

Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan (JST) untuk Identifikasi Air - Lingkungan - Tanaman pada Budidaya Padi Sawah dengan Perlakuan *Fine Bubble Technology*

Derys Andra Alfarys¹, Chusnul Arif^{1*}, Aris Purwanto²

¹Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 16680, Indonesia,

²Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Bogor, 16680, Indonesia,

*penulis koresponden: chusnul_arif@apps.ipb.ac.id

Abstrak: Dalam usaha peningkatan produksi padi, faktor-faktor lingkungan yang ada di sekitar tanaman perlu diperhatikan. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap produktivitas padi yaitu jumlah dan kualitas air yang dialirkan harus disesuaikan dengan kebutuhan padi. Kandungan oksigen yang terdapat dalam air juga perlu diperhatikan karena kebutuhannya untuk proses metabolisme dan pertumbuhan padi. Selain itu, faktor lingkungan lain seperti evapotranspirasi tanaman, suhu, kelembapan, dan konduktivitas listrik tanah juga dapat mempengaruhi produktivitas padi. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model hubungan antara tinggi muka air, oksigen terlarut, evapotranspirasi tanaman dengan produktivitas padi dengan Jaringan Saraf Tiruan (JST). Model JST digunakan untuk membantu memodelkan kompleksitas pengaruh faktor-faktor lingkungan tersebut sebagai *input* terhadap produktivitas padi sebagai *output*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan 4 skenario perlakuan berdasarkan tinggi muka air, sistem pengaliran irigasi, dan penggunaan teknologi *ultra fine bubble* untuk meningkatkan oksigen terlarut. Hasil pemodelan JST menunjukkan bahwa model yang dikembangkan mampu menduga pertumbuhan tanaman dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9991. Hasil ini menunjukkan bahwa model dapat digunakan dan dapat dijadikan acuan untuk optimasi sistem irigasi berdasarkan faktor lingkungan.

Diterima: 15 September 2024
Diperbaiki: 7 Oktober 2024
Disetujui: 10 Oktober 2024

Kata kunci: Jaringan Saraf Tiruan (JST); produktivitas padi; sistem irigasi; *ultra fine bubble*;

1. Pendahuluan

Menurut BPS pada saat ini jumlah penduduk Indonesia terdapat lebih dari 275 juta jiwa. Diprediksi akan terjadi ledakan penduduk Indonesia hingga 500 juta jiwa dalam kurun waktu kurang dari 50 tahun dengan peningkatan penduduk mencapai 1,25% [1]. Pertumbuhan penduduk ini menyebabkan peningkatan kebutuhan pangan. Beras yang merupakan makanan pokok lebih dari 95% penduduk Indonesia harus selalu terjamin ketersediaannya [2]. Namun diprediksi bahwa peningkatan jumlah penduduk tidak sebanding dengan peningkatan produksi beras setiap tahunnya yang hanya mencapai 1%. Selain itu pertumbuhan penduduk ini juga beriringan dengan peningkatan kebutuhan air terutama pada irigasi pertanian. Hal ini dikarenakan sistem irigasi sebagian besar petani masih menggunakan sistem penggenangan secara terus menerus. Sedangkan ketersediaan air semakin berkurang.

Produktivitas tanaman, terutama padi, sangat dipengaruhi oleh ketersediaan air. Jumlah air yang diberikan pada tanaman harus disesuaikan dengan kebutuhannya, yang umumnya diukur berdasarkan evapotranspirasi [3]. Baik sistem irigasi permukaan maupun bawah permukaan perlu dievaluasi untuk mencapai efisiensi penggunaan air. Selain kuantitas, kualitas air juga sangat krusial. Kandungan unsur hara, terutama oksigen terlarut, sangat penting untuk pertumbuhan tanaman. Oksigen terlarut dalam air membantu proses metabolisme sel tanaman [4]. Karena difusi alami seringkali tidak mencukupi, teknologi seperti *fine bubble* dapat digunakan untuk meningkatkan kadar oksigen terlarut dalam air irigasi. Teknologi *fine bubble* terbukti dapat meningkatkan fisiologi tanaman, menurunkan penggunaan pupuk dan emisi gas metan [5].

Penggunaan teknologi ini mempengaruhi parameter lingkungan disekitar tanaman seperti suhu dan kelembaban tanah termasuk evapotranspirasi yang terjadi. Untuk mengidentifikasi perubahan parameter lingkungan terhadap kondisi tanaman perlu dikembangkan model identifikasi. Tantangan dalam pengembangan model ini adalah kompleksitas hubungan antara parameter lingkungan – air – tanaman yang dicirikan dengan *non-linearity* [6]. Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan metode yang tepat untuk mengidentifikasi sistem yang kompleks dan non-linear. Beberapa penelitian tentang aplikasi JST untuk identifikasi pertumbuhan tanaman terhadap telah banyak diterapkan, salah satunya dilakukan oleh Mohamed et.al [7]. JST merupakan model adaptif yang dapat mengubah strukturnya untuk memecahkan masalah berdasarkan informasi eksternal maupun internal yang mengalir melalui model tersebut.

