

SISTEM KONTROL TINGGI MUKA AIR UNTUK BUDIDAYA PADI

CONTROL WATER LEVEL SYSTEM FOR PADDY FIELD CULTIVATION

Oleh:

Nurfaijah¹⁾, Budi Indra Setiawan²⁾, Chusnul Arif²⁾, Slamet Widodo³⁾

¹⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Sekolah Pascasarjana, IPB
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

²⁾Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, IPB
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

³⁾Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, IPB
Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Jawa Barat, Indonesia

Komunikasi Penulis, email: nurfaijah135@yahoo.co.id

Naskah ini diterima pada 8 Agustus 2015; revisi pada 22 Agustus 2015;
disetujui untuk dipublikasikan pada 17 September 2015

ABSTRACT

This research aims to design a control system to keep the water level and soil moisture at a level that is suitable to the plant requirement and determines the optimum water level and soil moisture in each growth phase of paddy field cultivation. The water level control system was formed based on on-off controls system using Arduino Uno ATmega328P microcontroller. When the sensor gives input that the water level is below the set points, then microcontroller will command the irrigation valve to open and the drainage valve to close. The volume and time of irrigation and drainage control are dependent to set point. Set point was controlled based on water regime treatment. Water regime consisted of three treatments, which are wet regime (RB), slightly wet regime (RAB), and dry regime (RK). The research result showed that control system was very effective and efficient in controlling the water regime according to the control algorithms. Besides, the research result showed that the water regimes affected the plant growth, land productivity, and water productivity. Treatment of wet regime (RAB) gave the highest number of tiller (138 tillers), yield 194.7 g/hill (equal to 21 ton/ha with assumption of 30 cm x 30 cm spacing) and water productivity 3.16 kg/m³.

Keywords : *paddy, water regime, control system, water level, set point*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol untuk menjaga tinggi muka air dan kelembaban tanah pada level yang dibutuhkan tanaman dan mengkaji tinggi muka air dan kelembaban tanah optimum pada setiap fase pertumbuhan budidaya padi. Sistem kontrol tinggi muka air dibentuk berdasarkan sistem kendali *on-off* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P. Ketika sensor memberikan input bahwa tinggi muka air berada di bawah *set point* maka dengan perintah mikrokontroler *valve* irigasi akan terbuka dan *valve* drainase tertutup. Jumlah dan waktu pemberian dan pengeluaran air irigasi tergantung *set point*. *Set point* dikontrol berdasarkan perlakuan rejim air. Rejim air terdiri dari 3 perlakuan yaitu Rejim Basah (RB), Rejim Agak Basah (RAB) dan Rejim Kering (RK). Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem irigasi otomatis sangat efektif dan efisien dalam mengendalikan tinggi muka air sesuai dengan algoritma kendali. Selain itu, hasil penelitian menunjukkan bahwa perlakuan rejim air mempengaruhi pertumbuhan tanaman, produktivitas lahan dan produktivitas air. Perlakuan rejim agak basah memberikan jumlah anakan tertinggi (138 anakan), hasil tanaman tertinggi 194,7 g/rumpun (setara 21,6 ton/ha dengan asumsi jarak tanam 30 cm x 30 cm) dan produktivitas air tertinggi 3,16 kg/m³.

Kata kunci : *padi, rejim air, sistem kontrol on-off, tinggi muka air, set point*

I. PENDAHULUAN

Pemberian air irigasi ke lahan pertanian bertujuan untuk memenuhi kebutuhan air tanaman agar dapat tumbuh secara optimal, namun ketidakpastian ketersediaan air menjadi permasalahan utama pada saat sekarang. Hal tersebut merupakan salah satu akibat dari perubahan iklim global sehingga mempengaruhi irigasi padi (Da Silva *et al.* 2012). Melkonyan (2015) menyatakan bahwa dampak perubahan iklim menyebabkan kekeringan yang membuat gagal panen dan penurunan produksi padi. Permasalahan tersebut dapat diatasi dengan pengelolaan penggunaan air irigasi yang tepat dan efisien (Azis, 2011). Pada budidaya padi konvensional, umumnya petani menggenangi lahan sawahnya terus menerus sehingga menyebabkan pemborosan air dan meningkatkan *cost* untuk memenuhi kebutuhan air tanaman. Menurut Puslitbangtanak (2004), tinggi genangan air yang diterapkan petani di Indonesia dapat mencapai 15 cm.

Budidaya padi SRI (*Sistem of Rice Intensification*) merupakan salah satu metode untuk menghemat air dan meningkatkan produksi padi (Roy dan Bisht, 2012). Penerapan teknik SRI secara kontinyu selama 8 tahun di Madagaskar dapat menghasilkan gabah 2,74 ton pada sawah 13 are atau setara 21 ton/ha (Uphoff *et al.* 2002). Purwasasmita (2012) menyatakan bahwa dengan sistem budidaya padi SRI dapat meningkatkan produksi padi Indonesia berlipat ganda, dari 4-5 ton/ha menjadi 8-12 ton/ha. Selain itu, budidaya SRI juga dapat menghemat penggunaan air. Subari *et al.*, (2012) menyatakan bahwa percobaan dengan metode budidaya SRI dapat menghemat air irigasi sekitar 44% dibandingkan dengan budidaya konvensional. Penelitian lain juga menyatakan bahwa budidaya padi menggunakan metode SRI dapat meningkatkan efisiensi pemakaian air 68-94 % (Dass dan Ann, 2014). Selain itu, budidaya SRI juga dapat menurunkan laju emisi CH₄ (Setyanto dan Abu Bakar, 2005). Kasim (2005) menyatakan bahwa komponen pengelolaan hemat air dalam budidaya SRI ditandai dengan tanah macak-macak sampai tanah retak rambut. Namun belum ada laporan yang menjelaskan secara tepat dan tegas tentang berapa kelembaban tanah dan berapa nilai pF pada kondisi tanah macak-macak dan retak rambut tersebut. Oleh karena itu, pola pemberian air perlu dikaji untuk mengetahui tinggi muka air optimum yang sesuai pada tiap fase pertumbuhan tanaman sehingga dapat meningkatkan produktivitas tanaman padi.

Selain itu, pada sistem irigasi permukaan, air dialirkan melalui saluran-saluran irigasi ke lahan sawah. Sistem irigasi ini memiliki beberapa kelemahan yakni terjadinya kehilangan air pada saluran baik akibat evaporasi, rembesan, dan perkolasi. Untuk menghindari terbuangnya air, perlu dilakukan penelitian yang dapat mengendalikan penggunaan air irigasi agar lebih efisien. Pengendalian air irigasi dilakukan dengan membuat sistem yang dapat membuat katup *solenoid* mengalirkan air hanya saat tanaman padi membutuhkan air. Pada sistem irigasi otomatis pemberian air irigasi diatur sedemikian rupa untuk mencapai kondisi yang diharapkan (*set point*). Penerapan irigasi otomatis merupakan salah satu cara pengendalian air irigasi ke lahan pertanian. Sistem kendali pengaturan muka air tanah telah dikembangkan oleh Iskandar, *et al.* (1999), Setiawan *et al.* (2001a), Setiawan *et al.* (2001b), Setiawan *et al.* (2002) dan Sofiyuddin, *et al.* (2012), untuk simulasi penghematan air di lahan sawah dengan menggunakan kendali *on-off* dan *fuzzy logic*. Sistem kendali pada penelitian ini menggunakan sistem kendali *on-off*. Penelitian ini bertujuan merancang sistem kontrol untuk menjaga tinggi muka air dan kelembaban tanah pada level yang dibutuhkan tanaman dan mengkaji tinggi muka air dan kelembaban tanah optimum pada setiap fase pertumbuhan budidaya padi.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Budidaya Padi SRI

SRI adalah teknik budidaya padi yang mampu meningkatkan produktivitas padi sebesar 50%, bahkan di beberapa tempat mencapai lebih dari 100% (Mutakin, 2007). Uphoff (2008) dan Thiyagarajan dan Gujja (2013) menyatakan bahwa terdapat beberapa konsep dasar metode SRI yang meliputi: (i) bibit muda; (ii) tanam 1 bibit per lubang; (iii) jarak tanam lebar; (iv) sistem irigasi macak-macak; (v) penyiangan; dan (vi) aplikasi pupuk organik. Menurut Kalsim *et al.* (2007), pengelolaan air di petakan SRI di Jawa Barat pada prinsipnya dibagi dalam 5 fase, yaitu fase awal, vegetatif-anakan, pembungaan, pengisian bulir sampai masak susu, dan pematangan bulir sampai panen. Metode yang sudah dikembangkan diantaranya (Balai Irigasi, 2007) :

1. Jawa Barat

Pengelolaan air sesuai dengan uraian di atas. Penggunaan hanya pupuk organik selama masa tanam, yaitu pemberian kompos saat olah tanah dan Mikro Organisme Lokal (MOL) selama pertumbuhan tanaman.

