

RANCANGAN IRIGASI *SPRINKLER PORTABLE* TANAMAN PAKCHOY

DESIGN OF PORTABLE *SPRINKLER* FOR PAKCHOY PLANT

Oleh:

Ahmad Tusi¹⁾, Budianto Lanya¹⁾

¹⁾Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Lampung
Jl. Sumantri Brodjonegoro No. 1, Bandar Lampung, Provinsi Lampung

Komunikasi Penulis, Telp: +62-8128890680; email: ahmad.tusi@fp.unila.ac.id

Naskah ini diterima pada 29 April 2016; revisi pada 9 Juni 2016;
disetujui untuk dipublikasikan pada 2 November 2016

ABSTRACT

Sprinkler irrigation is one of the most efficient and effective effective irrigation. However, on-site application of sprinkler irrigation systems has encountered many obstacles, including the initial investment and operational costs. This study aimed to design a sprinkler irrigation system which saves the initial investment cost and simple in operation and maintenance, especially in the area where agricultural land were separated and small in area (0.10 to 0.30 ha) or without irrigation facilities. The research method in this study were the determination of the length and diameter of the pipe based on analysis of hydraulic pipe in lateral, manifolds and main pipe; sprinkler discharge calculation with volumetric method; and determination of irrigation uniformity with Christiansen method. The portable sprinkler irrigation system has specification: sprinkler nozzle head Impact Plactic type with nozzle size 4 mm, total height riser stick 1.3 meters in diameter ¾" elastic lateral pipe with a diameter of 2" and length 50 meters, pipe sub-main (manifold) and the main pipes of 2". The pump has a total head of 55 meters with a driving power of 5.5 HP, and suction hose 2". This sprinkler irrigation system can operate at operating pressure 1 to 4 bar. The discharge of sprinkler at a pressure of 1 bar is 0.12 l/s. Irrigation uniformity value resulted at a pressure of 1 bar was at 80%. To obtain the value of irrigation uniformity of more than 85%, it is advisable to use a minimum operating pressure of 2 bar.

Keywords: *design sprinkler, hydraulic, sprinkler irrigation, irrigation uniformity, technology*

ABSTRAK

Salah satu teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi dan efektivitas penggunaan air irigasi adalah irigasi *sprinkler*. Namun dalam penerapan sistem irigasi *sprinkler* di lapangan masih dijumpai banyak kendala, diantaranya adalah memerlukan biaya investasi awal dan operasional yang tinggi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang irigasi *sprinkler portable* yang mudah dipindahkan (*portable*) dan penggunaannya pada budidaya tanaman pakchoy, khususnya pada luas lahan pertanian yang kecil dan terpisah-pisah (0,10 – 0,30 ha) dan terpisah-pisah tanpa adanya sarana irigasi. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah penentuan panjang dan diameter pipa berdasarkan analisa hidrolika perpipaan, baik pipa lateral, *manifold* dan utama; perhitungan debit *sprinkler* menggunakan metode volumetrik; dan penentuan keseragaman irigasi menggunakan metode Christiansen. Sistem irigasi *sprinkler portable* yang telah dikembangkan memiliki spesifikasi: *nozzle head sprinkler* jenis *Sprinkler Impact Plactic* dengan ukuran *nozzle* 4 mm, tinggi total *stick riser* 1,3 meter dengan diameter ¾", pipa lateral elastis dengan diameter 2" dan panjang 50 meter, pipa sub-main (*manifold*) dan pipa utama sebesar 2". Adapun pompa yang digunakan memiliki total *head* 55 meter dengan tenaga penggerak 5,5 HP, serta selang hisap 2". Sistem irigasi *sprinkler* ini dapat beroperasi pada tekanan operasi 1 sampai dengan 4 bar untuk spasi *sprinkler* dan lateral 10 m x 10 m. Debit *sprinkler* pada tekanan 1 bar adalah 0,12 l/s. Nilai keseragaman irigasi yang dihasilkan pada tekanan 1 bar sebesar 80%. Untuk memperoleh nilai keseragaman irigasi lebih dari 85%, maka disarankan penggunaan tekanan operasi minimal 2 bar.

Kata kunci: *desain sprinkler, hidrolika, irigasi sprinkler, keseragaman irigasi, teknologi*

I. PENDAHULUAN

Luas areal lahan pertanian di Indonesia menurut BPS tahun 2014 adalah sekitar 47,58 juta ha dengan kondisi kepemilikan lahan relatif kecil (Pusat Data dan Sistem Informasi, 2014). Dari total luasan tersebut, sebagian besar merupakan lahan kering dengan tingkat produktivitas yang rendah. Lahan kering di Indonesia luasnya sekitar 11,87 juta ha (Pusat Data dan Sistem Informasi, 2014). Adapun untuk di Provinsi Lampung memiliki potensi lahan pertanian yang cukup luas dan sebagian besar merupakan lahan kering. Berdasarkan data Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian (2014) disebutkan bahwa luas lahan kering berupa tegalan/kebun pada tahun 2013 seluas 743.725 ha dan yang belum diusahakan seluas 52.461 ha.

Salah satu kendala yang dihadapi pada daerah lahan kering adalah terbatasnya pasokan air irigasi, dan sebagian besar mengandalkan dari air hujan. Guna mendukung program ketahanan pangan yang tengah gencar dilakukan oleh pemerintah beberapa tahun terakhir ini, tentu masalah ini harus dapat segera ditangani. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi ketersediaan air irigasi yang terbatas di lahan kering adalah menggunakan teknologi irigasi yang hemat air. Salah satu teknologi irigasi hemat air adalah sistem irigasi *sprinkler* atau curah.

Teknologi irigasi curah dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air irigasi dan keseragaman irigasi yang diberikan lebih dari 80% (Kurniati *et al.*, 2007), selain itu kehilangan lahan akibat pemasangan sarana irigasi dapat dikurangi. Sistem irigasi *sprinkler* dapat digunakan dalam berbagai kondisi permukaan lahan, baik datar dan bergelombang. Jadi sistem ini sangat cocok diterapkan dalam pertanian lahan kering. Namun sistem ini memerlukan biaya investasi yang tidak sedikit untuk keperluan biaya sumber air, pompa dan tenaga penggerak, sistem perpipaan, dan nozel (*sprayer*). Hal ini tentu akan memberatkan bagi para petani kecil dengan luas lahan yang relatif kecil dan terpisah-pisah.