Model identifikasi dengan JST untuk pendugaan pertumbuhan tanaman sebagai akibat perlakuan *fine bubble technology* belum pernah dilakukan. Berdasarkan hal tersebut penelitian ini bertujuan: (1) mengidentifikasi hubungan sistem irigasi permukaan dan bawah permukaan dengan *fine bubble technology* dan tanpa *fine bubble technology* terhadap produktivitas tanaman dan air, dan (2) mengembangkan model identifikasi hubungan antara faktor lingkungan dan air dengan produktivitas tanaman menggunakan model JST.

2. Metode

Penelitian dilaksanakan pada bulan Februari hingga bulan Juni 2024. Penelitian ini dilaksanakan di Kinjiro Farm, Jalan Hegarmanah IV, RT 01/RW 08, Kelurahan Gunung Batu, Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor yang terletak pada 6°35'34.55"LS dan 106°46'17.39"BT.

2.1. Material

Alat yang digunakan pada penelitian berupa bak penampung air dengan kapasitas 125 liter sebanyak 6 buah, 4 petak lahan dengan luas masing-masing 2 m x 2 m, 10 buah kran air, 8 buah meteran air, 4 buah *Automatic Water Level Control*, pipa PVC dan sambungan pipa, penggaris, wadah penyemaian benih, sebuah pompa air, *Dissolved Oxygen* meter (DO meter), dan sebuah *nozzle ultra fine bubble*. Bahan yang digunakan dalam penelitian berupa tanah, pupuk urea, SP36, dan KCL, benih padi, air irigasi. Selain itu, digunakan juga beberapa program software untuk mendukung perhitungan dan analisis data berupa *ECH2O Utility*, *Ms. Word*, *Ms. Excel* yang dilengkapi pemrograman JST, Sketch up, dan ArcGIS. Data yang digunakan untuk perhitungan dan pengolahan diperoleh dari stasiun cuaca, *data logger EM50*, sensor 5-TE untuk mengukur suhu, kelembaban, dan konduktivitas listrik tanah (EC).

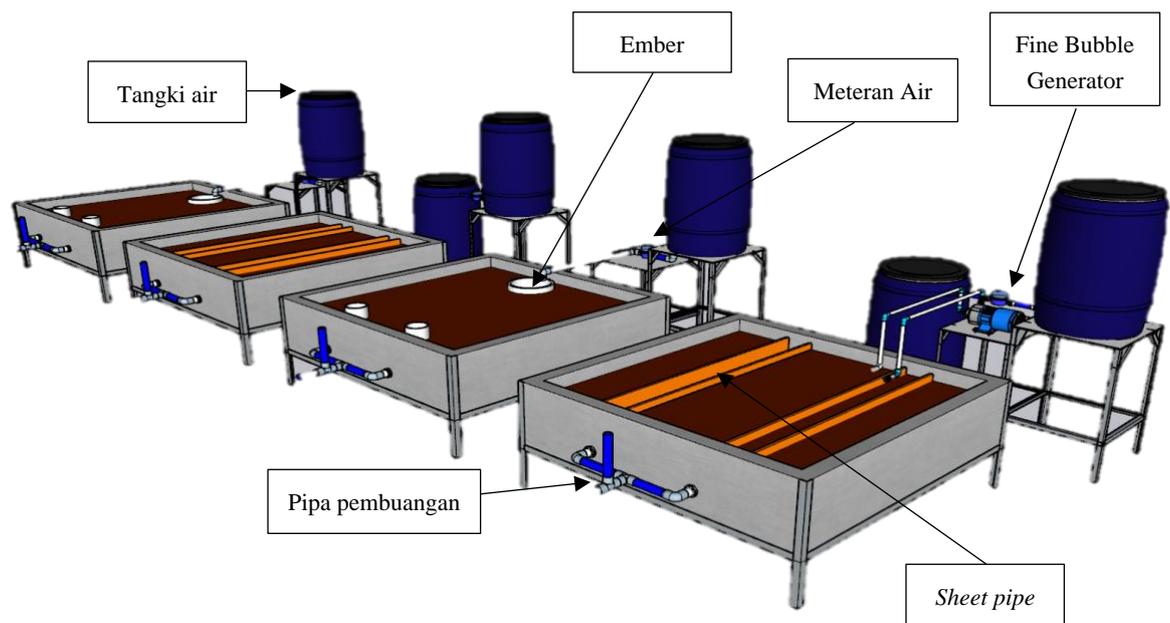
2.2. Prosedur Penelitian

2.2.1 Persiapan Sistem

Penelitian dilakukan pada suatu area lahan terbuka dengan luas 11 m x 3,7 m. Selanjutnya dilakukan penginstalasian sistem pengairan dan media tanam menggunakan alat dan bahan yang sudah disiapkan. Penanaman padi dilakukan pada 4 petak atau bedengan dengan ukuran 1 petaknya adalah 2 m x 2 m. Pada penelitian ini dilakukan 4 skenario berbeda

terhadap sistem pengairan dan penggunaan teknologi *fine bubble* yang disebut treatment atau TA. Skenario yang diterapkan yaitu TA 1 menggunakan sistem irigasi bawah permukaan dan dipasang *fine bubble generator* dengan set point 0-7 cm, TA 2 menggunakan sistem irigasi konvensional dengan set point 4-7 cm, TA 3 menggunakan sistem irigasi bawah permukaan dengan set point -5-0 cm, dan TA 4 menggunakan sistem konvensional dengan set point 2-4 cm.