2. Luar Jawa

Pengelolaan air irigasi dilakukan dengan cara penggenangan 2-3 cm dan dikeringkan sampai batas macak-macak. Penggunaan pupuk organik dianjurkan diberikan pada saat olah tanah, sedangkan saat pertumbuhan tanaman diberikan pupuk anorganik (urea, SP-36 dan KCl).

2.2. Neraca Air

Pengaturan air hanya mungkin dilakukan dengan mengatur irigasi dan drainase karena dua elemen ini merupakan bentukan yang sengaja dirancang. Keberadaan saluran irigasi dan drainase sangat diperlukan untuk menjaga agar muka air tanah berada pada ketinggian yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman. Pengendalian muka air tanah dapat dilakukan dengan mengalirkan air ke dalam dan keluar dari sawah (Saptomo *et al.*, 2012). Sawah biasanya dikelilingi oleh parit untuk mengatur sistem irigasi dan drainasinya. Kalsim *et al.* (2007) menyatakan bahwa parit keliling dan melintang selain berfungsi untuk mengalirkan air irigasi agar merembes ke lahan sampai macak-macak, juga berfungsi sebagai saluran drainase. Irigasi dan drainase merupakan salah satu faktor yang paling penting untuk meningkatkan hasil gabah (Shao *et al.*, 2014). Irigasi dan drainase merupakan salah satu komponen neraca air yang memuat keseluruhan masukan (irigasi dan hujan) dan keluaran air (drainase, perkolasi, *seepage*, evapotranspirasi, dan aliran permukaan) di lahan padi sawah.

Evapotranspirasi terdiri dari dua proses, yaitu proses menguapnya air dari tanah (evaporasi) dan proses menguapnya air dari tajuk tanaman (transpirasi). Karena sulit untuk dibedakan, proses evaporasi (E) dan transpirasi (T) dirumuskan sebagai satu kesatuan sebagai evapotranspirasi (ETc). Evapotranspirasi yang dikonsumsi oleh tanaman padi sawah pada dataran rendah adalah 4-5 mm/hari, dan 6-7 mm/hari pada musim kering, tetapi di daerah sub tropis bisa mencapai 10-11 mm/hari (Tabbal *et al.*, 2002). Nilai Kc tergantung pada jenis tanaman dan tahapan pertumbuhannya. Telah banyak dikembangkan rumus-rumus empiris untuk menghitung ETo yang didasarkan pada hubungan statistik antara evapotranspirasi dan satu atau lebih variabel iklim (Berengena dan Gavilan, 2005). Pendugaan laju evapotranspirasi banyak dikembangkan salah satunya berdasarkan suhu udara (Model Hargreaves) (Allen *et al.*, 2006).

2.3. Produktivitas Lahan dan Air

Produksi padi adalah jumlah *output* atau hasil panen padi dari luas lahan petani selama satu kali musim tanam dalam bentuk gabah kering panen (GKP) yang diukur dalam satuan kilogram (kg). Produktifitas air merupakan perbandingan antara *output* produksi dengan air yang digunakan (Clemmens dan Molden, 2007). Parameter *output* produksi dan jumlah air yang digunakan dalam perhitungan produktifitas air perlu disesuaikan tujuan penggunaan nilai produktivitas air. Clemmens dan Molden (2007) berpendapat bahwa parameter *output* produksi dapat saja berupa berat hasil panen atau nilai ekonomisnya dan parameter jumlah air dapat saja berupa air yang digunakan atau air yang disuplai (irigasi atau hujan).

2.4. Sistem Kontrol On-Off

Sistem kontrol *on-off* merupakan sistem kontrol yang paling sederhana. Input sensor dan sinyal *output* pada aktuator dinyatakan hanya dalam dua keadaan yaitu *on-off* atau logika 1 dan 0. Kerja kontroler *on-off* banyak digunakan pada aksi pengontrolan yang sederhana karena harganya murah dan sistem kerja yang digunakan adalah *on-off* saja. Hasil *output* dari sistem pengendalian ini akan menyebabkan proses variabel tidak akan pernah konstan. Besar kecilnya fluktuasi proses variabel ditentukan oleh titik dimana kontroler dalam keadaan *on* dan *off*. Pengendalian dengan aksi kontrol ini menggunakan *feedback*. Terdapat berbagai aktuator dasar yang beroperasi cukup dengan kemudi *on-off* ini misalnya *solenoid valve*.

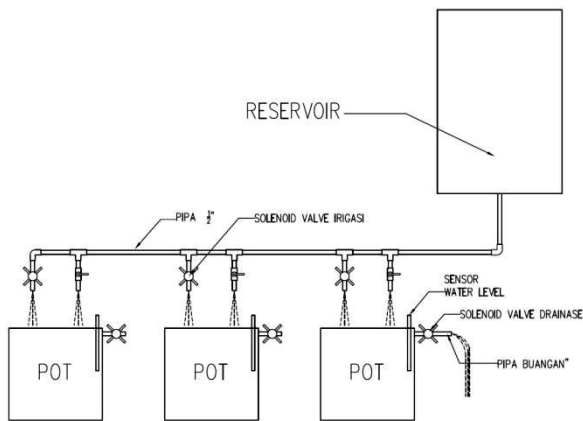
Mikrokontroler ATmega328P adalah mikrokontroler keluaran dari atmel yang mempunyai arsitektur *Reduce Instruction Set Computer* (RISC) yang dimana setiap proses eksekusi data lebih cepat dari pada arsitektur *Completed Instruction Set Computer* (CISC) (Wardhana, 2006). Arduino Uno adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino Uno memiliki 14 pin digital (6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM), 6 *input analog*, sebuah 16 MHz osilator kristal, sebuah koneksi USB, sebuah konektor sumber tegangan, sebuah *header* ICSP, dan sebuah tombol reset. Arduino Uno memuat segala hal yang dibutuhkan untuk mendukung sebuah mikrokontroler. Hanya dengan menghubungkannya ke sebuah komputer melalui USB atau memberikan tegangan DC dari baterai atau adaptor AC ke DC sudah dapat membuatnya bekerja.

III. METODOLOGI

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, yaitu persiapan dan perancangan sistem irigasi dan sistem kontrol, pelaksanaan percobaan dan pengamatan dilapangan.

3.1. Persiapan dan Perancangan Sistem Irigasi dan Sistem Kontrol

Desain irigasi terdiri dari satu *reservoir* sebagai tampungan air irigasi. Pada *output* keluaran air dari reservoir dipasang pipa diameter $\frac{3}{4}$ inci yang selanjutnya dihubungkan ke pipa $\frac{1}{2}$ inci. Dari pipa $\frac{1}{2}$ inci air dialirkan langsung ke masing-masing pot percobaan. Pada ujung pipa $\frac{1}{2}$ inci dipasang *solenoid valve* dan *manual valve*. *Solenoid valve* berfungsi sebagai pengontrol buka tutup air irigasi drainase dan *manual valve* berfungsi sebagai pengatur besar debit aliran irigasi dan pengganti jika *solenoid valve* tidak lagi berfungsi. Skema desain irigasi otomatis untuk lahan pot dapat dilihat pada Gambar 1.

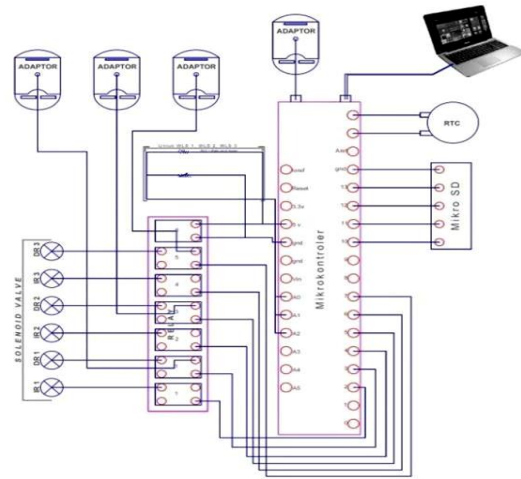


Gambar 1 Instalasi Irigasi Otomatis untuk Percobaan Pot

Perancangan *software* dilakukan dengan pemrograman mikrokontroler menggunakan bahasa pemrograman C dengan penulisan pemrograman pada halaman Arduino Uno ATmega328P. *Arduino board* merupakan perangkat yang berbasis mikrokontroler. Perangkat lunak (*software*) merupakan komponen yang membuat sebuah mikrokontroler dapat bekerja. *Arduino board* akan bekerja sesuai dengan perintah yang ada dalam perangkat lunak yang ditanamkan padanya.