Selain itu, kendala yang dihadapi oleh petani kecil dalam meningkatkan produktivitas tanaman dan pendapatan mereka adalah lemahnya akses untuk mendapatkan teknologi, khususnya teknologi irigasi. Oleh karena itu perlu adanya pengembangan teknologi irigasi *sprinkler* yang mudah digunakan dan dikelola oleh para petani. Penelitian ini bertujuan untuk merancang irigasi *sprinkler portable* yang mudah dipindahkan (*portable*) dan penggunaannya pada budidaya tanaman pakchoy, khususnya pada luas lahan pertanian yang kecil dan terpisah-pisah.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Irigasi Curah

Sistem irigasi *sprinkler* merupakan salah satu alternatif metode pemberian air dengan efisiensi pemberian air lebih tinggi dibandingkan dengan irigasi permukaan (*surface irrigation*). Salah satu kekurangan dari sistem ini adalah mahalnya biaya investasi awal. Sistem irigasi curah ini menggunakan energi tekan untuk membentuk dan mendistribusikan air ke lahan. Tekanan merupakan salah satu faktor penting yang menentukan kinerja *sprinkler*.

Komponen utama dari sistem ini antara lain kepala *sprinkler* (*nozzle headsprinkler*), pipa lateral, pipa sub-utama (*sub main*) dan pipa utama (*mainline*). *Sprinkler* digunakan untuk menyemprotkan air dalam bentuk rintik seperti air hujan ke lahan. Jaringan pipa lateral, sub-utama, dan utama digunakan untuk mengalirkan air dari sumber ke *sprinkler*.

Kinerja (*performance*) alat pencurah (James, 1988) dinyatakan dalam lima parameter, yaitu debit *sprinkler* (*sprinkler discharge*), jarak pancaran (*distance of throw*), pola sebaran air (*distribution pattern*), harga pemberian air (*application rate*), dan ukuran rintik (*droplet size*). Kinerja irigasi *sprinkler* yang optimal merupakan hasil dari perancangan dan pengelolaan sistem irigasi yang baik. Oleh karena itu kriteria teknis perancangan perlu digunakan untuk mengoptimalkan pengelolaan irigasi *sprinkler* berdasarkan faktor-faktor perancangan dan parameter iklim (Sheikhmaeili *et al.*, 2016).

2.2. Prosedur Desain Irigasi Curah

Dalam penentuan tata letak jaringan irigasi curah, terdapat beberapa kriteria yang perlu diperhatikan, antara lain: a) lateral dipasang sejajar kontur lahan dan dipasang tegak lurus arah angin utama; b) pemasangan lateral yang naik sejajar dengan lereng dihindari, pemasangan lateral yang menurun lereng akan memberikan keuntungan tertentu; c) saluran utama atau *manifold* dipasang naik turun atau sejajar dengan lereng; d) apabila memungkinkan saluran utama dipasang di suatu tempat, sehingga saluran lateral dapat dipasang di sekelilingnya; e) apabila memungkinkan lokasi sumber air berada ditengah-tengah areal rancangan.

Tata letak lateral yang ideal bergantung pada jumlah *sprinkler* yang beroperasi serta jumlah posisi lateral, topografi dan kondisi angin.

2.2.1. Analisis Hidrolika

Analisis hidrolika jaringan perpipaan merupakan salah satu tahapan prosedur desain irigasi *sprinkler* yang penting. Hal ini diperlukan untuk menganalisis kehilangan tekanan akibat friksi atau *friction loss* pada bahan plastik pipa lateral dan pipa utama sistem irigasi curah.

(i) *Sprinkler*

Kehilangan tinggi tekanan pada *sprinkler* menurut Finkel (1982) dalam Kurniati *et al.* (2007), yaitu:

$$H_{fE} = 6380 \cdot K_d \cdot \left(\frac{Q_E^2}{D^4}\right) \dots\dots\dots (1)$$

Dimana, H_{fE} : *head loss* pada *sprinkler* (m); K_d : data empiris pada pipa; Q_E : debit aliran pada *sprinkler* (m^3/s); dan D : diameter *sprinkler* (mm).

(ii) Lateral

Debit pada rancangan lateral menurut James (1988) secara matematis adalah:

$$Q_L = Q_E \cdot N \dots\dots\dots (2)$$

Menurut Schwab *et al.*, (1981), kehilangan tinggi pada lateral adalah sebagai berikut:

$$H_{fL} = \frac{K \cdot L \cdot Q_L^{1,852}}{C^{1,852} \cdot D^{4,87}} \cdot F \dots\dots\dots (3)$$

$$F = 0,63837 \cdot N^{-1,8916} + 0,35929 \dots\dots\dots (4)$$

Dimana, Q_L : debit aliran pada lateral (m^3/s); N : jumlah *sprinkler*; H_{fL} : *head loss* pada lateral (m); K : koefisien belokan, sambungan, alat pengatur pipa; L : panjang pipa (m); C : koefisien kekasaran Hazen-Williams; dan F : faktor koreksi untuk debit pipa.

(iii) Pipa utama

Perhitungan debit pada rancangan pipa utama secara matematis dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$Q_m = Q_L \cdot N \dots\dots\dots (5)$$

Sedangkan untuk perhitungan H_f untuk pipa utama sama dengan pada pipa lateral, hanya nilai N disini adalah jumlah lateral pada pipa utama dan Q_m adalah debit aliran pada pipa utama.

(iv) Kerugian belokan dan sambungan pipa

Menurut Sularso & Tahara (2000), menuliskan bahwa untuk kerugian akibat belokan dan sambungan pipa secara matematis dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$h_f = f \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \dots\dots\dots (6)$$

$$f = 0,131 + 1,847 \left(\frac{D}{2 \cdot R}\right)^{3,5} \left(\frac{\theta}{90}\right)^{0,5} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana, h_f : *head loss* pada belokan (m); f : koefisien kerugian pada belokan; D : diameter dalam pipa (m); R : jari-jari hidrolik lengkung belokan (m); θ : sudut belokan (derajat); dan g : percepatan gravitasi ($9,8 \text{ m/det}^2$).

2.2.2. Koefisien Keseragaman

Pemilihan jarak nozel didasarkan pada diameter curahan air, tekanan nozel, dan kapasitas debit nozel. Jarak nozel maksimum berdasarkan curahan air di bawah kondisi kecepatan angin dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Jarak Nozel Berdasarkan Curahan Air di Bawah Kecepatan Angin

Kecepatan Angin (km/jam)	Jarak Nozel dalam persen Diameter Curahan Air	
	Pada Lateral	Pada <i>Manifold</i>
0	50	65
6	45	60
7-12	40	50
13	30	30

Sumber: Phocaides (2007)

Phocaides (2007) dari konsultan FAO merekomendasikan bahwa untuk menghasilkan nilai keseragaman irigasi (*Coefficient of Uniformity*) yang baik yaitu dengan melakukan *overlapping*. Maka nilai Se (jarak *sprinkler*) tidak boleh lebih dari 65% dari diameter curahan *sprinkler* dalam kondisi kecepatan angin rendah hingga rata-rata (*moderate*) dengan metode *square* atau *rectangular*.