Sumber sistem pengairan berasal dari tangki penampungan air. Kran dipasang dengan pipa dari tangki untuk mengatur air yang keluar. Pada pipa yang sama juga dipasang meteran air untuk mengukur debit air yang keluar. Pada TA 1 dipasang *fine bubble generator* untuk menginjeksikan oksigen ke air. Air di petak akan dihisap pompa kemudian dikeluarkan lagi di petak yang sama. Pada TA 1 dan TA 3 dengan sistem irigasi bawah permukaan dipasang *sheet pipe* untuk mengalirkan air melalui lubang-lubang pipa. Sedangkan pada TA 2 dan TA 4 dengan sistem irigasi konvensional akan dipasang ember untuk memantau ketinggian air. Di sisi berlawanan dipasang 2 pipa serta jaring yang terhubung dengan bagian pengontrol ketinggian air. Pipa dan jaring tersebut digunakan untuk menyaring tanah serta material agar air dapat mengalir tanpa tersumbat. Kemudian menyambung dengan pipa keluaran yang berfungsi untuk membuang air ketika tinggi muka air melebihi acuan yang ditentukan.



Gambar 1. Desain eksperimen sistem irigasi yang berbeda.

2.2.2 Budidaya Tanaman Padi

Pembudidayaan tanaman padi dilakukan dengan beberapa tahap yaitu penyemaian benih, persiapan lahan, penanaman padi, pemeliharaan, dan pemanenan. Benih padi yang digunakan dalam penelitian ini adalah padi varietas IPB 3S. Penanaman padi di lahan dilakukan dengan metode *System of Rice Intensification* (SRI). Bibit ditanam dengan jarak 30 cm x 30 cm yang disesuaikan dengan kondisi tempat [8]. Satu lubang tanam diisi dengan 1 bibit padi. Bibit ditanam dengan posisi akar tanaman membentuk huruf L agar dapat tumbuh kuat. Pada waktu panen, produksi gabah dikonversi dalam satuan ton/ha.

2.2.3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengukuran tinggi muka air diukur pada ember penampungan dilakukan setiap hari. Data sensor yang dibutuhkan meliputi kelembaban, suhu, dan konduktivitas listrik tanah (EC). Data ini diperoleh dari AWS (*automatic weather station*) dan GS-3 sensor yang dipasang di lokasi.

Pada penelitian ini, perlu evapotranspirasi aktual (ETa) yang nilainya tergantung koefisien tanaman (Kc) [9]. Nilai ETa diperoleh dengan analisis keseimbangan air yang digunakan yaitu terdapat pada **Persamaan (1)** dan **(2)**.

$$\Delta WL = WL_i - WL_{i-1} \quad (1)$$

Dengan:

i : Hari ke-1,2,3,..dst.

ΔWL : Selisih ketinggian air kontrol (cm)

WL_i : Ketinggian air kontrol hari ke-1 (cm)

WL_{i-1} : Ketinggian air kontrol hari sebelumnya (cm)

$$\Delta WL_{\text{model}} = (I + R) - (ETa + Dr) \quad (2)$$

Dengan:

ΔWL_{model} : Selisih ketinggian air kontrol model (mm)

I : Irigasi (mm)

R : Curah hujan (mm)

ETa : Evapotranspirasi aktual (mm)

Dr : Drainase (mm)

Produktivitas air menggambarkan hasil atau keuntungan untuk setiap unit air yang digunakan dihitung pada setiap perlakuan. Menurut Yulina *et al.*, [12] produktivitas dapat dihitung dengan **Persamaan (3) - (5)**.

$$WUE = \frac{Y}{I} \times 100 \quad (3)$$

$$WP_{I+R} = \frac{Y}{I+R} \times 100 \quad (4)$$

$$WP_{ET} = \frac{Y}{ETc} \times 100 \quad (5)$$

Dengan:

WUE : Index efisiensi penggunaan air (kg/m^3)

WP_{I+R} : Produktivitas air terhadap *input* air (kg/m^3)

WP_{ET} : Produktivitas air terhadap evapotranspirasi (kg/m^3)

Y : Total produksi gabah (ton/ha)

I : Total air irigasi (mm)

R : Presipitasi (mm)

ETa : Evapotranspirasi aktual (mm/hari)

Nilai 100 diatas merupakan faktor konversi

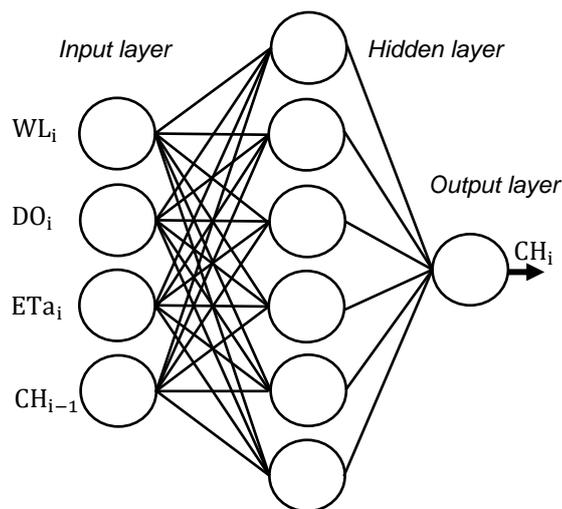
2.2.4 Pengembangan Model Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Model JST yang digunakan adalah model *backpropagation* untuk mengidentifikasi hubungan antara tinggi muka air, tinggi tanaman hari sebelumnya, oksigen terlarut, dan evapotranspirasi aktual, dengan tinggi tanaman berdasarkan skema pada **Gambar 2**. Adapun fungsi model JST ditunjukkan pada **Persamaan (6)**.