Perancangan *hardware* terdiri atas sensor *water level*, mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P, *solenoid valve*, *terminal barrier*, *relay*, modul RTC, *micro SD* dan adaptor AC-DC 12 volt. Sensor *water level* yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 3 buah yaitu sebagai kontrol tinggi muka air di pot 1, 2 dan 3. Sensor *water level* memiliki 3 pin yang masing-masing memiliki fungsi yang berbeda

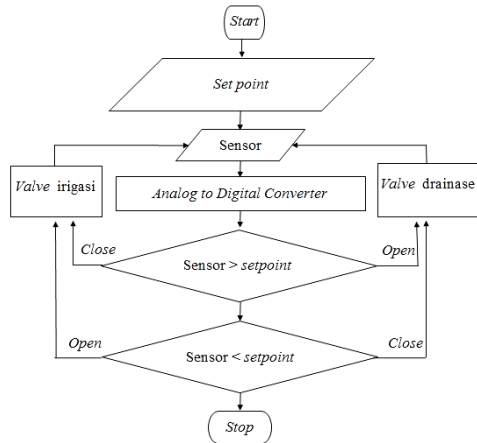
yaitu pin 1 sebagai data, pin 2 sebagai *ground* dan pin 3 sebagai *power*. Setiap pin pada sensor dihubungkan ke mikrokontroler, yaitu gabungan pin *power* dari ke 3 sensor dihubungkan ke *port* 5V, gabungan pin *ground* dihubungkan ke *port ground*, pin data pada sensor di pot 1, 2 dan 3 berurutan di hubungkan ke *port analog serial* A0, A1 dan A3. *Solenoid valve* yang digunakan adalah berukuran $\frac{1}{2}$ inci dengan tegangan 12 volt. *Solenoid valve* yang digunakan sebanyak 6 buah yaitu masing-masing pot adalah 2 buah yaitu sebagai irigasi dan drainase. Masing-masing *solenoid valve* dipasang kabel dan ujung kabel dihubungkan ke *port digital* 2-7. Modul RTC dan *micro SD* juga dipasang pada *port digital* dan *port analog*. Skema sirkuit *hardware* sistem kontrol dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Skema Sirkuit/Hardware

Prinsip kerja alat kontrol tinggi muka air ini adalah mengukur tinggi muka di dalam tanah. Kontrol tinggi muka air dibentuk berdasarkan kendali *on-off*. Alur pemrograman dimulai dengan adanya perintah *set point* dari *user* dan mengirimkannya ke DAC. Selanjutnya, sensor akan membaca tinggi muka air di pot, memberikan masukan nilai keluaran ke pengendali. Tegangan keluaran dibaca melalui *ADC internal* mikrokontroler sebagai *preset value*, membandingkannya dengan *set point*, kemudian melakukan aksi pengendalian agar *error* yang dihasilkan menjadi lebih kecil. Ketika sensor memberikan *input* terjadinya penurunan tinggi muka air di pot atau tinggi muka air berada di bawah *set point*, maka dengan perintah mikrokontroler *valve* irigasi akan terbuka dan *valve* drainase tertutup, sebaliknya *valve* irigasi tertutup dan *valve* drainase terbuka jika tinggi muka air di pot berada di atas *set point*. Air dialirkan dari reservoir ke tanaman melalui jaringan perpipaan irigasi. Buka tutup aliran air dilakukan berdasarkan kontrol *real time*.

Rangkaian dan pengendali ini dihubungkan dengan komputer. Komputer berfungsi untuk memonitor dari hasil pembacaan sensor, waktu dan aktivitas sistem kendali serta untuk mengubah *setting* pengendalian yang diinginkan. Diagram alir sistem kendali *on-off* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3 Diagram Alir Sistem Kendali *On-Off*

3.2. Pelaksanaan Percobaan

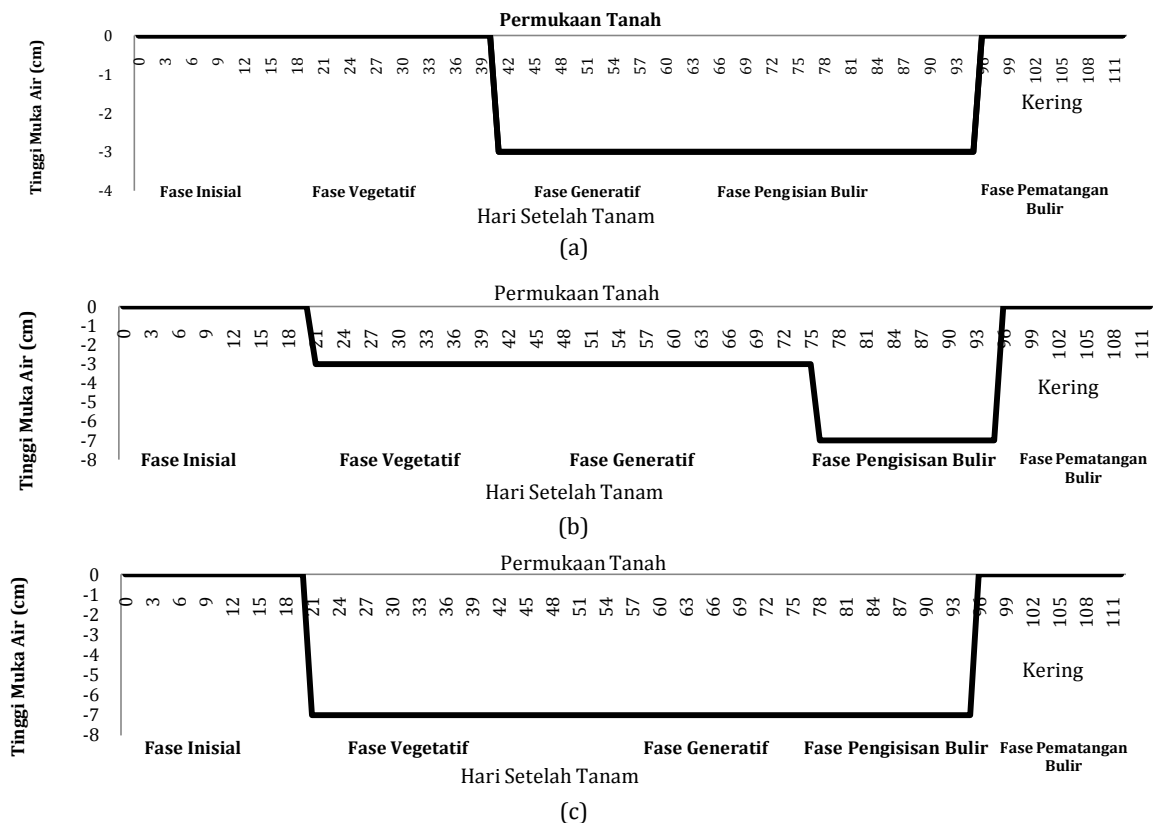
1. Persiapan Benih

Benih padi yang digunakan pada penelitian ini adalah benih padi varietas Ciherang. Mutakin

(2007) menyatakan bahwa sebelum perendaman, dilakukan pemilahan benih yang bernas dengan memasukkan benih ke dalam larutan garam dapur. Benih yang bernas akan tenggelam. Benih yang bernas akan digunakan sedangkan yang mengambang dibuang. Benih yang tenggelam segera dibilas dengan air untuk menghilangkan garamnya, kemudian direndam dalam air bersih selama 2 hari dan dilanjutkan dengan pemeraman selama 2 hari. Benih yang telah berkecambah tersebut disemaikan di atas nampan yang telah diisi campuran tanah dan kompos.

2. Perlakuan Rejim Air

Perlakuan rejim air pada penelitian ini terdiri dari 3 perlakuan yaitu rejim basah, rejim agak basah dan rejim kering. Perbedaan perlakuan rejim air berdasarkan *set point* yang telah ditentukan yaitu 0 cm, -3 cm dan -7 cm dari permukaan tanah. Penentuan *set point* dilakukan berdasarkan nilai kelembaban tanah. *Set point* dikendalikan pada setiap fase pertumbuhan. Pada penelitian ini pemberian air berbeda tiap perlakuan sesuai *set point* yang telah ditentukan. *Set point* dikendalikan pada setiap fase pertumbuhan. Adapun perlakuan rejim air pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Perlakuan Air (a) Rejim Basah (RB); (b) Rejim Agak Basah (RAB) dan (c) Rejim Kering (RK)

Pada perlakuan rejim basah (Gambar 4a), tinggi muka air pada fase inisial dan fase vegetatif dibiarkan macak-macak 0 cm permukaan tanah yang kelembaban tanahnya berada pada pF 2. Selanjutnya pada fase generatif dan pengisian bulir, tinggi muka air diturunkan pada level -3 cm dari permukaan tanah yang nilai kelembaban tanahnya mendekati kapasitas lapang. Kemudian pada fase pematangan bulir sampai panen, dilakukan pengeringan.

Pada perlakuan rejim agak basah (Gambar 4b), tinggi muka air pada fase inisial dibiarkan macak-macak 0 cm permukaan tanah yang kelembaban tanahnya berada pada pF 2. Pada fase vegetatif dan generatif, tinggi muka air diturunkan pada level -3 cm dari permukaan tanah yang nilai kelembaban tanahnya mendekati kapasitas lapang. Selanjutnya pada fase pengisian bulir tinggi muka air dipertahankan pada level -7 cm dari permukaan tanah yang nilai kelembaban tanahnya 78% dari kapasitas lapang. Kemudian pada fase pematangan bulir sampai panen, dilakukan pengeringan.