Derajat keseragaman merupakan salah satu faktor petunjuk efisiensi irigasi terutama dalam distribusi penyebaran air. Derajat keseragaman distribusi penyebaran air biasanya dinyatakan dalam koefisien keseragaman (CU). *The Christiansen Uniformity Coefficient* adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur derajat keseragaman irigasi *sprinkler* dengan formula sebagai berikut (Christiansen, 1941; ASAE, 2001):

$$CU = 100 \cdot \left(1 - \frac{\sum |V_i - \bar{V}|}{\sum V_i}\right) \dots\dots\dots (8)$$

Dimana, CU : koefisien keseragaman (%); V_i : pengukuran air dari area *overlapping* (ml); \bar{V} : rata-rata dari pengukuran pada area *overlapping* (mL); n : banyaknya *sprinkler* yang *overlapping* pada suatu area; i : 1,2,3,.....,n; $\sum |V_i - \bar{V}|$: jumlah deviasi absolut dari rata-rata pengukuran (ml).

Dalam perancangan sistem irigasi curah, nilai CU yang dianggap baik adalah lebih besar dari 85%. Rancangan irigasi mikro (seperti tetes dan *sprinkler*) dengan nilai keseragaman yang tinggi dapat mendukung upaya untuk melakukan penghematan air (konservasi air) dalam upaya pelestarian lingkungan (Barragan *et al.*, 2010).

2.2.3. Spesifikasi Pompa

Jenis pompa yang biasa digunakan pada suatu sistem irigasi curah adalah sentrifugal dan turbin. Keller dan Bliesner (1990) menyatakan bahwa pompa sentrifugal digunakan apabila debit dan tekanan yang dibutuhkan relatif kecil, sedangkan pompa turbin digunakan apabila debit dan tekanan yang dibutuhkan relatif besar.

Karakteristik suatu pompa biasanya ditunjukkan oleh suatu kurva karakteristik pompa yang menyatakan hubungan antara kemampuan menaikkan air (H), besarnya debit (Q), efisiensi (E), jumlah putaran per menit (N), dan besarnya tenaga (P). Besarnya tenaga yang diperlukan untuk pemompaan air tergantung pada debit pemompaan, *total head*, dan efisiensi pemompaan yang secara matematis ditunjukkan pada persamaan berikut :

$$BHP = \frac{Q \cdot TDH}{C \cdot e_p} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana, BHP: *break horse power* /tenaga penggerak (kW); Q: debit pemompaan (l/s); TDH: *total dynamic head* (m); C: faktor konversi sebesar 102; E_p: efisiensi pemompaan (%).

Besarnya total dinamik head (H) dihitung dengan persamaan :

$$TDH = SH + E + H_{f1} + H_m + H_{f2} + H_v + H_a + H_s \dots\dots\dots (10)$$

Dimana, SH: beda elevasi sumber air dengan pompa (m); E: beda elevasi pompa dengan lahan tertinggi (m); H_{f1}: kehilangan head akibat gesekan sepanjang pipa penyaluran dan distribusi (m); H_m: kehilangan head pada sambungan-sambungan dan katup (m); H_{f2}: kehilangan head pada sub unit (m), besarnya 20 % dari Pa; H_v: *Velocity head* (m), besarnya 0,3 m; H_a: tekanan operasi emitter (m); H_s: head untuk faktor keamanan (m), besarnya 20% dari total kehilangan *head*.

III. METODOLOGI

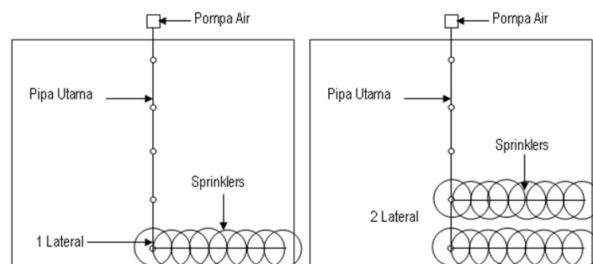
3.1. Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Sumberdaya Lahan dan Air dan Laboratorium Lapang Terpadu, Fakultas Pertanian Universitas Lampung untuk perancangan irigasi *sprinkler portable*. Adapun untuk pengujian sistem irigasi *sprinkler* hasil inovasi dilakukan di daerah pertanian di Desa

Marga Agung, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan, Provinsi Lampung.

3.2. Deskripsi Rancangan Irigasi *Sprinkler Portable*

Desain irigasi *sprinkler* pada rancangan ini adalah membuat rangkaian sistem irigasi *sprinkler* yang mudah dipindahkan dan dioperasikan oleh petani dengan biaya pembuatan yang relatif lebih ekonomis.



Gambar 1 Skema Rancangan Irigasi *Sprinkler*

Rancangan skema sistem irigasi *sprinkler* yang dibuat seperti pada Gambar 1. Sistem ini memiliki 3 bagian utama, yaitu pompa dan tenaga penggerak, sistem jaringan perpipaan, dan nozel *sprinkler*. *Pertama*, pompa yang digunakan jenis sentrifugal *single stage* dan mesin penggerak jenis *single silinder* dengan *power output* 5,5 HP. Pompa dan mesin penggerak dirancang untuk bisa *portable* (mudah dipindah-pindah berdasarkan kondisi sumber air irigasi. Sumber air irigasi dapat bersumber dari sumur pantek, sungai, embung, atau sumber lainnya. Konstruksi kolam dapat dibuat dari beton atau pasangan bata, atau menggunakan kolam terpal untuk menghemat biaya. Penentuan kebutuhan volume kolam penampung dianalisis berdasarkan luasan areal yang ditanami. Perhitungan analisis kebutuhan volume kolam penampung menggunakan persamaan berikut:

$$VP = \frac{T \cdot Q_s \cdot N}{1000} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana, VP: volume kolam penampung (m³); T: lama irigasi (jam); Q_s: debit *sprinkler* (l/jam); N: jumlah *sprinkler* (buah).

Kedua, sistem jaringan perpipaan terdiri dari pipa utama, *manifold* menggunakan pipa jenis PVC dan lateral menggunakan selang pemadam kebakaran dengan kekuatan maksimal 4 bar. Adapun penentuan diameter pipa tersebut ditentukan berdasarkan hasil analisis hidrolika perpipaan seperti pada Persamaan 1 sampai dengan 7. *Ketiga*, jenis *sprinkler* yang digunakan adalah *Impact Sprinkler Plastic Model Naan 427B GAG* dengan spesifikasi: tekanan operasional 2 – 4 bar

dengan ukuran *nozzle* 4 mm; debit *sprinkler* 0,85 – 1,2 m³/jam; dan diameter basah 24 – 26 m.