$$CH_i = f(WL_i, DO_i, ETa_i, CH_{i-1}) \quad (6)$$

dengan:

- i : Hari ke 1, 2, 3, ..., dst
 CH_i : Tinggi tanaman (m)
 WL_i : Tinggi muka air pada hari ke-i (m)
 DO_i : Oksigen terlarut pada hari ke-i (mg/L)
 ETa_i : Evapotranspirasi aktual pada hari ke-i (mm/hari)
 CH_{i-1} : Tinggi tanaman pada hari sebelumnya (m)



Gambar 2 Skema pemodelan JST

3. Hasil dan Pembahasan

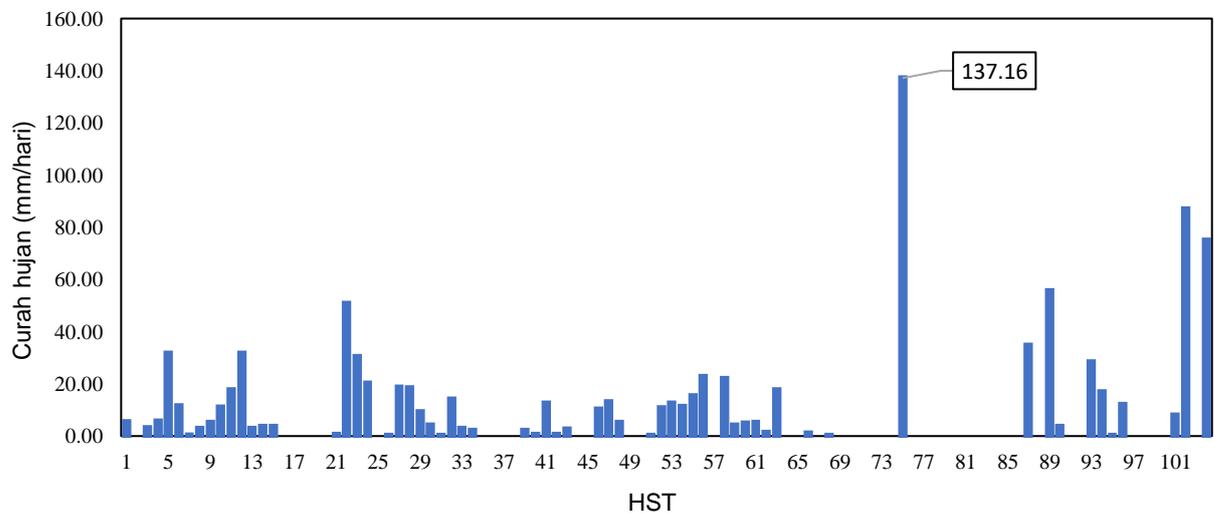
3.1. Analisis Parameter Lingkungan

Faktor parameter lingkungan tentu berpengaruh terhadap pertumbuhan tanaman. Pertumbuhan tanaman sangat dipengaruhi oleh faktor genetik dan lingkungan tempat tumbuhnya [11]. Curah hujan selama 104 hari masa tanam bervariasi. Dapat dilihat pada **Gambar 3** curah hujan yang terjadi memiliki rata-rata 9,11 mm/hari dan curah hujan maksimum 137,16 mm/hari. Nilai curah hujan maksimum ini termasuk kategori frekuensi hujan sangat lebar karena bernilai 100-150 mm/hari [13]. Menurut [14] curah hujan yang baik untuk padi yaitu rata-rata 200 mm per bulan atau lebih, dengan distribusi selama 4 bulan. Sehingga kondisi curah hujan di Kinjiro Farm sesuai dengan kebutuhan tanaman padi.

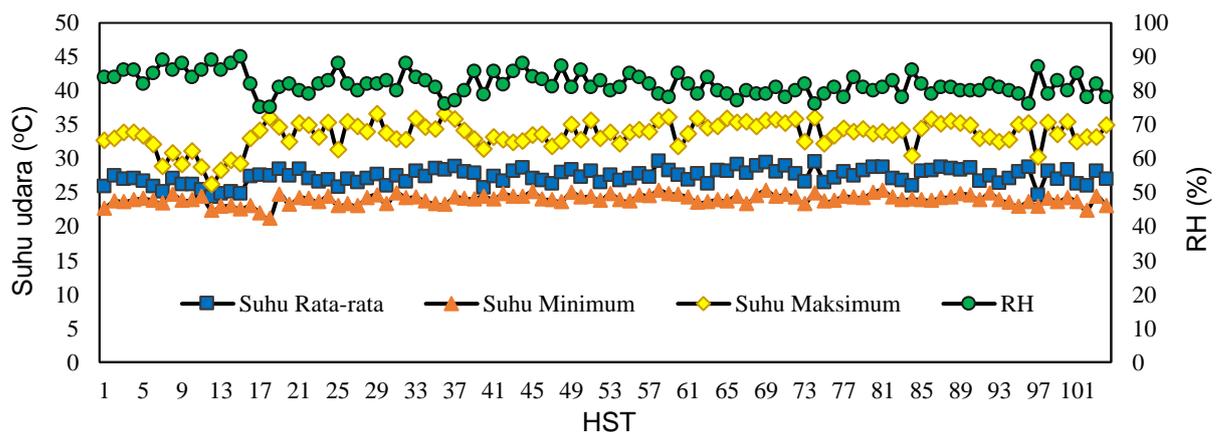
Pada tanaman padi, cahaya matahari dapat menjadi faktor pembatas produksi. Selama periode masa tanam, nilai radiasi matahari berkisar 1,39-15,86 MJ/m²/hari dengan rata-rata radiasi hariannya sebesar 9,55 MJ/m²/hari. Penelitian [14] menyatakan bahwa semakin tinggi intensitas cahaya yang diterima dapat mempercepat laju fotosintesis, sehingga dapat meningkatkan potensi hasil. Selain karena proses fotosintesis, radiasi matahari juga berkaitan dengan evaporasi dan evapotranspirasi.