Pada perlakuan rejim kering (Gambar 4c), tinggi muka air pada fase inisial dibiarkan macak-macak 0 cm permukaan tanah yang kelembaban tanahnya berada pada pF 2. Selanjutnya pada fase vegetatif sampai pengisian bulir, tinggi muka air diturunkan sampai level -7 cm dari permukaan tanah yang nilai kelembaban tanahnya 78% dari kapasitas lapang. Kemudian pada fase pematangan bulir sampai panen, dilakukan pengeringan.

Pemberian air pada tiap perlakuan dilakukan mulai dari fase inisial sampai fase pengisian bulir, sedangkan pada fase pematangan bulir-panen, semua perlakuan dikeringkan. Pengeringan air tanah pada periode pematangan bertujuan untuk menghemat air irigasi ketika kebutuhan tanaman air minimum (Arif *et al.*, 2014) dan juga untuk mempercepat dan meyeragamkan proses pematangan bulir padi.

3.3. Pengamatan

Pengamatan yang dilakukan meliputi: temperatur tanah, kelembaban tanah, cuaca, tinggi muka air, jumlah anakan, tinggi tanaman dan berat gabah.

1. Pengukuran Temperatur dan Kelembaban Tanah

Pengukuran, temperatur dan kelembaban tanah dilakukan untuk mengetahui kondisi media tanam selama penanaman. Temperatur dan kelembaban tanah diukur dengan menggunakan sensor yang dipasang pada media tanam pada kedalaman 5 cm di bawah permukaan tanah. Data hasil

pengukuran disimpan pada data *logger decagon EM50* setiap 30 menit.

Nilai kelembaban tanah yang terukur setiap harinya digunakan untuk memprediksi kurva karakteristik kadar air tanah pada setiap perubahan tinggi muka air. Salah satu persamaan empiris untuk memprediksi kurva karakteristik kadar air tanah adalah dengan menggunakan persamaan Van Genuchten. Model Van Genuchten mengusulkan 4 parameter sebagai solusi untuk memprediksi fungsi *volumetric water content* seperti pada Persamaan 1 (Van Genuchten, 1980) :

$$\theta_w = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left\{1 + \left(\frac{\psi}{a}\right)^n\right\}^m} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- θ_w = volume kadar air
- θ_s = volume kadar air kondisi jenuh
- θ_r = volume kadar air sisa
- ψ = tekanan air-pori negatif
- a, n, m = parameter untuk kurva

2. Pengukuran Parameter Cuaca

Selama pertumbuhan tanaman, parameter klimatologi yang diukur antara lain: hujan, temperatur udara, kelembaban udara, dan radiasi matahari. Pengukuran dilakukan menggunakan sensor setiap 30 menit. Data hasil pengukuran tersimpan pada data *logger decagon EM50*.

3. Pengukuran Tinggi Muka Air

Tinggi muka air diukur selama pertumbuhan tanaman. Pengukuran tinggi muka air dilakukan dengan menggunakan sensor tinggi muka air yang diletakkan di dalam tabung dan dimasukkan ke media pot. Nilai tinggi muka air dibaca setiap 30 menit dan disimpan di *micro SD*. Perubahan nilai tinggi muka air pada media pot digunakan untuk menghitung nilai irigasi dan drainase. Irigasi dan drainase merupakan salah satu komponen neraca air yang memuat keseluruhan masukan (irigasi dan hujan) dan keluaran air (drainase, perkolasi, *seepage*, evapotranspirasi, dan aliran permukaan) di lahan padi sawah. Model neraca air di lahan padi sawah dapat dijabarkan seperti dalam Persamaan 2 (Khepar *et al.*, 2000) :

$$HP_t = HP_{t-1} + RF_t \pm Q_t - ET_c - P_t - RO_t \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- HP_t : Kedalaman genangan air di sawah pada saat waktu ke-t (mm)
- HP_{t-1} : Kedalaman genangan air di sawah pada waktu ke t-1 (mm)
- RF_t : Curah hujan
- Q_t : Jumlah air irigasi (+) atau drainase (-) yang pada waktu ke-t(mm)
- ET_c : Evapotranspirasi tanaman (mm)

- P_t : Jumlah air yang hilang melalui perkolasi (mm)
- RO_t : Aliran permukaan yang terjadi di lahan sawah, jika ada (mm)
- t : Periode waktu

Parameter curah hujan didapat dari hasil pengukuran dengan menggunakan sensor ECRN-50. Evapotranspirasi acuan (ETo) dihitung dengan Model Hargreaves dan yang dibutuhkan adalah data suhu dan radiasi matahari pada lokasi penelitian yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor suhu, kelembaban dan sensor radiasi yang datanya tersimpan pada data *Logger Decagon EM50*. Perhitungan besarnya nilai evapotranspirasi acuan (ETo) dinyatakan pada persamaan (3) (Allen *et al.*, 2006) :

$$ET_o = 0,0023(T_{rata-rata} + 17,8)(T_{maks} - T_{min})^{1/2}R_a \dots\dots(3)$$

Keterangan:

- R_a : radiasi ekstraterrestrial ($MJ\ m^{-2}\ h^{-1}$)
- T_{maks} : suhu harian maksimum ($^{\circ}C$)
- T_{min} : suhu harian minimum ($^{\circ}C$)
- $T_{rata-rata}$: suhu harian rata-rata ($^{\circ}C$)

Besarnya kebutuhan air tanaman padi dinyatakan pada persamaan (4) (Allen *et al.*, 2006) :

$$ET_c = ET_o \times K_c \dots\dots\dots(4)$$

Dimana:

- ETc : Evapotranspirasi tanaman potensial (mm/hari)
- ETo : Evaporasi tanaman acuan (mm/hari)
- Kc : Koefisien tanaman.

4. Pertumbuhan Tanaman

Pengamatan pertumbuhan tanaman meliputi tinggi tanaman, jumlah anakan per rumpun dan jumlah anakan tanaman padi produktif. Pengamatan tinggi tanaman dan jumlah anakan dilakukan dengan interval 1 minggu sampai terjadinya inisial malai. Jumlah anakan tanaman padi produktif dihitung berdasarkan jumlah anakan tanaman padi yang menghasilkan malai dan bulir padi. Perhitungan anakan produktif dilakukan saat panen. Pengukuran dimulai dari ujung batang sampai ujung daun tertinggi dari tanaman padi dengan cara meluruskan daun tersebut ke atas.

5. Produktivitas Lahan

Produktivitas lahan di ukur pada saat panen adalah Berat gabah kering. Gabah kering adalah hasil gabah bersih setelah dikeringkan dalam oven pada suhu $60^{\circ}C$ selama 24 jam. Berat gabah kering merupakan hasil penimbangan dari gabah kering. Data berat gabah digunakan untuk menghitung produktivitas lahan. Besarnya

produktivitas lahan dinyatakan dalam Persamaan 5 (Thiyagarajan dan Gujja, 2013):

$$\text{Produktivitas (ton/ha) } = \text{Produksi (ton) / Luas Lahan (ha) } \dots\dots\dots(5)$$

Nilai produktivitas air dihitung berdasarkan nilai produktivitas lahan yang dihasilkan selama masa tanam. Besarnya produktivitas dihitung dengan menggunakan persamaan (6)(Thiyagarajan dan Gujja, 2013):

$$\text{Produktivitas air (kg/ha.mm) } = \text{Yield (kg/ha) / } \sum \text{air irigasi (mm)} \dots\dots\dots(6)$$

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Kondisi Pot Percobaan

Media tanam yang digunakan pada penelitian ini adalah tanah dan kompos dengan perbandingan 3 : 1. Tanah yang digunakan adalah jenis tanah bertekstur liat (*clay*) yang dicampur dengan kompos. Pencampuran kompos dengan media tanam berfungsi untuk meningkatkan bahan organik, mengikat air dan memperbaiki aerasi bersama dengan tanah sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik. Data tanah pada pot percobaan terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1 Sifat Fisika Tanah Pot Percobaan

Sifat fisika tanah	Unit	Besaran
Tekstur		
Pasir	%	12
Debu	%	40
Liat	%	48
<i>Bulk density</i>	g/cc	0,64
<i>Particle density</i>	g/cc	2,06
Ruang pori total	% volume	69,1
Kadar air		
pF1	% volume	58,7
pF2	% volume	53,3
pF2,54	% volume	48,0
pF4,2	% volume	24,7
Permeabilitas	cm/jam	0,58

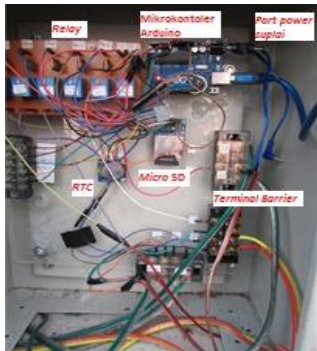
Sumber: Hasil pengujian di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian

Tanah yang telah dicampur kompos dianalisis sifat fisiknya di Laboratorium Fisika Tanah Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumber Daya Lahan Pertanian. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis tanah memiliki tekstur lempung berliat (*clay loam*). Tanah lempung berliat merupakan jenis tanah bertekstur agak halus. Tanah dengan tekstur ini sesuai untuk dijadikan lahan sawah (Djaenudin *et al.*, 2003 dan Kartasapoetra, 2005). Selain itu, jenis tanah bertekstur agak halus memiliki pori mikro yang lebih dominan dan kemampuan menahan air yang relatif tinggi dengan nilai permeabilitas yang agak lambat yaitu 0,58 cm/jam. Kriteria tanah agak

lambat merupakan jenis tanah yang paling sesuai untuk dijadikan lahan sawah irigasi (Djaenudin *et al.*, 2003). Tanah dengan kriteria agak lambat mempunyai daya menahan air tinggi sampai sangat tinggi sehingga dapat mengurangi kehilangan air baik itu berupa drainase dan perkolasi.