Semua bagian tersebut (baik pompa, sistem perpipaan, *sprinkler*) dapat dibongkar pasang (*portable*). Hal ini dapat mencegah terjadi pencurian oleh oknum yang tidak bertanggung jawab di lahan pertanian (yang memang lokasinya jauh dari pemukiman penduduk). Selain itu juga, desain irigasi *sprinkler* ini dapat digunakan secara fleksibel oleh petani sesuai dengan kondisi lahan, jenis tanaman, dan sumber air yang ada.

3.3. Evaluasi Kinerja Irigasi *Sprinkler Portable*

Salah satu parameter untuk mengevaluasi kinerja *sprinkler portable* hasil inovasi yaitu melalui pengukuran nilai keseragaman irigasi curahan dengan menggunakan metode Christiansen seperti pada persamaan 8. Meriem *et al.* (1981) mengemukakan bahwa identifikasi efisiensi dari jaringan irigasi perlu pengamatan keseragaman irigasi dan efisiensi pemberian air irigasi dari irigasi *sprinkler*. Selain itu, faktor tinggi dan bentuk kanopi tanaman perlu dipertimbangkan dalam analisis keseragaman irigasi sebagai faktor yang mempengaruhi kinerja irigasi *sprinkler* (Sanchez *et al.*, 2010).

Pengujian air dilakukan dengan menggunakan data volume tampungan. Selain itu, juga diukur debit keluaran dari *sprinkler* menggunakan metode volumetrik. Pengujian keseragaman irigasi dilakukan dengan dua perlakuan yaitu *single nozzle head method* dan *block square method* pada beberapa kondisi tekanan operasi yang berbeda, yaitu 1, 2, 3, dan 4 bar. *Single nozzle head method* artinya pengujian keseragaman irigasi dari satu *sprinkler* yang bekerja, sedangkan *block square method* adalah jumlah *sprinkler* yang bekerja bersamaan sebanyak 4 buah *nozzle head sprinkler* dan membentuk formasi persegi. Adapun tata letak (*layout*) jaringan irigasi *sprinkler portable* ini memiliki jarak antar *nozzle head sprinkler* sebesar 10 meter dan jarak antar lateral sebesar 10 meter.

Untuk pengujian di lapangan dilakukan dengan menggunakan *single lateral pipe* dengan jarak antar *nozzle head sprinkler* sebesar 10 m dengan luas areal penanaman sebesar 500 m².

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Rancangan Irigasi *Sprinkler Portable*

Rancangan irigasi *sprinkler portable* dalam penelitian ini menggunakan *nozzle head sprinkler* jenis *impact sprinkler plastic* & *stick riser* dari pipa PVC, pipa lateral menggunakan jenis selang elastis, pipa utama dan sub-main menggunakan

pipa PVC, dan pipa hisap pompa menggunakan jenis pipa cacing plastik. Berikut ini detail bagian-bagian dalam sistem irigasi ini.

4.1.1. *Nozzle Head Sprinkler*

Rancangan ini menggunakan *nozzle head sprinkler* jenis *Impact Sprinkler Plastic* dengan model Naan 427B GAG sebanyak 10 buah dengan spesifikasi: tekanan operasional 2 – 4 bar dengan ukuran *nozzle* 4 mm; debit *sprinkler* 0,85 – 1,2 m³/jam dan diameter basah 24 – 26 m.

Nozzle head sprinkler terpasang pada sebuah tongkat dengan dudukan sambungan tongkat ke kepala *sprinkler* dengan *adapter* dengan diameter ½" female yang terbuat dari PVC.



Gambar 2 *Nozzle Head Sprinkler*

4.1.2. *Stick Riser* (Tongkat *Nozzle head Sprinkler*)

Stick riser (tongkat *sprinkler*) merupakan salah satu bagian dalam sistem irigasi *sprinkler* yang berfungsi untuk meletakkan, meninggikan dan menghubungkan antara *nozzle head sprinkler* dengan pipa lateral. *Nozzle head sprinkler* jenis *Impact Sprinkler Plastic* yang digunakan memiliki diameter lubang pemasangan sebesar ½" male. Maka *stick riser* yang digunakan adalah dengan menggunakan pipa PVC dengan diameter ¾" dan tinggi 1 meter.

Stick riser yang digunakan diberikan tambahan untuk beberapa adapter untuk memudahkan membuka dan memasang kembali *nozzle head sprinkler* yang digunakan di lapangan dan juga pada dudukan *stick riser*. Adapter yang digunakan adalah *shock drat* dalam (*female*) untuk *nozzle head* dengan perubahan ½" menjadi ¾" dan *shock*

drat luar (male) untuk *stick riser* ke dudukan *sprinkler* dengan diameter $\frac{3}{4}$ ". Berikut ini adalah rancangan *stick riser* dan assesoris pelengkapanya.



Gambar 3 *Stick Riser Nozzle Head Sprinkler*

4.1.3. Dudukan *Stick Riser Sprinkler*

Dudukan *sprinkler* yang dirancang menggunakan material dari besi dengan maksud mempermudah dalam proses pemindahan (*mobilitas*) jaringan pipa lateral selama operasional sistem irigasi *sprinkler portable* di lahan.

Bagian-bagian dudukan *sprinkler* adalah rangka besi yang terbuat dari besi siku (30x30x3 mm) untuk bagian bawah, batang besi plat untuk pengunci pipa lateral ke dudukan bagian bawah, dan beberapa assesoris tambahan berupa sambungan *Tee* dan *shock drat* perubah. Untuk lebih detilnya dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Dudukan *Sprinkler*

4.1.4. Pipa Lateral

Pipa lateral yang digunakan dalam rancangan ini adalah jenis pipa elastis untuk pemadam kebakaran dengan diameter 2". Penggunaan ukuran diameter pipa sebesar 2" berdasarkan hasil analisis hidrolika pipa lateral yang dapat dilihat pada sub-bab Analisis Hidrolika Jaringan Perpipaan.

Berikut ini adalah jenis pipa lateral yang digunakan dalam rancangan dan beberapa assesories tambahan untuk menyambungkan dari dudukan *sprinkler* ke pipa lateral.



Pipa/Selang Lateral 2"



Sambungan Pipa

Gambar 5 Pipa Lateral dan Penyambung

4.1.5. Pipa *Manifold (Sub-Main)* dan Utama

Pipa *manifold* atau *sub-main* dan pipa utama yang digunakan minimal sebesar 2". Hal ini berdasarkan hasil analisis hidrolika perpipaan yang dapat dilihat pada sub-bab hidrolika jaringan perpipaan.

