yang paling panjang 16,6 cm, luas penampang 1021,52 cm², sehingga dihasilkan volume tampungan air paling tinggi sebesar 941,49 cm³. Perbedaan ukuran panjang emiter disebabkan oleh campuran dari komposisi perbandingan bahan dasar semen, pasir, dan serbuk gergaji. Perbedaan ukuran campuran perbandingan menyebabkan perbedaan tingkat kepadatan (porositas) dan kemampuan meloloskan air dari dinding emiter. Perbedaan campuran menghasilkan keberagaman pada dimensi panjang emiter, luas selubung permukaan dan volume emiter. Semakin besar angka perbandingan, maka emiter yang dihasilkan semakin panjang, memiliki luas selubung permukaan semakin lebar, dan memiliki kemampuan menyimpan air lebih besar.

ini disebabkan karena pada tanah berpasir diameter pori relatif lebih besar dari tanah berliat (Setyowati, 2006). Partikel-partikel pasir ukurannya jauh lebih besar dan memiliki luas permukaan yang kecil (dengan berat yang sama) dibandingkan dengan partikel-partikel debu dan liat. Semakin tinggi persentase pasir dalam tanah, semakin banyak ruang pori-pori di antara partikel-partikel tanah dan semakin dapat memperlancar gerakan udara dan air. Makin kecil ukuran partikel, makin kecil pula ukuran pori, dan makin rendah koefisien permeabilitasnya (Pratita, 2007).

Pasir merupakan faktor dominan yang berpengaruh terhadap kemampuan dinding selubung emiter meloloskan air. Semakin banyak campuran pasir, semakin rapat ruang pori dalam dinding selubung emiter, sehingga kemampuan meloloskan air semakin kecil.

Tanah adalah suatu bahan yang tidak masif dan merupakan bahan yang *poreus*, sehingga air dapat mengalir atau merembes ke dalam tanah melalui ruang kosong (pori-pori) yang terdapat di antara butiran-butiran tanah. Permeabilitas adalah sifat dari suatu bahan *poreus*, sehingga air dapat mengalir atau merembes melalui bahan ini. Mudah atau sukarnya air mengalir melalui pori-pori tanah tergantung dari besar atau kecilnya ukuran pori-pori tanah. Besar kecilnya pori-pori tanah akan dipengaruhi oleh ukuran butir-butir tanah dan kepadatan tanah (Surendro, 2014).

Tanah berpasir dan tanah berliat mempunyai sifat-sifat yang berhubungan dengan simpanan air, ketersediaan air, dan aliran lengas tanah yang sangat berbeda. Hal

Menurut Abdillah (2009), bobot mortar amat ditentukan oleh susunan dan kandungan zat-zat yang menyusun di dalamnya. Bobot mortar yang ringan menunjukkan bahwa di dalam mortar tersebut terdapat banyak rongga udara. Banyak tidaknya rongga udara di dalam mortar amat ditentukan oleh penangganan

proses pencetakan mortar dari adonan semen atau mortar segar.

Sistem Kerja Irigasi Emiter Mortari

Proses pengambilan data dilakukan setiap 15 menit atau 900 detik selama 4 x 15 menit atau 1 jam setiap 1 kali ulangan. Dilakukan 6 kali ulangan pada masing-masing ketinggian, yaitu pada ketinggian 100 cm, 75 cm, 50 cm dan 25 cm.



Gambar 7. Proses pengambilan data

Seperti yang terlihat pada Gambar 7, reservoir merupakan wadah tampungan air yang terbuat dari ember plastik yang diisi air sebanyak 22 liter. Reservoir diberi 5 lubang yang tersambung dengan selang plastik dengan panjang yang disesuaikan dengan ketinggian lubang tandon pada reservoir dengan plat yang disiapkan sebagai jalan masuk air pada emiter. Selang digunakan untuk menyalurkan air dari reservoir menuju 5 emiter yang telah diberi tampungan ember sebagai tampungan air yang akan merembes melalui pori-pori dinding emiter.

Uji Nilai Konduktivitas Hidrolik Emiter Mortari SG

Uji konduktivitas hidrolik jenuh (Gambar 8) digunakan untuk mengetahui kemampuan emiter mortari meloloskan air dari dinding emiter dengan memanfaatkan porositas dari emiter yang telah didesain dengan penambahan serbuk gergaji.