Berdasarkan **Gambar 4** di atas, dapat dilihat bahwa suhu udara rata-rata harian selama masa tanam sebesar 27,32°C. Secara umum tanaman padi dapat tumbuh dan berkembang di daerah tropis dengan suhu udara yang sesuai, yaitu berkisar antara 18-35°C [15]. Sedangkan nilai kelembaban relatif (RH) selama periode masa tanam berkisar antara 75-90%. Menurut [16] tanaman

padi dapat tumbuh dan berkembang di lingkungan dengan RH berkisar antara 70-85%. Dengan kondisi suhu udara dan RH tersebut, tentu mampu mendukung pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi dengan optimal.



Gambar 3 Fluktuasi curah hujan selama 104 hari

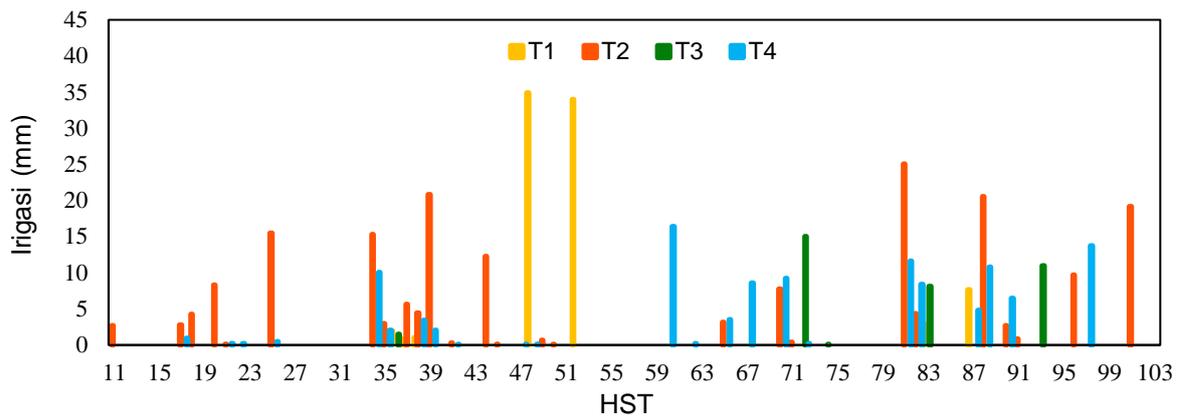


Gambar 4 Grafik fluktuasi suhu udara dan kelembaban relatif rata-rata selama 103 HST

Selain itu terdapat faktor internal dalam budidaya padi yaitu suhu, kelembaban, dan konduktivitas listrik tanah yang diperoleh dari sensor 5-TE. Pada sistem irigasi bawah permukaan, nilai suhu, kelembaban, dan EC tanah yang diperoleh berturut-turut memiliki rata-rata sebesar 27°C; 0,32 m³/m³; dan 0,33 mS/cm. Sedangkan pada sistem irigasi permukaan, nilai suhu, kelembaban dan EC tanah berturut-turut diperoleh sebesar 28°C; 0,46 m³/m³; dan 0,57 mS/cm. Menurut [17] semakin rendah suhu, maka sedikit air yang tersedia pada lahan, serta sebaliknya. Sehingga semakin sedikit air yang terdapat pada lahan maka nilai suhu, kelembaban dan EC tanah akan semakin kecil. Hal ini sesuai tinggi air yang diterapkan pada sistem irigasi.

3.2 Performansi Sistem Irigasi dan Fine Bubble Technology

Pada masa awal HST yaitu 10 hari pertama dilakukan percobaan sistem untuk memastikan sistem berjalan dengan baik. Pada sistem irigasi yang digunakan terdapat kebocoran di pipa *input* TA 3 saat 9 HST. Kemudian langsung dilakukan perbaikan pada sistem. Selain itu terdapat juga hambatan pada TA 1 yaitu air di lahan sulit untuk masuk ke dalam pipa drainase. Selanjutnya tanki air, pipa distribusi *input* dan *output* pada TA lain bekerja dengan baik.