Jenis pipa yang dapat digunakan adalah jenis pipa PVC, besi dan yang lainnya. Penggunaan jenis pipa seperti besi dan PVC diutamakan untuk sistem irigasi dengan pipa utama dan sub-mainnya, serta sumber airnya tetap, sedang pipa lateral dan *sprinkler* dapat berpindah. Jika menginginkan semuanya dapat berpindah, maka disarankan menggunakan jenis selang elastis dengan spesifikasi tekanan yang memadai untuk kebutuhan tekanan *sprinkler*.

4.1.6. Pompa dan Tenaga Penggerak

Pompa yang digunakan dalam rancangan ini adalah pompa dengan Model FGP 20F dengan tenaga penggerak sebesar 5,5 HP dengan *total head* sebesar 55 meter. Adapun debit yang mampu dihantarkan sebesar 28 m³/jam dengan maksimal tinggi hisap sebesar 8 meter. Pompa ini menggunakan bahan bakar bensin.

Penggunaan pompa dan tenaga penggerak tersebut berdasarkan hasil analisa kebutuhan debit aliran air dan juga kebutuhan tekanan inlet yang harus ada dalam sistem irigasi *sprinkler* ini.

Gambar 6 adalah gambar pompa yang digunakan dengan diameter masukan sebesar 2" dan diameter keluaran sebar 2" (1 buah) dan 1,5" (2 buah).

Pompa dan tenaga penggerak ini telah mengalami modifikasi untuk menunjang mobilitas selama operasional di lapangan. Modifikasi yang dilakukan adalah penggunaan roda sebanyak 4 buah dan stang penarik atau pendorong untuk memindahkan pompa.



Gambar 6 Pompa dan Tenaga Penggerak

4.1.7. Pressure Gauge dan Filter

Sistem irigasi *sprinkler portable* ini dilengkapi dengan alat pengukur tekanan (*pressure gauge*) dan *filter* (saringan air). Fungsi *pressure gauge* ini untuk mengukur tekanan operasi di dalam jaringan pipa yang sedang bekerja. Sehingga diharapkan tekanan operasi yang diberikan sesuai dengan tekanan operasi yang diperlukan oleh *nozzle head sprinkler*. Ketepatan tekanan yang masuk akan memberikan sebaran curahan air irigasi dari *nozzle head sprinkler* menjadi lebih baik dan merata.

Sedangkan fungsi *filter* (penyaring) adalah menyaring air yang digunakan sebelum masuk ke dalam jaringan perpipaan, sehingga air yang digunakan bebas dari kotoran yang dapat mengganggu distribusi air irigasi atau menyumbat *nozzle head sprinkler* yang digunakan.

Alat *pressure gauge* ini memiliki skala tekanan maksimal 10 bar dan dilengkapi kedudukan yang terbuat dari besi siku (30x30x3 mm) dan kran pengatur. Alat ini dipasang pada pipa utama dengan diameter pipa PVC sebesar 2" sebelum masuk ke jaringan pipa *manifold* dan lateral.



Gambar 7 Pressure Gauge

4.2. Analisa Hidrolika Jaringan Pipa Lateral

Perhitungan *head loss* yang terjadi pada jaringan perpipaan menggunakan alat bantu *Microsoft Excel* dengan *Visual Basic Application* untuk mempermudah dan mempercepat dalam proses analisa.

Penggunaan *software* komputer dalam perhitungan ini dapat membantu pekerjaan perhitungan analisis hidrolika jaringan perpipaan pada sistem irigasi *sprinkler* ini. Permasalahan utama dalam jaringan irigasi bertekanan yaitu bagaimana menemukan kombinasi penggunaan pipa yang ekonomis tetapi memenuhi kebutuhan persyaratan hidrolika perpipaan (Gonzalez-Cebollada and Bibiana, M., 2012)

Tabel 2 di bawah ini menampilkan beberapa ukuran diameter pipa yang dapat digunakan dalam rancangan irigasi *sprinkler portable* dengan menggunakan *nozzle head sprinkler* jenis *impact sprinkler plastic* dengan model Naan 427B GAG.

Tabel 2 Analisa Ukuran Diameter Pipa Lateral

Diameter Pipa		F	J	hf	hl	Pinlet	Keterangan
inchi	mm		m/100m	m	m	m	
0,50	13	0,47	773,11	181,45	5,47	218,22	TDK OK
0,75	19	0,47	127,47	29,92	1,20	62,42	TDK OK
1,00	25	0,47	34,61	8,12	0,40	39,82	TDK OK
1,50	38	0,47	4,74	1,11	0,07	32,49	OK
2,00	51	0,47	1,17	0,27	0,02	31,60	OK

Sumber: hasil pengolahan data

Analisa pada Tabel 2 menggunakan tekanan operasi *sprinkler* sebesar 30 meter (3 bar) dengan debit *sprinkler* 0,29 l/s (lihat sub-bab Uji Kinerja *Sprinkler*), dengan panjang pipa lateral sebanyak 50 meter dan jumlah *nozzle head sprinkler* sebanyak 5 buah (dengan jarak antar *sprinkler* 10

m). Pada Tabel 2 menunjukkan bahwa diameter minimal yang dapat digunakan untuk sistem irigasi *sprinkler* adalah 1,5” atau 38 mm.

Pada pipa lateral ini menggunakan jenis selang elastis khusus pemadam kebakaran, dan setelah disurvei di pasaran tidak dijumpai ukuran selang sebesar 1,5”. Oleh karena itu dalam rancangan irigasi ini menggunakan diameter 2” dan memiliki nilai gesekan masih di bawah gesekan yang diijinkan yaitu sebesar 0,27 meter. Debit inlet yang harus masuk ke dalam pipa lateral ini sebesar 1,45 l/s dengan tekanan inlet sebesar 31,6 meter.

4.3. Analisa Hidrolika Jaringan Pipa Manifold (Sub-Main)

Berdasarkan hasil analisa hidrolika jaringan perpipaan untuk pipa manifold (Tabel 3) dengan jumlah lateral yang beroperasi sebanyak 2 buah (10 buah *nozzle head sprinkler*) membutuhkan diameter minimal pipa PVC sebesar 1,5”.

Diameter pipa PVC untuk manifold (*sub-main*) yang digunakan sebesar 2” dalam rancangan ini karena ukuran selang elastis yang digunakan pada pipa lateral berukuran 2”. *Head loss* yang terjadi sepanjang 20 meter pipa manifold sebesar 0,51 m (nilai ini masih di bawah *head loss* yang diijinkan yaitu 2,70 m). Kebutuhan debit aliran air yang harus masuk ke dalam manifold sebesar 2,9 l/s dengan tekanan inlet sebesar 31,90 meter.