Gambar 8. Hasil tampungan rembesan air dari reservoir.

Nilai konduktivitas bahan emiter sangat penting diketahui untuk mengetahui kemampuan bahan porous tersebut merembeskan air ke tanah dalam pemenuhan kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman. Semakin besar nilai konduktivitas maka semakin cepat merembeskan atau meloloskan air karena memiliki pori atau rongga yang lebih besar (Reskiana, dkk., 2014). Oleh karena itu, dibutuhkan metode untuk memperkecil nilai konduktivitas hidrolik untuk disalurkan ke tanaman sehingga dapat memperlambat merembesnya air dan nilai konduktivitas tanah dapat semakin kecil dan kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman dapat terpenuhi.

Faktor yang berpengaruh terhadap nilai k dalam meloloskan air adalah elektrolit yang terdapat dalam tanah sebagai bahan baku pembuatan emiter. Menurut Notodarmojo (2005), kehadiran elektrolit akan mempersempit lapisan baur sebagai akibat kehadiran gaya tarik antar partikel akan lebih dominan bila dibandingkan dengan gaya tolaknya. Kondisi tersebut akan menyebabkan liat terflokulasi. Komponen ion akan berpengaruh terhadap nilai k tanah atau akuifer yang ditinjau mengandung mineral liat. Tergantung dari komposisi ionnya, nilai k dapat meningkat (semakin mudah meloloskan air) atau sebaliknya. Bila komposisi ion banyak mengandung Na^+ (yang akan diadsorpsi oleh liat) akan menyebabkan partikel liat terdispersi (*deflocculated*) atau tersuspensi sehingga menurunkan nilai k .

Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis data pada setiap emiter diperoleh nilai rata-rata emiter dengan parameter nilai konduktivitas hidrolik seperti yang disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Rata-rata Nilai Konduktivitas Hidrolik

Perlakuan	Head (cm)	NK (Nilai konduktivitas) (cm/jam)	NS (Nilai Standar)	Ket
P1	100	0,0002372	<0,0036	Sangat rendah
	75	0,0001383	<0,0036	Sangat rendah
	50	0,0000949	<0,0036	Sangat rendah
	25	0,0000466	<0,0036	Sangat rendah
P2	100	0,0000691	<0,0036	Sangat rendah
	75	0,0000665	<0,0036	Sangat rendah
	50	0,0000281	<0,0036	Sangat rendah
	25	0,0000168	<0,0036	Sangat rendah
P3	100	0,0000153	<0,0036	Sangat rendah
	75	0,0000143	<0,0036	Sangat rendah
	50	0,0000113	<0,0036	Sangat rendah
	25	0,0000068	<0,0036	Sangat rendah
P4	100	0,0001238	<0,0036	Sangat rendah
	75	0,0001057	<0,0036	Sangat rendah
	50	0,0000471	<0,0036	Sangat rendah
	25	0,0000284	<0,0036	Sangat rendah
P5	100	0,0001746	<0,0036	Sangat rendah
	75	0,0001082	<0,0036	Sangat rendah
	50	0,0000083	<0,0036	Sangat rendah
	25	0,0000405	<0,0036	Sangat rendah

Penelitian Suwito, dkk., (2016) menyatakan bahwa nilai konduktivitas mortar ASP dengan perlakuan P2 merupakan komposisi terbaik sebagai alat aplikasi irigasi bawah permukaan tanah. Tabel 3 merupakan rata-rata nilai konduktivitas dari hasil pengamatan yang dilakukan dengan metode irigasi mortari SG yang memiliki prinsip kerja yang sama dengan sistem irigasi ASP namun mengubah bahan komposisi dengan menggunakan serbuk gergaji dan campuran semen dan pasir yang berbeda,

Berdasarkan Tabel 4 didapatkan nilai konduktivitas hidrolik emiter mortari SG dengan perlakuan P1, P2, P3, P4 dan P5 pada setiap ketinggian yang beragam. Keragaman nilai konduktivitas hidrolik

berdasarkan pengelompokan yang dilakukan Muhidin (1998) termasuk dalam kategori sangat rendah karena memiliki nilai konduktivitas perbandingan $K_s < 0,0036$ cm/jam.