4.2. Hardware Sistem Kendali On-Off

Secara umum bagian-bagian pada perangkat kendali *on-off* dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5 Perangkat Sistem Kendali

Pada sistem pengendalian berbasis *on-off*, perangkat keras yang dibuat meliputi rangkaian kendali, rangkaian sensor dan rangkaian catu daya. Pada bagian dalam sistem tampak beberapa komponen diantaranya seperti Arduino Uno ATmega328P, *terminal barrier*, *relay*, modul RTC dan *micro SD*.



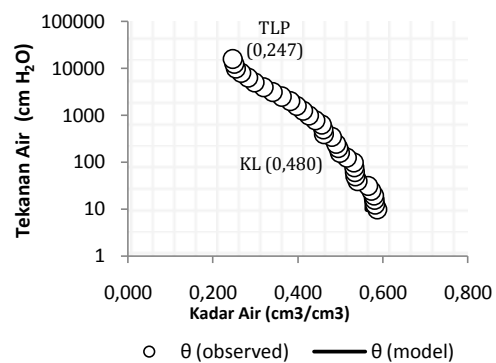
Gambar 6 Sistem Catu Daya, Relay, Terminal Barrier, dan Solenoid Valve

Perangkat sistem kendali ini terbagi atas 2 bagian. Bagian pertama berupa Arduino. Arduino bekerja sesuai dengan perintah yang ada dalam perangkat lunak yang ditanamkan padanya. Perangkat kedua berupa rangkaian catu daya, rangkaian *relay*, rangkaian *terminal barrier* dan rangkaian *solenoid valve*. *Relay* berfungsi untuk mengontrol arus yang masuk dari catu daya. Catu daya yang digunakan berupa adaptor AC-DC 12 volt. Tegangan 12volt digunakan untuk menggerakkan *relay* dan menghidupkan arduino yang dipasang pada *port power suplai* dari arduino. *Relay* diaktivasi tergantung pada sinyal yang diterima dari

mikrokontroler. *Relay* akan mengalirkan arus ke *terminal barrier*. *Terminal barrier* akan membagi arus untuk mengaktifkan masing-masing *solenoid valve*. Secara umum sistem catu daya, sistem *relay* dan *solenoid valve* diperlihatkan oleh Gambar 6.

4.3. Kadar Kelengasan Tanah

Kurva hubungan antara kadar air dengan hisapan matrik (pF) pada percobaan pot dapat dilihat pada Gambar 7. Hasil analisis menunjukkan nilai kelengasan tanah pada kondisi titik layu permanen (pF 4,2) adalah $0,247 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ dan pada kondisi kapasitas lapang adalah $0,480 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ sehingga total air tersedia pada media tersebut adalah (0,233 cm). Interval kadar air yang memungkinkan air diadsorpsi tanaman adalah antara titik layu permanen (pF 4,2) sampai kapasitas lapang (pF 2,54)(Setiawan *et al.*, 2009).

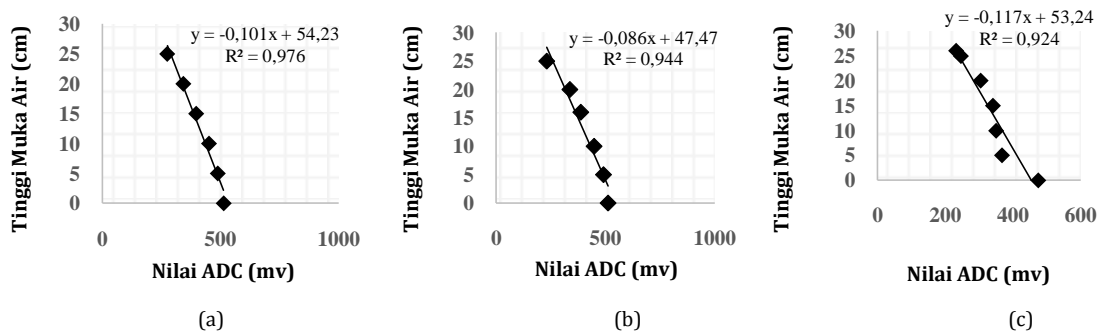


Gambar 7 Kurva Retensi Air dalam Tanah

4.4. Kalibrasi Sensor

Kalibrasi sensor *water level* dilakukan guna mengetahui hubungan tinggi muka air dengan voltase keluaran dari sensor seperti disajikan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan kurva peningkatan tinggi muka air terhadap tegangan (volt) dari *output* sensor. Hasil kalibrasi sensor *water level* 1, 2 dan 3 menunjukkan hubungan yang sangat linier antara nilai tegangan (volt) dari *output* sensor dengan tinggi muka air yaitu dapat dilihat dari nilai koefisien determinasi sensor *water level* 1 adalah 0,9763, *water level* 2 adalah 0,9442 dan *water level* 3 adalah 0,9241. Nilai koefisien determinasi yang dihasilkan dari masing-masing sensor *water level* adalah mendekati 1.

Persamaan linear kalibrasi yang dihasilkan akan digunakan untuk mengkonversi nilai bacaan sensor dari data *Analog Digital Converter* ke persentase tinggi muka air aktual. Hal ini sesuai dengan penelitian Sirait *et al.* (2015), bahwa persamaan linier kalibrasi dapat digunakan untuk mengkonversi nilai bacaan sensor berupa data *Analog Digital Converter* tinggi muka air aktual di lahan.



Gambar 8 Kurva Kalibrasi (a) Sensor Tinggi Muka Air 1; (b) Sensor Tinggi Muka Air 2; (c) Sensor Tinggi Muka Air 3

4.5. Tinggi Muka Air di Pot Percobaan

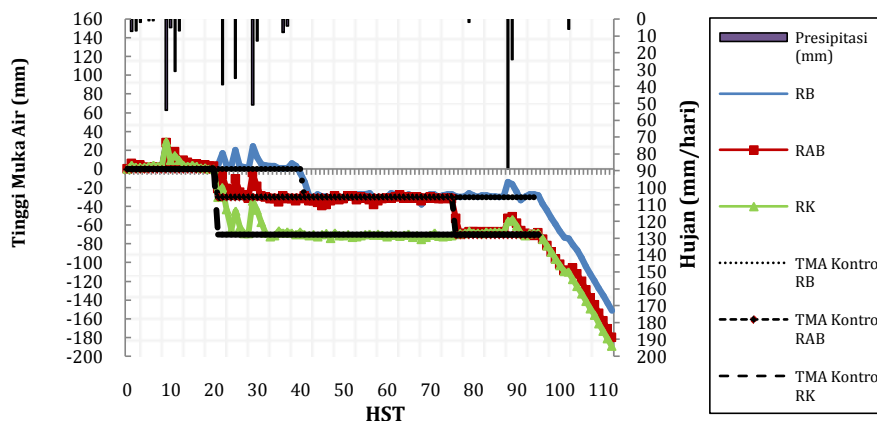
Tinggi muka air aktual yang terjadi pada setiap perlakuan memiliki karakteristik fluktuasi tinggi air yang berbeda. Tinggi muka air aktual di lahan dapat dilihat pada Gambar 9. Pada Gambar 9 dapat dilihat bahwa adanya tinggi muka air di pot yang melewati *set point*. Hal ini terjadi karena faktor curah hujan yang tinggi menyebabkan genangan di pot sehingga irigasi tidak dilakukan dan genangan yang terjadi segera di drainase sesuai perlakuan rejim air. Kontrol memberikan perintah ke *valve* drainase untuk terbuka sehingga tinggi muka air dapat dipertahankan pada tinggi muka air yang diinginkan. Secara umum, sistem kontrol dapat mempertahankan tinggi muka sesuai dengan *water level* kontrol yang telah di *setting* di algoritma kendali. Sistem kontrol sangat efisien dalam mengendalikan tinggi muka air sesuai dengan yang dibutuhkan tanaman. Hal ini sejalan dengan penelitian Pfitscher *et al.* (2012) bahwa sistem kontrol tinggi muka air yang telah dikembangkan dapat mengefisienkan penggunaan air untuk tanaman padi.