Tabel 3 Analisa Hidrolika Jaringan Pipa Manifold

Diameter Pipa		F	J	hf	hl	Pinlet	Kete-rangan
inchi	mm		m/100m	m	m	m	
0,50	13	0,65	2600,41	337,91	21,89	391,10	TDK OK
0,75	19	0,65	428,74	55,71	4,80	91,81	TDK OK
1,00	25	0,65	116,43	15,13	1,60	48,03	TDK OK
1,50	38	0,65	15,93	2,07	0,30	33,67	OK
2,00	51	0,65	3,94	0,51	0,09	31,90	OK

Sumber: hasil pengolahan data

Hasil analisa hidrolika perpipaan baik pada pipa lateral dan manifold (*sub-utama*) menunjukkan bahwa diameter minimum yang dapat digunakan dalam rancangan irigasi *sprinkler portable* ini sebesar 1,5”. Oleh karena itu diameter pipa yang ekonomis yang dapat dianjurkan adalah 1,5” untuk pipa lateral dan 2” untuk pipa utama dan sub-utama.

Dalam proses perancangan sistem irigasi *sprinkler*, hal yang paling penting dan utama adalah permasalahan penentuan ukuran diameter pipa yang akan digunakan dalam jaringan perpipaan dalam sistem irigasi. Diharapkan dengan adanya perhitungan hidrolika dengan bantuan *software Microsoft Excel* dapat membantu

para petani dalam menentukan diameter pipa yang akan digunakan atau disebut dengan *Pipe-Sizing*.

Penentuan diameter pipa perlu dilakukan secara cermat karena hal ini berkaitan dengan biaya pembelian dan instalasi perpipaan. Untuk alasan ekonomi, maka seharusnya diameter diupayakan sekecil mungkin, tetapi diameter pipa cukup besar untuk memastikan tekanan aliran dalam pipa dapat berjalan dengan optimal (Gonzalez-Cebollada and Bibiana, M., 2012).

4.4. Total Dynamic Head (TDH)

Kebutuhan *Total Dynamic Head* (TDH) dalam rancangan irigasi *sprinkler portable* sebesar 44,2 meter. Nilai ini untuk memenuhi kebutuhan tekanan yang dibutuhkan pada pipa manifold dan lateral (20% dari tekanan operasional *nozzle head sprinkler* yang digunakan), tinggi hisap muka air ke pompa sebesar 4 meter, elevasi tertinggi dengan pompa 1,5 m, gesekan yang terjadi pada pipa utama sepanjang 50 meter dengan diameter 2” sebesar 2,1 m, dan beberapa nilai gesekan minor lainnya.

Maka kebutuhan Tenaga penggerak untuk memberikan *total dynamic head* sebesar 44,2 m dan debit air sebesar 3 l/s maka diperlukan tenaga penggerak pompa minimal 3 HP. Berdasarkan survei di pasaran, banyak dijumpai pompa dengan tenaga penggerak sebesar 2–4 HP, tetapi dengan total head hanya maksimal 25 m. Oleh karena itu, untuk memenuhi tekanan sesuai dengan rancangan ini, maka digunakan pompa jenis pemadam kebakaran sebesar 5,5 HP dengan *total head* sebesar 55 m.

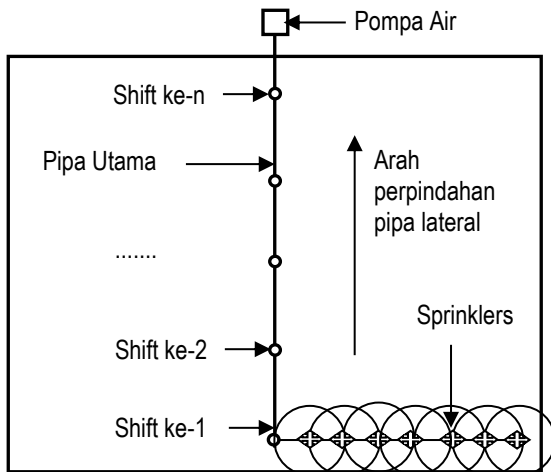
4.5. Kebutuhan Sprinkler Terhadap Luas Lahan

Sistem irigasi *sprinkler portable* dapat mengairi lahan seluas 1000 m² dalam sekali operasi untuk 10 buah *nozzle head sprinkler*. Tetapi jika kita hanya memiliki 5 buah *sprinkler*, maka hanya mampu mengairi lahan seluas 500 m². Sistem ini mampu mengairi lahan lebih dari 1000 m² dengan cara melakukan manajemen operasional irigasi di lahan, yaitu dengan cara memberlakukan sistem *shift*. Berikut ini adalah beberapa manajemen operasional sistem irigasi *sprinkler portable* dengan menggunakan sistem *shift* untuk luas lahan 1 ha.

Sistem *shift* dilakukan dengan cara memindahkan pipa lateral yang berisi 5-10 buah *nozzle head sprinkler* untuk sekali penyiraman menuju stop kran pada pipa manifold berikutnya yang akan disirami dengan sistem irigasi *sprinkler portable* (Gambar 8).

Tabel 4 Luas Lahan, Jumlah *Sprinkler* dan Jumlah *Shift*

Luas Lahan (m ²)	Jumlah <i>Sprinkler</i> (buah)	Debit Air (l/jam)	Jumlah <i>Shift</i> (kali)
1000	5	6000	2
1000	10	12000	1
2000	10	12000	2
5000	10	12000	5
10000	10	12000	10
10000	50	55000	2



Gambar 8 Sistem Perpindahan Pipa Lateral dalam Sistem *Shift*

Jadi untuk mengairi lahan seluas 1 ha dengan jumlah *sprinkler* hanya 10 buah memerlukan jumlah perpindahan lateral sebanyak 10 kali. Jika dalam sekali penyiraman memerlukan operasi pompa selama 2 jam saja, maka memerlukan waktu selama 20 jam sehari untuk operasi pompa dan pemindahannya. Hal ini terlalu banyak dan tidak ideal, sebaiknya pemindahan cukup 3 atau 4 kali saja dalam sehari (maksimal). Maka untuk mengurangi pemindahan lateral *sprinkler*, maka memerlukan *nozzle head sprinkler* sebanyak 50 buah untuk lahan 1 ha dengan jumlah *shift* sebanyak 2 kali dalam sehari.