Berdasarkan penelitian Suwito, dkk., (2016) dapat ditarik kesimpulan bahwa nilai konduktivitas hidrolik mortari SG lebih rendah dari mortar ASP karena didapat nilai K_s pada mortar SG sebesar 0,0035 cm/jam pada emiter P1 dan 0,0157 cm/jam pada emiter P2.

Nilai konduktivitas hidrolik dari mortari SG dipengaruhi oleh campuran bahan agregat, yaitu pasir dan serbuk gergaji sebagai bahan baku pembuat emiter. Serbuk gergaji berpengaruh terhadap nilai konduktivitas (k). Serbuk gergaji memiliki sifat porous sehingga dapat mempertahankan air di dalam dinding emiter. Semakin besar perbandingan campuran serbuk gergaji, semakin kecil nilai konduktivitas yang dihasilkan.

Pasir berpengaruh terhadap tingkat porositas dari emiter mortari SG yang dibuat karena pasir bersifat mengisi ruang kosong (pori-pori) yang terdapat dalam butiran tanah yang disebabkan ukuran pasir yang kecil. Hal ini sejalan dengan pendapat dari Notodarmojo (2005) yang menyatakan bahwa besarnya nilai k dari suatu jenis tanah tergantung antara lain oleh ukuran diameter butir dan pori. Bila diameter butirnya sangat halus, walaupun porositasnya tinggi, seperti misalnya tanah liat, maka harga k akan rendah. Menurut Cempakasari (2009), pasir atau disebut juga bahan agregat halus merupakan material granular yang digunakan bersama dengan semen untuk membuat beton atau mortar dengan ukuran butiran maksimum 4,75 mm. Bobot jenis pasir merupakan sifat fisik yang digunakan untuk menghitung volume pasir yang terdapat dalam mortar. Selain itu, bobot jenis juga digunakan untuk menghitung kekosongan (pori) dalam mortar.

Kecepatan Aliran dan Debit Aliran

Debit merupakan volume aliran air yang mengalir tiap satuan waktu dalam

satuan liter perjam berdasarkan volume yang dihasilkan dalam tampungan yang merembes melalui dinding emiter. Pengukuran debit berlangsung selama 1 jam dengan pengambilan data setiap 15 menit. Pengukuran debit dilakukan 6 kali ulangan pada 4 taraf ketinggian dengan 5 macam emiter mortari SG. Sehingga didapatkan sebanyak 480 data mentah. Hasil pengukuran dianalisa dengan menggunakan persamaan (5), sehingga diperoleh nilai rata-rata debit emiter persatuan jam.

Tabel 4. Rerata Debit Aliran Emitter

Emiter	Rerata debit aliran (q) (l/jam)			
	100 cm	75 cm	50 cm	25 cm
P1	9,54	5,26	3,82	1,87
P2	3,33	3,21	1,36	0,81
P3	1,04	0,97	0,77	0,46
P4	6,61	5,65	2,52	1,52
P5	10,16	6,30	5,14	2,36

Tabel 4 memperlihatkan debit aliran air berdasarkan 4 macam ketinggian, yaitu 100 cm, 75 cm, 50 cm, dan 25 cm yang diukur dari lubang reservoir menuju lantai dasar tempat tandon tampungan air berada sampai lubang reservoir. Terdapat nilai debit aliran yang beragam, yaitu terjadinya penurunan nilai debit persatuan jam pada emiter mortari SG perlakuan P1, P2, P3, P4 dan P5. Hal ini terjadi karena diberikan perlakuan ketinggian pada reservoir yang berpengaruh pada daya kapilaritas air melalui pori-pori dinding emiter. Kemampuan rembesan air pada dinding emiter dan kecepatan aliran dari reservoir menuju emiter melalui selang. Emiter mortari SG dengan perlakuan P5 menghasilkan debit aliran tertinggi pada ketinggian 100 cm dan pada ketinggian 75 cm, 50 cm dan 25 cm. Sedangkan emiter mortari perlakuan P3 menghasilkan aliran debit paling rendah.

Menurut Andriani (2007), penetes harus menghasilkan aliran yang relatif kecil dan debit yang mendekati konstan. Agar tidak terjadi penyumbatan pada penetes maka penampang aliran perlu diperbesar.