4.6. Kelembaban Tanah

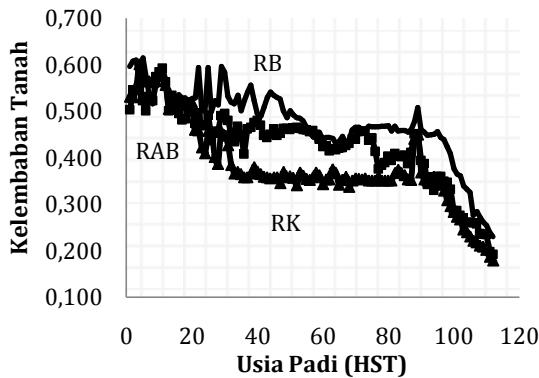
Pada Gambar 10 dapat dilihat bahwa kelembaban tanah semakin menurun dari awal tanam sampai panen. Kelembaban tanah pada semua perlakuan

belum mencapai titik kritis kelembaban tanah karena kelembaban tanah dari awal tanam sampai fase pematangan bulir masih berada diantara kapasitas lapang ($0,247 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$) dan titik layu permanen ($0,480 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$), kecuali fase inisial dan menjelang panen. Pada fase inisial, kelembaban tanah pada saat terjadi genangan berada diatas kapasitas lapang (basah). Arif *et al.* (2014) menyatakan bahwa pada fase inisial kelembaban tanah di level basah diperlukan untuk menyediakan air yang cukup untuk pertumbuhan tanaman. Pada saat menjelang panen kelembaban tanah berada dibawah titik layu permanen karena lahan dibiarkan kering.

Kelembaban tanah yang paling rendah terdapat pada perlakuan rejim kering, hal ini disebabkan pemberian air irigasi yang sangat kecil mengakibatkan tanah menjadi kering sehingga kelembaban tanah juga rendah. Pada perlakuan rejim agak basah, kelembaban tanahnya paling mendekati nilai kelembaban tanah pada kondisi kapasitas lapang, sehingga hal ini sangat baik untuk tanah dalam menyediakan air untuk tanaman, karena tingkat kemampuan tanah untuk melewati air sangat dipengaruhi oleh kelembaban tanah. Selain itu, kelembaban tanah juga menentukan seberapa banyak air yang mampu diserap oleh tanaman (Arif *et al.*, 2014).



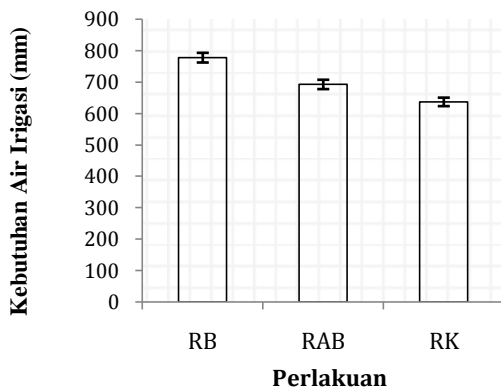
Gambar 9 Tinggi Muka Air pada Setiap Perlakuan Rejim Air



Gambar 10 Kelembaban Tanah Selama Musim Tanam

4.7. Jumlah Air Irigasi

Pemberian air irigasi ke tiap pot dilakukan mulai saat tanam hingga menjelang panen. Setelah dianalisis dihasilkan jumlah kebutuhan air irigasi tanaman padi pada masing-masing pot. Jumlah air irigasi yang diberikan bervariasi tergantung dari perlakuan rejim airnya seperti terlihat pada Gambar 11.



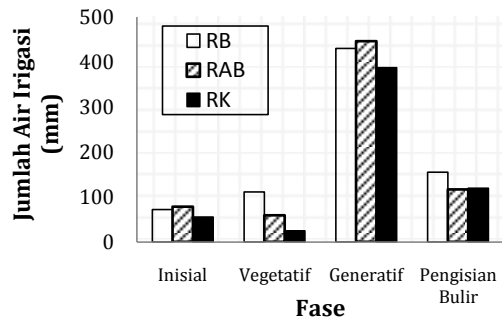
Gambar 11 Jumlah Air Irigasi Tiap Perlakuan Rejim Air

Gambar 11 menunjukkan bahwa perlakuan rejim basah paling boros dalam pemakaian air irigasi dibandingkan perlakuan rejim air lainnya. Hal tersebut disebabkan karena pada fase inisial dan vegetatif pot dibiarkan macak-macak dan terkadang terjadi genangan. Dalam keadaan macak-macak penguapan air yang terjadi juga akan relatif tinggi karena untuk menjaga air tetap pada keadaan macak-macak maka diperlukan air irigasi yang lebih banyak. Rejim kering menggunakan air irigasi paling sedikit sehingga menghemat air hingga 22 % sedangkan rejim agak basah hanya menghemat air 11 %.

Berdasarkan rentang standar deviasi pada Gambar 11 di atas terlihat bahwa perlakuan rejim basah berbeda nyata dengan perlakuan rejim

kering tapi tidak berbeda nyata dengan perlakuan rejim agak basah. Perlakuan rejim basah dengan rejim agak basah tidak berbeda nyata.

Pada Gambar 12 terlihat bahwa pada tiap-tiap fase pertumbuhan tanaman, pemberian air irigasi pada fase generatif jauh lebih besar dari fase-fase pertumbuhan lainnya. Hal ini disebabkan faktor tidak adanya curah hujan yang terjadi pada fase tersebut.



Gambar 12 Jumlah Pemberian Air Irigasi pada Tiap Fase Pertumbuhan

Berdasarkan hasil analisis perhitungan efisiensi pemakaian air dari semua perlakuan adalah 70-73 % seperti terlihat pada Tabel 2.

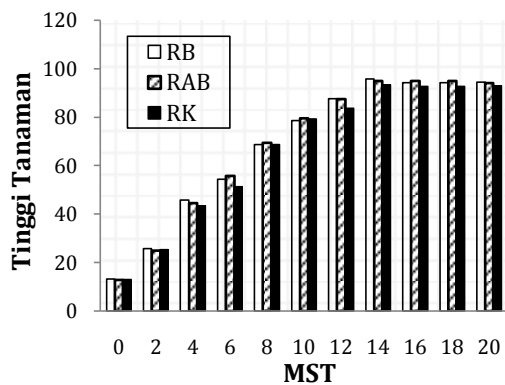
Tabel 2 Efisiensi Pemakaian Air

Perlakuan	Inflow		Outflow		Ea (%)
	Hujan (mm)	Irigasi (mm)	ETc (mm)	Drainase (mm)	
RB	386,4	777,4	810,1	419,8	70
RAB	386,4	692,0	784,3	364,8	73
ReK	386,4	604,8	703,5	362,4	71

4.8. Pertumbuhan Tanaman

1. Tinggi Tanaman

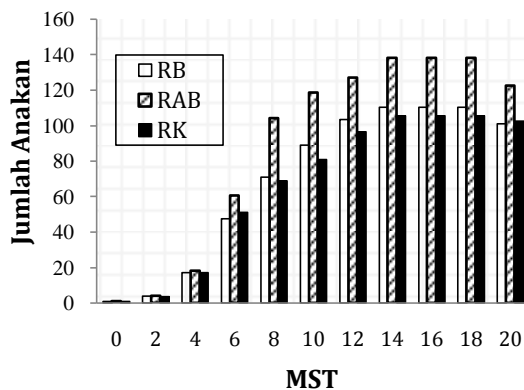
Gambar 13 menunjukkan laju pertumbuhan tinggi tanaman mulai dari awal tanam sampai panen. Jika dilihat dari parameter tinggi tanaman, pada fase inisial tinggi tanaman setiap perlakuan relatif sama. Pada fase vegetatif, tinggi tanaman tiap perlakuan mulai kelihatan perbedaannya dengan tinggi tanaman tertinggi terdapat pada perlakuan rejim agak basah dan rejim kering menyusul Rejim Basah. Tinggi tanaman tertinggi terjadi pada minggu ke-14 (fase generatif). Pada fase generatif, tanaman padi terhenti pertambahan tingginya karena unsur hara dan hasil fotosintesis yang dihasilkan digunakan untuk perkembangan anakan dan pengisian bulir padi.



Gambar 13 Tinggi Tanaman

2. Jumlah Anakan

Jumlah anakan setiap perlakuan dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14 Jumlah Anakan

Gambar 14 menunjukkan bahwa jika dilihat dari jumlah anakan, perlakuan rejim agak basah perkembangan anakannya sangat pesat dibandingkan perlakuan lainnya. Jumlah anakan terlihat pesat perbedaannya dimulai dari fase vegetatif dengan anakan tertinggi terdapat pada perlakuan rejim agak basah diikuti perlakuan rejim kering dan terendah pada perlakuan rejim basah. Tinggi air pada perlakuan rejim basah yang dibiarkan basah dan terkadang terjadi genangan menyebabkan tanah dalam kondisi jenuh (berada di atas kapasitas lapang) sehingga aerasi tanah terhambat dan mengakibatkan pertumbuhan tanaman juga terhambat. Sebaliknya, tinggi muka air pada perlakuan rejim agak basah dan rejim kering yang dipertahankan pada level 30 dan 70 mm di bawah permukaan tanah sangat memungkinkan untuk tanah teraerasi dan meningkatkan aktivitas mikroorganisme sehingga akar tanaman secara optimal mampu menyerap unsur hara yang juga dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman padi. Kalsim *et al.* (2007) dan Lin *et al.* (2011) menyatakan bahwa pengeringan lahan pada fase vegetatif dapat menghasilkan aerasi yang baik untuk daerah

perakaran dan memberikan suasana yang baik untuk pertumbuhan tanaman.

