

DOI: 10.29303/jrpb.v10i1.334  
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354  
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

## RANCANG BANGUN ALAT UKUR EVAPOTRANSPIRASI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)

*Design of Evapotranspiration Measuring Instrument Based on Internet of Things (IoT)*

Suhardi<sup>\*</sup>), Bambang Marhaenanto

Jurusan Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Jember  
Jl. Kalimantan No. 37, Kampus Tegalboto, Jember 68121, Indonesia

Email<sup>\*)</sup>:hardi.ftp@unej.ac.id

Diterima: Januari 2022

Disetujui: Maret 2022

### ABSTRACT

*Transpiration is a process of releasing water accompanied by the release of mineral nutrients from plant roots to leaf shoots through the process of photosynthesis. High transpiration will cause a shortage of water, especially around the roots. Thus, this transpiration can be used as a consideration to state the status of water availability in plants. This study aimed a lysimeter design based on the Internet of Things (IoT) to measure actual evapotranspiration in the field with excellent accuracy. The results showed that the lysimeter functioned well. Likewise, the results of the validation of lysimeter performance using Back Propagation Artificial Neural Networks (BPANN) showed very good performance with a correlation coefficient ( $R$ ) = 0.998343 with  $MSE = 0.00000019$  at the training stage,  $R = 0.9460054$  with  $MSE = 0.0000119$  at the validation stage, and  $R = 0.99996$  with  $MSE = 0.0000693$  at the testing stage.*

**Keywords:** BPANN; evapotranspiration; IoT; load cell; lysimeter

### ABSTRAK

Transpirasi merupakan suatu proses pelepasan air yang disertai dengan pelepasan nutrisi mineral dari akar tanaman ke pucuk daun melalui proses fotosintesis. Transpirasi yang tinggi akan menyebabkan kekurangan air terutama di sekitar perakaran. Dengan demikian, transpirasi ini dapat dijadikan pertimbangan untuk menyatakan status ketersediaan air pada tanaman. Tujuan penelitian ini adalah rancang bangun alat *lysimeter* berbasis IoT untuk mengukur evapotranspirasi aktual di lapangan dengan akurasi sangat baik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *lysimeter* berbasis IoT berfungsi dengan baik. Begitu pula dengan hasil evaluasi kinerja *lysimeter* menggunakan *Back Propagation Artificial Neural Networks* (BPANN) menunjukkan kinerja sangat baik dengan nilai koefisien korelasi  $R = 0,998343$  dengan  $MSE = 0,00000019$  pada tahap *training*,  $R = 0,9460054$  dengan  $MSE = 0,0000119$  pada tahap *validation*, dan  $R = 0,99996$  dengan  $MSE = 0,0000693$  tahap *testing*.

**Kata kunci:** BPANN; evapotranspirasi; IoT; load cell; lysimeter

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Transpirasi merupakan suatu proses pelepasan air yang disertai dengan pelepasan nutrisi mineral dari akar tanaman ke pucuk daun melalui proses fotosintesis (Bouranis, *et al.*, 2014). Transpirasi yang tinggi akan menyebabkan kekurangan air terutama di sekitar perakaran. Oleh karena itu, transpirasi dapat dijadikan pertimbangan untuk menyatakan status ketersediaan air pada tanaman tersebut (Adeyemi, *et al.*, 2018). Sementara itu, evapotranspirasi merupakan gabungan transpirasi dan penguapan uap air dari dalam tanah dan permukaan yang basah (Lemordant, *et al.*, 2018; Kiefer, *et al.*, 2019).

Evapotranspirasi pada tanaman terjadi akibat perubahan iklim. Perubahan iklim ini sering diidentifikasi berdasarkan peningkatan suhu. Seiring dengan peningkatan suhu ini maka evapotranspirasi juga meningkat (Mundo-Molina, 2015). Evapotranspirasi juga dipengaruhi oleh musim. Untuk daerah yang mengalami banjir maka tingkat evaporasinya lebih tinggi bila dibandingkan dengan daerah dengan kondisi kering (Eichelmann, *et al.*, 2018). Pada lahan kering, evapotranspirasi dipengaruhi oleh kelembaban tanah, curah hujan, dan kedalaman air tanah (Sun, *et al.*, 2019). Faktor lain yang berpengaruh terhadap evapotranspirasi adalah faktor lingkungan misalnya evapotranspirasi potensial dan air tanah, sifat vegetasi dan manajemen antropogenik (Jiao, *et al.*, 2019). Antropogenik merupakan pencemaran udara yang disebabkan oleh ulah manusia seperti gas pembuangan pabrik, kendaraan bermotor, dan pembakaran sampah. Peningkatan suhu ini menyebabkan proses pertukaran gas oleh tanaman semakin tinggi.