4.6. Kinerja Sistem Irigasi *Sprinkler Portable*

4.6.1. Debit *Nozzle Head Sprinkler*

Pengukuran debit yang dihasilkan oleh *nozzle head sprinkler* menggunakan metode volumetrik. Diperoleh nilai rata-rata debit pada *nozzle head sprinkler* adalah 0,12 l/s pada tekanan 1 bar. Sedangkan untuk rata-rata debit aliran air dari *nozzle head sprinkler* untuk beberapa variasi tekanan adalah sebagai berikut (Tabel 5).

Tabel 5 Spesifikasi *Sprinkler Impact Plastic*

P (bar)	Debit		Diameter Pembasahan (m)
	(m ³ /jam)	(l/s)	
1	0,43	0,12	18
2	0,85	0,24	24
3	1,03	0,29	26

Keterangan: Hasil pengujian dengan *Sprinkler* jenis Naan 427B GAG dengan ukuran *nozzle* 4 mm.

Berdasarkan data Tabel 5 diketahui bahwa nilai debit yang dihasilkan oleh *nozzle head sprinkler* bertambah besar seiring dengan meningkatnya tekanan operasi yang bekerja. Demikian pula halnya dengan diameter pembasahan yang dihasilkan oleh curahan dari *sprinkler*. Sedangkan jumlah rata-rata *revolution per minute* (RPM) *nozzle head sprinkler* adalah 5,2 RPM.

4.6.2. Keseragaman Irigasi (*Coefficient of Uniformity*)

Nilai keseragaman irigasi dihitung menggunakan metode Christiansen dengan menggunakan jenis *block (square measurement)* dengan jarak spasi antar wadah penampung 2m x 2m. Berikut ini adalah keseragaman irigasi (CU) yang dihasilkan dengan tekanan operasi pompa sebesar 1 bar dengan jarak *sprinkler* 10 m x 10 m.

Berdasarkan data pengamatan tersebut diperoleh bahwa kedalam curahan air rata-rata untuk 30 buah wadah selama 30 menit sebesar 2,25 mm dengan nilai keseragaman curahan irigasi (CU) yang dihasilkan adalah sebesar 79,9% pada tekanan 1 bar untuk metode *block square method* (4 *sprinkler*). Adapun nilai koefisien keseragaman untuk beberapa variasi tekanan yang berbeda adalah sebagai berikut (seperti pada Tabel 6).

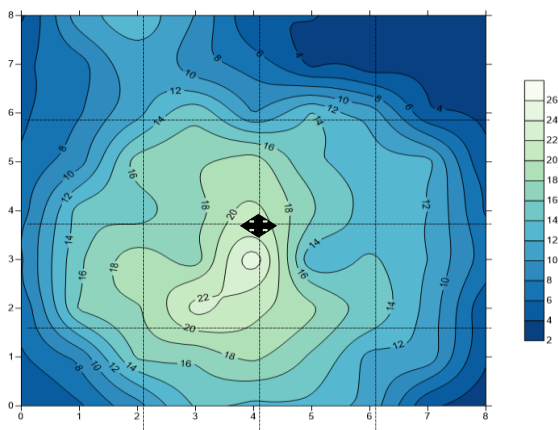
Nilai keseragaman irigasi yang dihasilkan pada *nozzle head sprinkler* jenis *Impact Sprinkler Plastic* bervariasi terhadap nilai tekanan operasi dan spasi *sprinkler*. Keseragaman irigasi yang ideal lebih dari 85%. Keller and Bliesner (1990) mengidentifikasi bahwa sistem irigasi *sprinkler* harus memiliki nilai keseragaman air irigasi, koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*/CU) $\geq 80\%$. Rendahnya nilai CU merupakan indikator terjadinya kesalahan desain mulai dari penentuan jenis dan ukuran *sprinkler*, tekanan operasi, dan jarak spasi *sprinkler* (Tarjuelo *et al.*, 1999). Maka berdasarkan nilai pada Tabel 6, tekanan operasi yang diijinkan untuk *sprinkler* jenis ini adalah minimal 2 bar untuk menghasilkan keseragaman irigasi lebih dari 85%.

Tabel 6 Laju Penyiraman (mm/jam) dan Keseragaman Irigasi (%) pada Beberapa Nilai Tekanan Operasi dan Spasi *Sprinkler* dengan *Block Square Method*

P (bar)	Q (m ³ / jam)	D (m)	Spasi (m)			
			10x10	10x12	12x12	12x14
1	0,43	18	4,5			
2	0,85	23	9,0	7,4	6,2	5,3
3	1,03	25	10,3	8,6	7,2	6,1
4	1,18	26	11,8	9,8	8,2	7,0
Nilai Keseragaman(%)			<85	85-88	88-92	>92

Sumber: Naandanjain (2015)

Adapun pola kedalaman curahan air irigasi *sprinkler* dengan menggunakan metode *single nozzle head* memiliki nilai keseragaman yang lebih kecil. Sebagai contoh, pada tekanan operasi 1 bar diperoleh nilai keseragaman sebesar 55% dengan pola distribusi kedalaman curahan seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Distribusi Kedalaman Air dengan *Single Nozzle head Sprinkler*

Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa pengujian keseragaman dengan *block square method* lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan *single nozzle head sprinkler*. Walaupun demikian, penggunaan tekanan operasi sebesar 1 bar pada *block square method* dengan keseragaman irigasi hampir 80% masih cukup ideal untuk digunakan dengan harapan dapat mengurangi spesifikasi pompa yang digunakan, sehingga dapat mengurangi biaya investasi pembelian pompa dan tenaga penggerak serta pipanisasi yang

digunakan. Li & Rao (2001) menyatakan bahwa nilai keseragaman kadar air tanah yang dialiri dengan sistem irigasi *sprinkler* memiliki nilai koefisien keseragaman pembasahan yang lebih tinggi dibandingkan dengan koefisien keseragaman curahan irigasi *sprinkler*.

Jadi secara umum sistem irigasi *sprinkler* ini dapat memberikan aplikasi air irigasi dengan keseragaman yang cukup tinggi. Namun begitu, keseragaman irigasi saja belum cukup untuk mencapai tujuan irigasi, karena aspek penjadwalan irigasi juga sangat penting dalam praktik sistem irigasi *sprinkler* yang optimal (Barragan *et al.*, 2010).

4.7. Aplikasi Irigasi *Sprinkler* pada Tanaman Pakchoy

Hasil inovasi rancangan sistem irigasi *sprinkler portable* telah diujicobakan di Desa marga Agung, Kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan untuk budidaya tanaman Pakchoy. Sistem irigasi *sprinkler* dipasang pada lahan dengan ukuran 500 m² dengan menggunakan *single lateral* (satu buah pipa lateral) dan jumlah *sprinkler* sebanyak 5 buah pada tekanan operasi 1 bar (Gambar 9).