Gambar 5 Grafik fluktuasi irigasi selama 103 HST

Berdasarkan **Gambar 5** di atas dapat dilihat penggunaan air irigasi setiap harinya bervariasi pada masing-masing TA. Jumlah penggunaan irigasi selama masa tanam 103 hari pada TA 1 hingga TA 4 berturut-turut 84,6 mm; 189,9 mm; 35,5 mm; 113,4 mm. Sedangkan rata-rata irigasi yang digunakan yaitu berturut-turut sebesar 0,8 mm; 1,8 mm; 0,3 mm; 1,1 mm. TA 2 dengan sistem irigasi permukaan memiliki jumlah penggunaan irigasi paling banyak. Sedangkan TA 3 dengan sistem irigasi bawah permukaan memiliki jumlah penggunaan irigasi paling sedikit. Irigasi bawah permukaan dapat menghemat penggunaan air karena target pengairan untuk mengairi langsung pada sasaran akar tanaman agar dapat dicapai [18].

Tabel 1 Hasil produksi tanaman padi

| | Berat per Rumpun (g) | Berat malai (g) | Jumlah gabah per rumpun (butir) | Jumlah gabah isi per rumpun (butir) | Bobot 1.000 butir (g) | Total Produksi Gabah (ton/ha) |
|------|----------------------|-----------------|---------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|
| TA 1 | 2.660 | 610 | 22.798 | 17.561 | 30,8 | 5,35 |
| TA 2 | 2.920 | 645 | 32.914 | 29.130 | 32,0 | 6,86 |
| TA 3 | 1.225 | 500 | 17.463 | 14.201 | 30,7 | 5,00 |
| TA 4 | 1.645 | 595 | 20.154 | 17.078 | 32,8 | 4,80 |

Berdasarkan **Tabel 1** di atas dapat dilihat bahwa bobot 1.000 butir tertinggi terdapat pada TA 4 dengan sistem irigasi permukaan sebesar 32,8 gram. Sedangkan bobot 1.000 butir terendah terdapat pada TA 3 dengan sistem irigasi bawah permukaan sebesar 30,7 gram. Sistem irigasi permukaan menunjukkan hasil yang lebih baik walau tidak berbeda nyata. Berat 1000 butir ditentukan pada fase generatif dan dipengaruhi oleh kulit biji yang ditentukan oleh fase sebelum pemasakan [19]. Berat 1.000 butir juga dipengaruhi oleh faktor iklim dan lingkungan seperti unsur hara tanah, suhu, intensitas cahaya, kelembaban, dan curah hujan.

Berdasarkan di atas dapat terlihat bahwa konsentrasi oksigen terlarut selalu mengalami tren yang berfluktuasi setiap harinya. Dari **Tabel 2** dapat terlihat bahwa penambahan *fine bubble technology* memberikan dampak pada konsentrasi oksigen terlarut pada TA 1. Peningkatan DO yang terjadi memiliki rata-rata sebesar 90,8%. Kondisi oksigen terlarut pada TA 2 sangat mirip dengan kondisi oksigen terlarut awal sehingga nilainya dianggap sama. Konsentrasi oksigen terlarut pada TA 1 mampu memiliki nilai 2 kali lebih tinggi dibanding TA 2. Hal ini dapat terlihat pada tinggi tanaman pada TA 1 mengalami peningkatan yang signifikan ketika dipasang *fine bubble technology*.

Tabel 2 Tabel kenaikan oksigen terlarut

| HST | DO awal (mg/L) | DO akhir (mg/L) | Kenaikan DO (mg/L) | Persentase kenaikan (%) |
|--------------------|----------------|-----------------|--------------------|-------------------------|
| 42 | 1,3 | 3,8 | 2,4 | 180,6 |
| 49 | 1,3 | 4,1 | 2,7 | 202,1 |
| 56 | 2,3 | 4,9 | 2,6 | 112,3 |
| 63 | 3,4 | 5,5 | 2,1 | 62,4 |
| 70 | 3,6 | 5,3 | 1,7 | 48,4 |
| 77 | 3,1 | 5,0 | 1,9 | 63,3 |
| 84 | 3,4 | 5,1 | 1,7 | 48,3 |
| 91 | 3,3 | 5,1 | 1,8 | 55,3 |
| 98 | 3,1 | 5,1 | 1,9 | 60,9 |
| 101 | 3,0 | 5,3 | 2,3 | 74,7 |
| Rata-rata kenaikan | | | 2,1 | 90,8 |

Tabel 3 Produktivitas dan efisiensi penggunaan air

| | WUE (kg/m ³) | WP _{I+R} (kg/m ³) | WP _{ET} (kg/m ³) |
|------|--------------------------|--|---------------------------------------|
| TA 1 | 6,32 | 0,52 | 5,26 |
| TA 2 | 3,61 | 0,60 | 2,80 |
| TA 3 | 14,08 | 0,51 | 2,42 |
| TA 4 | 4,23 | 0,45 | 1,81 |