Aliran dapat diatur secara manual atau dipasang secara otomatis sesuai dengan debit yang diinginkan dalam waktu tertentu dan air dapat diberikan apabila kelembaban tanah menurun. Berdasarkan Tabel 4, debit aliran air persatuan jam paling tinggi adalah emiter mortari SG P5 sebesar 10,16 l/jam. Sedangkan debit aliran yang paling kecil didapatkan pada emiter mortari SG perlakuan P3 dengan nilai 0,47 l/jam. Hal ini disebabkan oleh perbedaan campuran semen dan pasir pada komposisi pembentuk emiter mortari P3 dan P5.

Kecepatan aliran air adalah perbandingan nilai debit air dengan luas penampang aliran air. Selama 15 menit atau waktu pengumpulan data, kecepatan debit aliran air membentuk tetesan dari reservoir melewati selang plastik yang diakibatkan oleh kondisi keadaan *vaccum* di dalam rongga emiter dan tekanan dari volume reservoir yang menekan air keseluruh emiter. Kecepatan aliran air pada 4 macam ketinggian tandon reservoir disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Kecepatan Aliran

Emiter	Rerata kecepatan aliran (v) (m/s)			
	100 cm	75 cm	50 cm	25 cm
P1	0,042	0,024	0,017	0,008
P2	0,015	0,014	0,006	0,004
P3	0,005	0,004	0,003	0,002
P4	0,029	0,025	0,011	0,007
P5	0,044	0,028	0,022	0,010

Berdasarkan Tabel 5 dapat disimpulkan terjadi penurunan kecepatan aliran disebabkan penurunan ketinggian. Semakin tinggi tempat tandon reservoir, semakin tinggi kecepatan aliran yang keluar dari reservoir menuju emiter.

Emiter dengan kecepatan aliran tertinggi terdapat pada emiter mortari SG perlakuan P1 pada ketinggian 100 cm. Sedangkan pada ketinggian 75cm, 50 cm, dan 25 cm, kecepatan tertinggi terjadi pada emiter mortari perlakuan P5. Sedangkan

nilai rata-rata kecepatan terendah pada emiter mortari SG perlakuan P3 untuk semua taraf ketinggian. Hal ini selaras dengan nilai debit aliran air yang semakin menurun dengan menurunnya tinggi tandon tampungan reservoir.

Keberagaman nilai debit aliran dan kecepatan aliran air disesuaikan dengan kebutuhan jumlah air tanaman. Jika tanaman membutuhkan jumlah air dengan jumlah intensitas besar, gunakan emiter mortari SG dengan perlakuan P1 dan P5. Sedangkan jika intensitas jumlah air rendah, maka digunakan emiter mortari SG dengan perlakuan P2, P3 dan P4. Hal ini disebabkan campuran dari pembuatan komposisi emiter dan ketinggian dari reservoir. Perbedaan nilai disebabkan oleh keadaan dan kemampuan dinding emiter porositas meloloskan air serta total ruang pori. Menurut Wirosodarmo (2010), porositas tanah, total ruang pori-pori atau rasio volume pori-pori adalah persentase volume dari total muatan yang tidak ditempati oleh benda padat, karenanya pori-pori tanah terisi oleh air dan udara.

Koefisien Variasi dan Koefisien Keseragaman Distribusi Penyebaran Air Emiter

Koefisien keseragaman (Cv) adalah nilai keseragaman dari setiap emiter berdasarkan nilai rata-rata debit yang ke luar dari reservoir yang melewati selang plastik menuju emiter. Pengukuran keseragaman dilakukan dengan mengukur debit aliran untuk setiap perlakuan ketinggian menggunakan 6 kali ulangan.

Keseragaman nilai debit emiter disajikan hasil pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Koefisien Variasi (Cv)

Emiter	Nilai koefisien variasi (Cv)			
	100 cm	75 cm	50 cm	25 cm
P1	1,79	1,04	0,72	0,35
P2	0,64	0,61	0,26	0,15
P3	0,20	0,18	0,15	0,09
P4	1,24	1,09	0,47	0,29
P5	1,92	1,18	0,97	0,44

Perbedaan nilai Koefisien Variasi disebabkan oleh jumlah debit yang masuk

ke silinder emiter dari reservoir sehingga dihasilkan debit pengukuran melalui perbandingan hasil debit yang dirata-ratakan kemudian dikuadratkan dari nilai debit awal. Tabel 6 Menggambarkan nilai koefisien variasi (Cv) penetes emiter dari nilai terendah pada ketinggian 25 cm emiter mortari SG perlakuan P3 dan koefisien tertinggi didapatkan pada ketinggian 100 cm. Perbedaan nilai tersebut diakibatkan oleh pengaruh debit yang dihasilkan dari perlakuan ketinggian reservoir.