Pada Gambar 14 juga dapat dilihat bahwa jumlah anakan tertinggi dari awal tanam sampai panen terdapat pada perlakuan rejim agak basah yaitu 138 anakan dan terendah terdapat pada perlakuan rejim kering yaitu 106 anakan. Tingginya jumlah anakan pada perlakuan rejim agak basah disebabkan karena kondisi tanah yang dibiarkan berada pada kapasitas lapang menyebabkan aerasi yang baik dan kadar oksigen yang diperoleh akar lebih banyak sehingga pertumbuhan akar menjadi baik dan jumlah anakan yang dihasilkan juga tinggi. Selain itu, campuran kompos pada tanah juga sangat mempengaruhi pertumbuhan akar. Menurut Lin *et al.* (2011), pertumbuhan akar dipengaruhi oleh irigasi aerobik dan pupuk organik. Sebaliknya, tinggi tanaman yang dipertahankan selalu dalam kekeringan menyebabkan terjadinya kekurangan ketersediaan air dan menghambat proses metabolisme. Hal ini sejalan dengan penelitian Asmara (2011), bahwa kekeringan akan menyebabkan terganggunya proses metabolisme tanaman sehingga pertumbuhan dan perkembangan tanaman menjadi terhambat.

4.9. Hasil Produksi Gabah

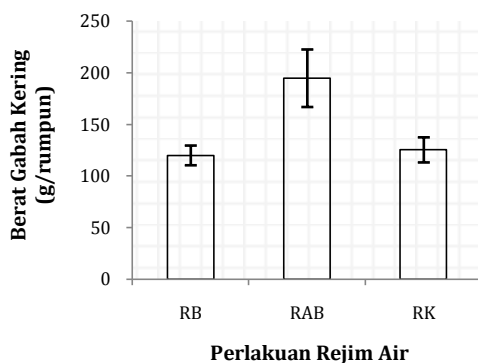
Pada Tabel 3 dapat dilihat bahwa hasil produksi gabah kering pada perlakuan rejim agak basah jauh lebih tinggi dibandingkan perlakuan lainnya yaitu mencapai 194,7 g/rumpun diikuti perlakuan rejim kering 125,3 g/rumpun dan rejim basah 119,95 g/rumpun. Jika hasil produksi gabah dikonversikan dalam ton/ha, maka hasil produksi gabah pada semua perlakuan adalah RA 13,3 ton/ha, RAB 21,6 ton/ha dan RK 13,9 ton/ha. Konversi satuan hasil produksi dalam gr/rumpun menjadi ton/ha berdasarkan asumsi jarak tanam yang diterapkan pada penelitian percobaan pot ini yaitu 30 x 30 cm. Perbedaan gabah kering tiap perlakuan ini disebabkan oleh pengaruh perbedaan rejim air dari masing-masing perlakuan. Adanya siklus pembasahan dan pengeringan pada perlakuan rejim agak basah dapat meningkatkan aerasi tanah, sehingga oksigen yang dipasok ke akar cukup untuk meningkatkan aktivitas mikroorganisme dan penyerapan nutrisi yang digunakan untuk pembentukan jumlah anakan dan pembentukan bulir. Hal ini sejalan dengan penelitian Shao, *et al.* (2014) bahwa kombinasi pembasahan dan pengeringan pada tanah dapat meningkatkan aerasi antara tanah dan atmosfer, sehingga oksigen yang dipasok ke sistem akar cukup untuk menghasilkan nutrisi yang sangat penting untuk mendukung pertumbuhan padi. Selain itu, jumlah

anakan produktif per rumpun juga mempengaruhi produksi gabah. Semakin sedikit jumlah anakan produktif per rumpun maka akan menurunkan hasil tanaman. Hal ini sesuai dengan pernyataan Uphoff (2008) bahwa hasil tanaman padi ditentukan oleh komponen hasil antara lain jumlah anakan produktif.

Tabel 3 Komponen Hasil Tanaman

Perlakuan Rejim Air	Jumlah Anakan Produktif	Berat Gabah	Berat Gabah
		Kering Giling (g/rumpun)	Kering Giling (ton/ha)
RB	101	119,9	13,3
RAB	123	194,7	21,6
RK	104	125,3	13,9

Berdasarkan rentang standar deviasi data pada Gambar 15, perbedaan hasil produksi berbeda nyata antara perlakuan rejim agak basah dengan perlakuan lainnya, sedangkan perlakuan rejim basah dengan rejim kering tidak berbeda nyata. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa produksi gabah rejim basah dan rejim kering relatif sama.



Gambar 15 Hasil Produksi pada Berbagai Perlakuan Rejim Air

Tabel 4 Produktivitas Air

Perlakuan Rejim Air	Jumlah Air Irigasi (mm)	Berat Gabah Kering Giling (kg/rumpun)	Produktivitas air rata-rata (kg/m ³)
RB	777,38	0,1199	1,71
RAB	692,35	0,1947	3,16
RK	636,81	0,1253	2,43

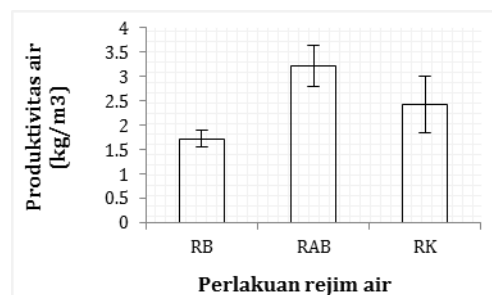
4.10. Produktivitas Air

Produktivitas air yang dihasilkan dari awal tanam sampai panen bervariasi pada setiap perlakuan. Produktivitas air merupakan rasio antara gabah kering giling 1 m³ air yang digunakan (Bouman, *et al.* 2007). Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa perlakuan rejim agak basah memiliki nilai produktivitas air paling tinggi yaitu 3,16 kg/m³ dan terendah pada perlakuan rejim basah 1,71

kg/m³. Secara keseluruhan, produktivitas air pada semua perlakuan cukup tinggi. Hal ini disebabkan karena kombinasi pembasahan dan pengeringan pada semua perlakuan sehingga mengurangi penggunaan air yang pada akhirnya dapat meningkatkan produktivitas air. Hal ini sesuai dengan penelitian Yea *et al.*, (2013) bahwa kombinasi pembasahan dan pengeringan (AWD) dapat mengurangi air masukan dan sebaliknya dapat meningkatkan produktivitas air.

Jika nilai produktivitas air dibandingkan dengan konsumsi air dan hasil produksi bahwa nilai produktivitas air berbanding lurus dengan hasil produksi dan berbanding terbalik dengan konsumsi air. Perlakuan rejim agak basah menghasilkan produktivitas air yang paling tinggi karena produksi gabah pada perlakuan ini juga tinggi sehingga produktivitas air yang dihasilkan juga tinggi. Produktivitas air meningkat seiring dengan meningkatnya hasil produksi gabah (Yea *et al.*, 2013).

Berdasarkan nilai rata-rata dan rentang standar deviasi yang dihasilkan, perlakuan rejim air menunjukkan pengaruh signifikan terhadap produktivitas air seperti terlihat pada Gambar 16. Dapat disimpulkan bahwa nilai produktivitas setiap perlakuan berbeda nyata.



Gambar 16 Produktivitas Air

V. KESIMPULAN

Sistem kontrol *on-off* dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno ATmega328P dapat beroperasi sesuai algoritma kendali dan efektif digunakan untuk mengendalikan tinggi muka air sesuai dengan kebutuhan tanaman. Perlakuan rejim air mempengaruhi pertumbuhan tanaman, jumlah anakan, hasil produksi dan produktivitas air. Pemberian air yang paling optimum terdapat pada perlakuan rejim agak basah dengan hasil produksi rata-rata pot percobaan adalah 194,7 g/rumpun dan produktivitas air 3,16 kg/m³.