Evapotranspirasi dapat diprediksi dengan metode Penman-Monteith yang merupakan metode standar dalam prediksi evapotranspirasi potensial. Beberapa metode prediksi evapotranspirasi lainnya

adalah metode berbasis radiasi yang terdiri atas metode Makkink (Mak), Abtew (Abt), Priestely-Taylor (PT) dan metode berbasis suhu yang terdiri atas metode Hargreaves-Smani (HS), metode Thornthwaite (Tho), Hamon (Ham) Linacre (Lin), dan Blaney-Criddle (Lang, *et al.*, 2017). Selain metode perhitungan evapotranspirasi potensial berbasis radiasi dan suhu tersebut, *artificial neural networks* (ANN) merupakan salah satu model prediksi evapotranspirasi dengan luaran sangat baik dengan variabel input berupa suhu dan kelembaban relatif (Ferreira, *et al.*, 2019).

Selain metode matematik dan ANN untuk memprediksi evapotranspirasi, *lysimeter* merupakan peralatan yang dapat digunakan untuk mengukur evapotranspirasi aktual di lapang. *Lysimeter* merupakan alat pengukuran evapotranspirasi secara langsung di lapangan (Hansen, *et al.*, 1992 dalam Mahmoud & Gan, 2019). Pengukuran evapotranspirasi potensial (ET<sub>p</sub>) menggunakan *lysimeter* dilakukan dengan cara ditanami rumput pada media tanam yang akan diukur (Yuliawati, *et al.*, 2014). Pengukuran evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>) dilakukan dengan cara penanaman tanaman pada media tanam yang akan diukur. Evapotranspirasi tanaman (ET<sub>c</sub>) menggunakan *lysimeter* dihasilkan dari perhitungan perubahan berat media tanam dan tanaman (Adha, *et al.*, 2016).

### Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah rancang bangun alat *lysimeter* berbasis IoT untuk pengukuran evapotranspirasi aktual di lapangan dengan akurasi pengukuran sangat baik.

## METODE PENELITIAN

### Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada bulan Juni 2021 sampai dengan Agustus 2021. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian

Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Jember.

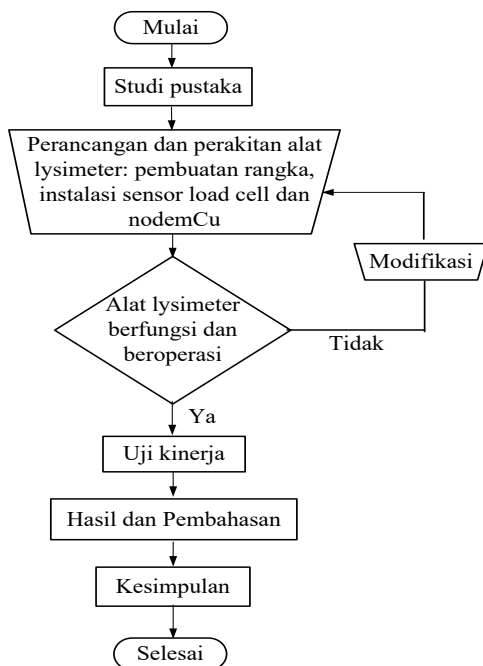
**Alat dan Bahan**

Alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah perangkat komputer, sensor NodeMCU, sensor DHT11, dan sensor *load cell*.

Bahan yang digunakan adalah besi siku berlubang, fiber transparan, akrilik dan papan kayu. Sensor DHT11 mempunyai spesifikasi sebagai berikut: (a) jangkauan ukur 20-90% RH, 0-50°C; (b) ketelitian ukur kelembaban ± 5% RH; (c) ketelitian ukur suhu ± 2°C; (d) jangkauan resolusi 1; (e) sumber tegangan 5VDC; dan (f) konsumsi arus 0,5 mA - 2,5 mA. Sementara itu, spesifikasi sensor *load cell* 5 kg antara lain: (a) bahan dasar Aluminium Alloy; (b) dimensi 8 x 1,25 x 1,25 cm; (c) suhu operasional -20°C – 65°C; (d) output 0,1mV - 1mV/V; dan (e) *margin error* ≤1,5%.