Berdasarkan Tabel 6, koefisien variasi emiter mortari SG dengan perlakuan P1, P2, P3, P4 dan P5 mengalami penurunan untuk setiap ketinggian yang disebabkan perbedaan ketinggian. Nilai koefisien dipengaruhi oleh jumlah debit aliran air yang merembes pada dinding emiter. Semakin tinggi tandon tampungan reservoir, maka semakin tinggi debit air yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat dari volume air yang tertampung pada ember.

Pada umumnya, keseragaman debit penetes sangat mempengaruhi variasi debit penetes yang dihasilkan. Emiter mortari SG tidak dapat memberikan hasil yang signifikan pada koefisien variasi karena emiter mortari SG merupakan buatan tangan yang belum memiliki standar baku dalam pembuatan emiter, sehingga debit aliran tidak dapat terkontrol sehingga menyebabkan kurang seragamnya debit rembesan, sehingga mempengaruhi variasi penetes.

Sistem irigasi tetes secara ideal akan memberikan volume air yang sama untuk semua penetes, sehingga masing-masing tanaman akan menerima jumlah air yang sama pula selama periode irigasi. Secara prakteknya di lapangan hal ini tidak mungkin dicapai karena debit penetes akan dipengaruhi oleh variasi tekanan air dan karakteristik penetes. Variasi debit penetes yang disebabkan oleh variasi tekanan air dalam sistem irigasi tetes dapat dikendalikan oleh rancangan hidrolika yang disebut dengan variasi hidrolika. Variasi debit penetes yang disebabkan oleh ketidak-konsistenan dalam proses pembuatan di

pabrik disebut dengan variasi pabrik. Karakteristik penetes yang dapat menggambarkan dan menjelaskan variasi debit penetes dengan jenis yang sama secara teoritis adalah eksponen emisi, koefisien variasi penetes, dan volume basah tanah.

Perbedaan koefisien keseragaman disebabkan karena faktor dari lubang pori atau porus dinding emiter yang mampu meloloskan air dari reservoir. Artinya, komposisi berpengaruh terhadap nilai koefisien variasi penetes emiter mortari SG P3 (2:4:4) kecil. Hal ini disebabkan adanya penambahan pasir sehingga emiter yang dihasilkan semakin padat dengan tambahan perbandingan semen dan serbuk gergaji.

Tabel 7. Koefisien Keragaman (CU)

Emiter	Koefisien keseragaman (CU)			
	100 cm	75 cm	50 cm	25 cm
P1	79,55	80,50	79,34	79,00
P2	78,95	79,54	79,05	79,32
P3	79,17	79,45	79,00	79,14
P4	78,88	80,64	79,21	79,34
P5	80,07	80,40	78,74	79,20

Koefisien keseragaman (CU) merupakan parameter yang memperlihatkan cara kerja sebuah emiter pada sistem irigasi tetes dalam keseragaman menyebarkan air. Nilai koefisien keseragaman (*Coefficient of Uniformity*/CU) ditentukan dengan cara menganalisis data debit dalam tiap emiter, sehingga diperoleh data keseragaman emiter seperti yang diperlihatkan pada Tabel 7.