Berdasarkan

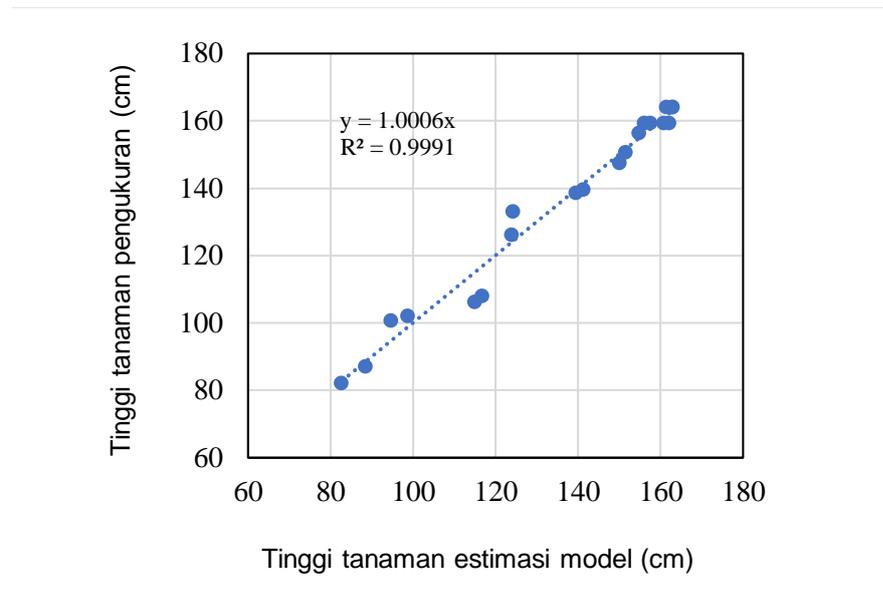
Tabel 3 di atas menunjukkan produktivitas dan efisiensi hasil panen terhadap penggunaan air pada tiap TA. Dapat terlihat bahwa produktivitas air terhadap evapotranspirasi aktual yang paling tinggi diperoleh oleh TA 1 nilai sebesar 5,26 kg/m³. Nilai tersebut memiliki peningkatan jika dibandingkan dengan TA 2, TA 3, dan TA 4 yaitu berturut-turut sebesar 46,8%; 54,9%; dan 65,6%. Dari

Tabel **3** di atas, TA 1 memberikan hasil produktivitas dan efisiensi penggunaan air yang paling baik. Hal ini menunjukkan sistem irigasi bawah permukaan dapat meningkatkan efisiensi penggunaan air dan melestarikan sumberdaya air di sektor pertanian [20]. Hal ini juga menunjukkan pengaruh *fine bubble* dalam faktor produktivitas tanaman. *Fine bubble technology* mampu meningkatkan penyerapan nutrisi pada tanaman lewat kandungan oksigen terlarut. Secara tidak langsung, *fine bubble* mampu membantu peningkatan laju fotosintesis pada padi dan pertumbuhan biomassa.

3.3 Prediksi pertumbuhan tanaman dengan model Jaringan Saraf Tiruan (JST)

Model JST yang digunakan adalah *backpropagation* yang dapat memberikan respon yang benar terhadap pola masukan yang serupa dengan pola yang digunakan saat pelatihan. *Backpropagation* melakukan pembelajaran pada jaringan *multi layer* yang bertujuan meminimalkan *error* terhadap hasil *output* [21].

Pada pemodelan JST ini digunakan 5 *hidden layer* sebagai penghubung *input layer* dengan *output layer* dengan iterasi sebanyak 5000 kali. Nilai dari koefisien determinasi ini memiliki nilai mendekati 1 yang artinya hasil prediksi JST terhadap nilai yang sebenarnya semakin kuat [22]. Hal tersebut juga menunjukkan bahwa keterkaitan yang kuat antara variabel bebas yaitu tinggi air, tinggi tanaman hari sebelumnya, oksigen terlarut, dan evapotranspirasi aktual dengan variabel terikat yaitu tinggi tanaman.



Gambar 6 Validasi model JST pada *output*

4. Kesimpulan

Sistem irigasi bawah permukaan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan sistem irigasi permukaan. *Fine bubble technology* memberikan hasil yang cukup baik dengan menghasilkan peningkatan *dissolved oksigen* yang signifikan dengan rata-rata peningkatan sebesar 90,8% dari kondisi awal. Selain itu *fine bubble* juga dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas air yaitu TA 1 yang menggunakan *fine bubble technology* memiliki nilai produktivitas air terhadap evapotranspirasi aktual yang paling tinggi yaitu sebesar 5,26 kg/m³. Nilai tersebut memiliki peningkatan jika dibandingkan dengan TA 2, TA 3, dan TA 4 tanpa menggunakan *fine bubble technology* yaitu berturut-turut sebesar 46,8%; 54,9%; dan 65,6%. Pemodelan JST dengan menggunakan *input* tinggi muka air, tinggi tanaman hari sebelumnya, oksigen terlarut, dan evapotranspirasi aktual untuk menghasilkan *output* berupa tinggi tanaman hari ini menghasilkan nilai koefisien determinasi R^2 sebesar 0,9991. Nilai tersebut mendekati 1 yang menunjukkan bahwa *output* memiliki keterkaitan yang kuat dengan *input*.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset dan Teknologi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah membiayai sebagian penelitian ini melalui skema Penelitian Fundamental Reguler (PRF) dengan nomor kontrak 22017/IT3.D10/PT.01.03/P/B/2024.