Secara teknis sistem kontrol tinggi muka air yang dikembangkan cukup menjanjikan dengan hasil pertumbuhan tanaman yang sangat memuaskan. Untuk pelaksanaan dilapangan tentu tidak mudah

dan diperlukan beberapa penyesuaian berdasarkan kondisi lapangan setempat. Untuk itu, penelitian skala lapang sangat disarankan untuk dikaji lebih mendalam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Pendidikan Tinggi melalui Hibah Penelitian Kerjasama Luar Negeri dan Publikasi Ilmiah Tahun 2015. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Bapak Rudianto yang memberikan waktunya untuk berdiskusi terkait analisis tanah, Bapak Supandi yang memberikan dukungan persiapan peralatan penelitian, Radi Purbakawaca dan Nur Aini Iswati Hasanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Allen, R.G., L.S. Pereira., D. Raes., and M. Smith. 2006. *FAO irrigation and drainage paper no. 56: crop evapotranspiration (guidelines for computing crop water requirements)*. Rome (IT): FAO of UN. 64.
- Arif, C., B.I. Setiawan., dan M. Mizoguchi. 2014. Penentuan kelembaban tanah optimum untuk budidaya padi sawah SRI (System of Rice Intensification) menggunakan algoritma genetika. *Jurnal Irigasi*, Vol. 9(1): 36-37.
- Asmara, R.N. 2011. Pertumbuhan dan Hasil Sepuluh Kultivar Padi Gogo pada Kondisi Cekaman Kekeringan dan Responnya Terhadap Pemberian Abu Sekam. Program Studi Agronomi-Program Pascasarjana. Universitas Jenderal Soedirman. Purwokerto.
- Azis, S. 2011. Analysis of Irrigation Water Requirement for Anticipating Global Climate Change. *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, Article No. JBASR-450-8.
- Balai Irigasi. 2007. Penelitian Irigasi Hemat Air pada Budidaya Padi dengan Metode SRI di Laboratorium Lapangan (Pot Trial) Periode I (MT I 2007). Balai Irigasi, Puslitbang Sumberdaya Air, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum, Bekasi.
- Berengena, J. and P. Gavilan. 2005. Reference evapotranspiration estimation in a highly advective semiarid environment. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, Vol. 131(2):147 – 163.
- Bouman, B.A.M., R.M. Lampayan, T. Toung. 2007. Water management in irrigated rice: Coping with water scarcity (Bill Hardy, Ed.) (p. 59). Los Baños, Philippines: International Rice Research Institute, IIRI.
- Clemmens, A.J and D.J. Molden. 2007. Water Uses and productivity of irrigation systems. *Irrigation Science* Vol. 25:247-261.
- Da Silva, J., S. Kernaghan., and A. Luque. 2012. A systems approach to meeting the challenges of urban climate change. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 4(2): 125-145.
- Dass, A and S. Dhar. 2014. Irrigation management for improving productivity nutrient uptake and water-use efficiency in system of rice intensification: a review. *Agric. Res. New Series*, Vol. 35 (2): 107-122.
- Djaenudin, D., H. Marwan., H. Subagyo, A. Mulyani dan N. Suharta. 2003. *Kriteria Kesesuaian Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Balai Penelitian Tanah, Badan Litbang Pertanian.
- Iskandar, M.A., Y. Susanti, S.K. Saptomo., dan B.I. Setiawan. 1999. Groundwater level control with a simple fuzzy control system. *Buletin Keteknikan Pertanian*, Vol. 13 (3).
- Kartasapoetra, A.G. 2005. *Teknologi Konservasi Tanah dan Air*. Edisi 2 cetakan 5. PT Rineka Cipta. Jakarta.
- Kalsim, D.K., Yushar, Subari, M.D. Joubert, dan H.A. Sofiyuddin. 2007. Rancangan Operasional Irigasi untuk Pengembangan SRI (Irrigation Operational Design for SRI Development). Paper disajikan dalam Seminar KNIICID. Bandung.
- Kasim, M. 2005. Penerapan budidaya SRI (the System of Rice Intensification) untuk meningkatkan produksi padi di Indonesia. Makalah pada pelatihan nasional peningkatan mutu SDM Perguruan Tinggi dalam meningkatkan sistem pertanian berkelanjutan. Fakultas Pertanian Unand bekerja sama dengan Depdiknas.
- Khepar, S.D., A.K. Yadav., S.K. Sondhi., and M. Siag. 2000. Water balance model for paddy fields under intermittent irrigation practices. *Irrig. Sci.*, 19: 199–208.
- Lin, X., D. Zhu., and X. Lin. 2011. Effects of water management and organic fertilization with SRI crop practices on hybrid rice performance and rhizosphere dynamics. *Paddy and Water Environment* Vol. 9: 33-39.
- Melkonyan, A. 2015. Climate change impact on water resources and crop production in Armenia. *Agricultural Water Management* Vol. 161: 86–101.
- Mutakin, J. 2007. Budidaya dan keunggulan padi organik budidaya SRI. <http://www.garutkab.go.id/downloadfiles/articl/artikel%20S.R.I..pdf>. (diakses 11 Juni 2014).
- Pfitscher, L.L., D.P. Bernardon., L.M. Kopp., M.V.T. Heckler., and J. Behrens. 2012. Automatic control of irrigation systems aiming at high energy efficiency in rice crops. *Proceedings of the 8 th International Caribbean Conference on Devices Circuits and Systems (ICDCS)*, pp.1-4, 2012.
- Purwasasmita, M. dan A. Sutaryat. 2012. *Padi SRI Organik Indonesia*. Penebar Swadaya.

- Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat [Puslitbangtanak]. 2004. Tanah Sawah dan Teknologi Pengelolaannya. Bogor (ID): Puslitbangtanak Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Departemen Pertanian.
- Roy, S. and P.S. Birht. 2012. System of Rice Intensification: a Possible way to sustainable rice production. *Int. J. Agric. Env. Biotech*, Vol. 5(2): 171-177, Juni, 2012.
- Saptomo, S.K., Y. Chadirin., B.I. Setiawan., dan H.A. Sofiyuddin. 2012. Peningkatan efisiensi air irigasi dengan introduksi sistem otomatis pada sistem irigasi di 14 lahan produksi pangan. *Prosiding Pertemuan Ilmiah Tahunan Himpunan Ahli Teknik Hidraulik Indonesia*.
- Setiawan, B.I., S.K. Saptomo., dan R.S.B. Wasposito. 2001^a. A model for controlling groundwater in tidal wetland agricultures. 2nd IFAC-CIGR Workshop on Intelligent Control for Agricultural Applications. Bali, 22-24 August 2001.
- Setiawan, B.I., Y. Sato., S.K. Saptomo., and E. Saleh. 2001^b. Development of water control for tropical wetland agriculture. International conference sustainable soil management for environmental protection - soil physical aspect. Firenze 2-7 July 2001.
- Setiawan, B.I., Y. Sato, S.K. Saptomo., and E. Saleh. 2002. Development of water control for tropical wetland agriculture. *Advances in GeoEcology*, Vol. 35: 259-266.
- Setiawan, B.I., S.K. Saptomo., and C. Arif. 2009. *Teknik Irigasi dan Drainase Berwawasan Lingkungan*. Bogor: IPB Press.
- Setyanto, P dan R.A. Bakar. 2005. Methane emission from paddy fields as influenced by different water regimes in central java. *Indonesian Journal of Agricultural Science* Vol. 6 (1):1-9.
- Shao, G.C., S. Deng, N. Liu., S.E. Yu., M.H. Wang, and D.G. She. 2014. Effects of controlled irrigation and drainage on growth, grain yield and water use in paddy rice. *European Journal of Agronomy* Vol. 53: 1-9.
- Sirait, S., S.K. Saptomo., dan M.Y.J. Purwanto. 2015. Rancangan bangun sistem otomatisasi irigasi pipa lahan sawah berbasis tenaga surya. *Jurnal Irigasi*. Vol. 10 (1):21-32.
- Sofiyuddin, H.A., M.D. Joubert, dan Subari. 2012. Potensi Penghematan Air di Lahan Sawah dengan kendali *On-Off* dan *Fuzzy*. Kolokium Hasil Litbang Sumber Daya Air. Puslitbang SDA Kementerian PU.
- Subari., M.D. Joubert., H.A. Sofiyuddin., dan J. Triyono. 2012. Pengaruh perlakuan pemberian air irigasi pada budidaya SRI, PTT dan konvensional terhadap produktivitas air. *Jurnal Irigasi*, Vol. 7(1): 28-42.
- Tabbal, D.F., B.A.M. Bouman., S.I. Bhuiyan., and E.B. Sibayan. 2002. On-farm strategies for reducing water input in irrigated rice: case studies in the Philippines. *Agric Water Management*, Vol. 56: 93-112.
- Thiyagarajan, T.M dan B. Gujja. 2013. *Transforming Rice Production with SRI (System Rice Intensification) Knowledge and Practice*. National Consortium on Sri (NCS): AgSri.
- Uphoff, N., S. Rafaralaby., dan J. Rabenandrasana. 2002. What is the system of rice intensification. In: The Assessment of the System of Rice Intensification (SRI). *Proceedings of an International Conference*, Sanya, China, April 1-4, 2002.
- Uphoff, N. 2008. *What is SRI? Some considerations*. Presentation at the 3rd National Symposium on SRI held at Tamil Nadu Agricultural University, Coimbatore, December 3-5, http://sriindia.110mb.com/documents/3rd_symposium_ppts/Uphoff.pdf.
- Van Genuchten, M.T.H. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* Vol. 44: 892-898.
- Wardhana, L. 2006. *Belajar Sendiri Mikrokontroler AVR Seri ATmega8535 Simulasi, Hardware, dan Aplikasi*. Penerbit Andi: Yogyakarta.
- Yea, Y., X. Liang, Y. Chen., J. Liu., J. Gu., R. Guo., and L. Li. 2013. Alternate wetting and drying irrigation and controlled-release nitrogen fertilizer in late-season rice. Effects on dry matter accumulation, yield, water and nitrogen use. *Field Crops Research* Vol. 144: 212-224.