Untuk sumber air irigasi memanfaatkan embung air yang ada di areal persawahan yang kemudian ditampung menggunakan kolam terpal sebelum dialirkan ke lahan pertanian melalui sistem irigasi *sprinkler portable*. Kolam air terbuat dari terpal hitam dengan ukuran panjang 3,6 m, lebar 1,5 m, dan tinggi 1 m. Kolam ini dapat menampung volume air sebanyak 4 m³.

Adapun teknis penyiraman irigasi melalui *sprinkler* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu *pertama*, dengan laju penyiraman tetap dengan nilai penyiraman masih di bawah nilai laju infiltrasi; dan *kedua*, yaitu dengan laju penyiraman lebih tinggi dari laju infiltrasi tanah (Dadichi *et al.*, 2012).

Pada aplikasi irigasi *sprinkler portable* ini menggunakan laju penyiraman irigasi tetap sebesar 4,5 mm/jam dengan durasi penyiraman singkat hanya 30 menit. Aplikasi irigasi *sprinkler* diberikan ketika kadar air tanah berada di bawah kapasitas lapang atau mendekati titik kritis. Rata-rata pemberian irigasi sebanyak 3,55 mm untuk jenis tanah di lokasi penelitian adalah lempung liat berpasir. Penyiraman air irigasi yang dilakukan selama penanaman sebanyak 10 kali dengan dengan total lama penyiraman adalah 5,48 jam atau sekitar 30 menit per aplikasi penyiraman dengan interval irigasi 1 hari. ketika tidak ada hujan.



Gambar 10 Aplikasi Kolam Terpal dan *Single Lateral* pada Lahan 500 m²

V. KESIMPULAN

Rancangan irigasi *sprinkler portable* ini memiliki spesifikasi sebagai berikut: *nozzle head sprinkler* jenis *Sprinkler Impact Plastic, stick riser* setinggi 1 meter dengan diameter $\frac{3}{4}$ " , pipa lateral elastis dengan diameter 2" dan jarak spasi antar *sprinkler* dan lateral 10m x 10m. Pompa dan tenaga penggerak yang digunakan dengan total head 55 meter dan 5,5 HP.

Kemudahan untuk dipindahkan dari satu blok ke blok lain dan juga sumber air irigasi merupakan keunggulan dari sistem irigasi *sprinkler portabel* hasil rancangan. Sistem ini telah berhasil diaplikasikan pada budidaya tanaman sayuran pakchoy di kecamatan Jati Agung, Lampung Selatan dengan nilai keseragaman air irigasi mencapai 80% pada tekanan 1 bar dan laju penyiraman 4,5 mm/jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat, Universitas Lampung dalam mendukung pendanaan penelitian Rancang Bangun Irigasi *Sprinkler Portable* ini melalui DIPA BLU UNILA

dengan Nomor Kontrak 279/UN26/8/PL/2013; dan Dekan Fakultas Pertanian atas dukungan pendanaan dalam pelaksanaan penelitian Aplikasi Irigasi *Sprinkler Portable* pada Budidaya Tanaman Pakchoy melalui skim dana Penelitian DIPA Fakultas Pertanian UNILA Tahun 2015.

DAFTAR PUSTAKA

- ASAE. (2001). *ANSI/ASAE Standard S436.1 - Test Procedure for Determining the Uniformity of Water Distribution of Center Pivot and Lateral Move Irrigation Machines Equipped with Spray or Sprinkler Nozzles*. Michigan: American Society of Agricultural Engineers.
- Barragan, J., Cots, L., Monserrat, J., Lopez, R., & Wu, I. P. (2010). Water distribution uniformity and scheduling in micro-irrigation systems for water saving and environmental protection. *Biosystems engineering*, 107(3), 202-211.
- Christiansen, J.E. (1941). The uniformity of application of water by sprinkler systems. *Agricultural Engineering Journal*, 22(3), 89-92.
- Dadhich, S. M., Singh, R. P., & Mahar, P. S. (2012). Saving time in sprinkler irrigation application through cyclic operation: a theoretical approach. *Irrigation and Drainage Journal*, 61(5), 631-635
- González-Cebollada, C., & Macarulla, B. (2012). Comparative analysis of design methods of pressurized irrigation networks. *Irrigation and Drainage*, 61(1), 1-9.
- James, L.G., (1988). *Principles of Farm Irrigation System Design*. New York: John Willey and Sons.
- Keller, J., & Bliesner, R.D. (1990). *Sprinkler and Trickle Irrigation*. New York: AVI Book.
- Kurniati, E., Suharto, B., & Afrilia, T. (2007). Desain jaringan irigasi curah (*sprinkler irrigation*) pada tanaman anggrek. *Jurnal Teknologi Pertanian*, 8(1), 35-45.
- Li, J. & Rao, M. (2001). Crop yield as affected by uniformity of sprinkler irrigation system. *Agricultural Engineering International: the CIGR Journal of Scientific Research and Development*, Manuscript LW 01 004.Vol. III.
- Meriem, J.I., Shearer, M.M., & Burt, C.M. (1981). *Evaluating Irrigation System and Practice*. Michigan: Trans of ASAE.
- Naandanjain. (2015). *Sprinkler Product Catalog*. Israel: Naandanjain Irrigation Company.
- Phocaidis, A. (2007). *Handbook on Pressurized Irrigation Techniques, 2nd ed.* Roma, Italia: Food and Agriculture Organization.
- Pusat Data dan Sistem Informasi. (2014). *Statistik Lahan Pertanian Tahun 2009-2013*. Jakarta: Pusat Data dan Sistem Informasi Pertanian, Kementerian Pertanian.

- Sanchez, I., Zapata, N., & Faci, J. M. (2010). Combined effect of technical, meteorological and agronomical factors on solid-set sprinkler irrigation: I. Irrigation performance and soil water recharge in alfalfa and maize. *Agricultural Water Management*, 97(10), 1571-1581.
- Schwab, G.O., Frevert, R.K., Edminster, T.W., & Barner, K.K. (1981). *Soil and Water Conservation Engineering*. New York: John Wiley and Sons.
- Sheikhesmaeili, O., Montero, J., & Laserna, S. (2016). Analysis of water application with semi-portable big size sprinkler irrigation systems in semi-arid areas. *Agricultural Water Management*, 163, 275-284.
- Sularso, & Tahara, H. (2000). *Pompa dan Kompresor: Pemilihan, Pemakaian, dan Pemeliharaan*. Jakarta: PT Pradnyana Paramitha.
- Tarjuelo, J. M., Montero, J., Carrion, P. A., Honrubia, F. T., & Calvo, M. A. (1999). Irrigation uniformity with medium size sprinklers part II: influence of wind and other factors on water distribution. *Transactions of the ASAE*, 42(3), 677-689.