Daftar Pustaka

- [1] Ludong DPM, Ai NS. Irigasi Hemat Air Pada Padi Lokal Dengan Variasi Ketebalan Tanah Olah Menggunakan Pola Tanam Sri (System Of Rice Intensification). *Eugenia*. 2016;22:92–9.
- [2] Humaerah AD. Budidaya padi (*Oryza sativa*) dalam wadah dengan berbagai jenis pupuk pada sistem tanam berbeda. *Agribusiness Journal*. 2013;7:199–210.
- [3] Triana AN, Purnomo RH, Khalid F. Study of Water Requirements and Coefficient of Rice Crops (*Oryza sativa* L) in the Lebak Swamp: Kajian Kebutuhan Air dan Koefisien Tanaman Padi (*Oryza sativa* L) di Lahan Rawa Lebak. *Jurnal Keteknik Pertanian*. 2021;9:9–16.
- [4] Krisna B, Putra EETS, Rogomulyo R, Kastono D. Pengaruh pengayaan oksigen dan kalsium terhadap pertumbuhan akar dan hasil selada keriting (*Lactuca sativa* L.) pada hidroponik rakit apung. *Vegetalika*. 2017;6:14–27.

- [5] Chirwa, W., Li, P., Zhan, H., Zhang, Y., & Liu, Y. Application of fine bubble technology toward sustainable agriculture and fisheries. *Journal of Cleaner Production*. 2024; 449, 141629.
- [6] Morimoto, T., & Hashimoto, Y. AI approaches to identification and control of total plant production systems. *Control Engineering Practice*. 2000; 8(5), 555-567.
- [7] Mohmed, G., Heynes, X., Naser, A., Sun, W., Hardy, K., Grundy, S., & Lu, C. Modelling daily plant growth response to environmental conditions in Chinese solar greenhouse using Bayesian neural network. *Scientific Reports*. 2023; 13(1), 4379.
- [8] Satria B, Harahap EM. Peningkatan Produktivitas Padi Sawah (*Oryza sativa* L.) Melalui Penerapan Beberapa Jarak Tanam dan Sistem Tanam: The increased productivity of paddy (*Oryza sativa* L.) by application some distance planting and cropping system. *Jurnal Agroekoteknologi*. 2017;5:629–37.
- [9] Adiningrum C. Analisis Perhitungan Evapotranspirasi Aktual Terhadap Perkiraan Debit Kontinyu dengan Metode Mock. *Jurnal Teknik Sipil*. 2015;13:135–47.
- [10] Arif C, Saptomo SK, Setiawan BI, Taufik M, Suwarno WB, Nugroho BDA, et al. Water saving rice cultivation using sheet-pipe subsurface irrigation. *Heliyon*. 2024;10:1–14.
- [11] Yulina N, Ezward C, Haitami A. Karakter tinggi tanaman, umur panen, jumlah anakan dan bobot panen pada 14 genotipe padi lokal. *Jurnal Agrosains dan Teknologi*. 2021;6:15–24.
- [12] [BMKG] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Buletin Informasi Iklim Juli: Prakiraan Hujan Agustus, September, Oktober 2023. 2023.
- [13] Yulianto Y, Sudibiyakto S. Kajian dampak variabilitas curah hujan terhadap produktivitas padi sawah tadah hujan di Kabupaten Magelang. *Jurnal Bumi Indonesia*. 2012;1:76023.
- [14] Suryadi S, Setyobudi L, Soelistyono R. Kajian intersepsi cahaya matahari pada kacang tanah (*Arachis hypogaea* L.) diantara tanaman melinjo menggunakan jarak tanam berbeda 2013.
- [15] Afiat R, Indradewa D, Kastono D. Tanggapan Padi Lokal (*Oryza sativa* L.) Melati Menoreh terhadap Sistem Budidaya Semi Organik dan Organik dengan Jarak Tanam Berbeda di Kalibawang, Kulon Progo. *Vegetalika*. 2017;6:40–54.
- [16] Umi SD, Akrima S. Produktivitas Tanaman padi (*Oryza sativa* L.) cv Segreng Setelah Aplikasi Sludge Biogas di Lahan Sawah Desa Wukirsari, Cangkringan, Sleman. *Biogenesis*. 2018;6:64–70.
- [17] Karyati K, Putri RO, Syafrudin M. Suhu dan kelembaban tanah pada lahan revegetasi pasca tambang di PT Adimitra Baratama Nusantara, Provinsi Kalimantan Timur. *Jurnal Ilmu Pertanian dan Kehutanan*. 2018;17:103–14.
- [18] Haryati U. Teknologi irigasi suplemen untuk adaptasi perubahan iklim pada pertanian lahan kering. *Jurnal Sumberdaya Lahan*. 2014;8:43–57.
- [19] Gardner FP, Pearce RB, Mitchell RL. Fisiologi tanaman budidaya 1991.
- [20] Bouman BAM, Tuong TP. Field water management to save water and increase its productivity in irrigated lowland rice. *Agricultural Water Management* 2001;49:11–30.
- [21] Cynthia EP, Ismanto E. Jaringan syaraf tiruan algoritma backpropagation dalam memprediksi ketersediaan komoditi pangan provinsi riau. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi Univrab*. 2017;2:83–98.
- [22] Oktoprianica VD, Suhartanto E, Wahyuni S. Analisa Curah Hujan Terhadap Debit Limpasan Menggunakan Metode Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Backpropagation Di Das Welang. *Jurnal Teknik Sipil*. 2020;9:301–14.