Dari Tabel 7 terlihat bahwa untuk setiap taraf ketinggian reservoir, didapatkan nilai *Coefficient Of Uniformity* (CU) yang beragam. Nilai koefisien keseragaman berkisar antara 78,74% - 80,64%. Tiap emiter menghasilkan debit yang berbeda-beda, karena banyaknya faktor yang mempengaruhi keluarnya air dari penetes. Salah satunya adalah sumbatan yang ada pada emiter sehingga pengoperasian irigasi tetes tidak menghasilkan keseragaman penetes 100%.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengamatan dan pembahasan disertai dengan referensi dari sumber pustaka yang berkaitan dengan ruang lingkup penelitian, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Emiter mortari SG sebagai pengganti emiter sistem irigasi tetes terbuat dari mortari serbuk gergaji berbentuk silinder dengan bahan dasar semen pasir dan serbuk gergaji dengan nilai perbandingan yang beragam, memiliki diameter luar 10 cm dan diameter dalam 8,5 cm, luas selubung emiter 78,5 cm² dengan ketebalan 1,5 cm, dibuat dengan membentuk adonan menyerupai bubur yang dikeringkan dengan sinar matahari dalam cetakan pipa paralon hingga mengeras
2. merupakan emiter alternatif atau pengganti emiter mortar ASP, kendi, infus, cincin dan sebagainya yang dapat digunakan untuk metode irigasi tetes selain emiter pabrikan.
3. Semakin tinggi perlakuan ketinggian tampungan reservoir, nilai rata-rata yang dihasilkan emiter mortari SG untuk debit aliran, kecepatan aliran, dan koefisien variasi semakin tinggi. Emiter perlakuan P5 memiliki nilai debit, kecepatan, dan koefisien variasi tertinggi dan emiter perlakuan P3 dengan nilai terendah pada setiap perlakuan ketinggian. Nilai konduktivitas hidrolis dalam pengklasifikasian termasuk dalam kategori sangat rendah $K_s < 0,0036$ cm/jam
4. Nilai koefisien keseragaman emiter yang beragam dengan nilai CU rata-rata tiap emiter berkisar antara 78,74-80,64%
5. Berdasarkan kebutuhan jumlah air tanaman, penggunaan emiter mortari SG perlakuan P3 baik digunakan untuk tanaman yang membutuhkan jumlah air yang rendah. Sedangkan perlakuan P5 baik digunakan untuk tanaman yang

membutuhkan intensitas jumlah debit air yang tinggi.

Saran

Sebagai tindak lanjut penelitian perlu dilakukan penelitian aplikasi di lapangan untuk mengetahui pengaruh pertumbuhan tanaman dan perlu dilakukan penelitian variasi campuran, ketinggian, dan ketebalan pada emiter mortari SG perlakuan P3. Dapat juga dilakukan penelitian pengujian perbedaan ketebalan dan bentuk dari emiter selain bentuk tabung silinder.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, R.H. 2009. Penggunaan Berbagai Jenis Lateks Sebagai Bahan Tambahan Pada Mortar Untuk Aplikasi Beton Jalan Raya. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Andriani, L. 2007. Kajian Kinerja Jaringan Irigasi Tetes Untuk Budidaya Bunga Kastuba (*Euphorbia pulcherrima*) Dengan Sistem Hidroponik Di PT.Saung Mirwan Bogor. Skripsi. Institut Pertanian Bogor. Indonesia.
- Amuddin & Sumarsono, J. 2015. Rancang bangun alat penyiraman tanaman dengan pompa
- Rancang Bangun Alat Penyiraman Tanaman Dengan Pompa Otomatis Sistem Irigasi Tetes pada Lahan Kering. Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem Vol. 3 No. 1 Maret 2015: 95-101.
- Cempakasari, E.P. 2009. Pemanfaatan Sulfonat Hidroksimetil Fenol Lignin Asam Sulfat Sebagai Pemlastis Pada Mortar. Skripsi. Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Muhidin. 1998. Analisis Proses Pembuatan Kendi Untuk Irigasi Dan Kelayakan Usahanya Dikecamatan Masbagik, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Notodarmojo, S. 2005. Pencemaran Tanah dan Air Tanah. Penerbit ITB. Bandung.
- Pratita, E. 2007. Debit tembesan pada model tanggul dengan menggunakan ukuran partikel tanah maksimum 1 mm. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Reskiana, Budi I.S., Satyanto K. S., Popi R.D.M. 2014. Uji Kinerja Emiter Cincin. Jurnal Irigasi 19(1):63-74.
- Setyowati, Y. 2006. Analisis Debit Rembesan Pada Model Tanggul Yang Dilengkapi Saluran Drainase Kaki Untuk Jenis Tanah Latosol Darmaga Bogor. Skripsi. Fakultas Teknologi Pertanian. Institut Pertanian Bogor. Bogor.
- Surendro, B. 2014. Mekanika Tanah. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Suwito, M., Ahmad, T., Agus, H. 2016. Pengaruh Penambahan Arang Sekam Padi Terhadap Sifat Konduktivitas Hidrolik Pipa Mortar. Jurnal Teknik Pertanian Lampung 5 (1):43-48.
- Wirosoedarmo, R. 2010. Drainase Pertanian. UB Press. Malang