**Tahapan Penelitian**

Penelitian ini terdiri atas beberapa tahapan antara lain perancangan dan perakitan alat *lysimeter*, uji fungsional dan uji kinerja. Secara rinci tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Tahapan penelitian

*Perancangan dan Perakitan*

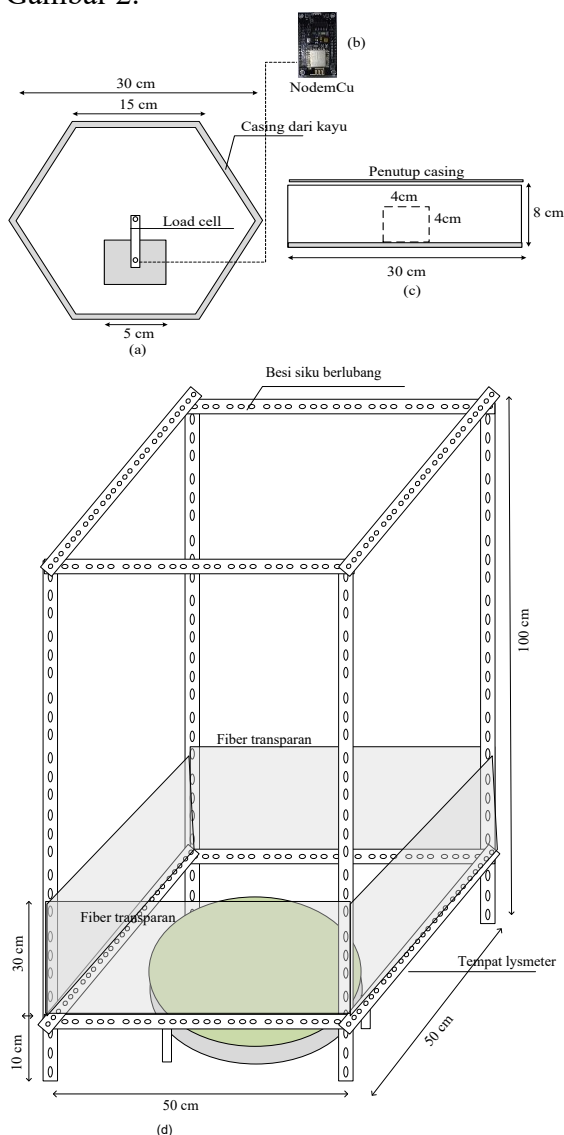
Perancangan merupakan suatu tahapan yang meliputi persiapan peralatan dan bahan, selanjutnya merakit komponen-komponen yang diperlukan. Perancangan dilakukan sedemikian rupa sehingga rakitan komponen-komponen tersebut rapi, bekerja secara maksimal dan mudah digunakan (Abbas, *et al.*, 2020).

Proses dan perancangan dilakukan di Laboratorium Teknik Pengendalian dan Konservasi Lingkungan Jurusan Teknik Pertanian Universitas Jember. Tahap perancangan meliputi pemilihan komponen dan pembuatan peralatan. Beberapa hal yang harus diperhatikan dalam pemilihan komponen adalah kualitas bahan, tingkat kecepatan dan efektif komponen tersebut, serta bentuk dan ukuran (Wahyudi, *et al.*, 2020). Terkait hal tersebut, proses perancangan alat *lysimeter* diawali dengan identifikasi sistem kerja alat *lysimeter*, penetapan parameter yang digunakan pada alat *lysimeter* dan gambar sketsa. Tahap selanjutnya adalah perakitan alat *lysimeter*.

Analisis perancangan terdiri dari analisis fungsional dan struktural yang dilakukan untuk menentukan kebutuhan komponen dari rancangan tersebut (Suhardi, 2020). Analisis fungsional dilakukan dengan cara pengamatan fungsi dari masing-masing komponen (Yusuf *et al.*, 2017). Analisis fungsional ini sangat penting dalam perhitungan kebutuhan komponen peralatan *lysimeter*. Komponen utama alat *lysimeter* ini adalah sensor loadcell yang berfungsi sebagai sensor berat untuk mengukur berat uap air yang terevapotranspirasi.

*Load cell* merupakan komponen inti yang terdapat pada timbangan digital. Secara umum *load cell* digunakan untuk menghitung massa dari suatu benda. Sebuah sensor *load cell* tersusun dari beberapa konduktor, strain gauge, dan jembatan wheatstone (Nuryanto, 2015). Sementara itu komponen tambahan adalah sensor DHT11 sebagai sensor suhu dan kelembaban udara. Sensor DHT berfungsi sebagai parameter input data dalam uji

kinerja *lysimeter*. *Lysimeter* juga dilengkapi dengan modul NodeMCU ESP8266. Modul NodeMCU ESP8266 berfungsi sebagai mikrokontroler koneksi internet untuk proses perekaman data berbasis IoT (Wicaksono, 2017). Sementara itu, untuk menentukan struktur dari suatu rancangan agar sesuai dengan kebutuhan perlu dilakukan analisis struktural (Suhardi, 2015). Analisis struktur meliputi kapasitas *load cell* yang diperlukan alat *lysimeter* dan bentuk rangka yang mampu menahan beban dengan baik seperti tampak pada Gambar 2.



**Gambar 2.** Struktur dan rangka alat *lysimeter*: (a) tampak atas alat *lysimeter*, (b) tampak samping, (c) NodeMCU ESP8266, dan (d) kerangka pelindung alat *lysimeter*

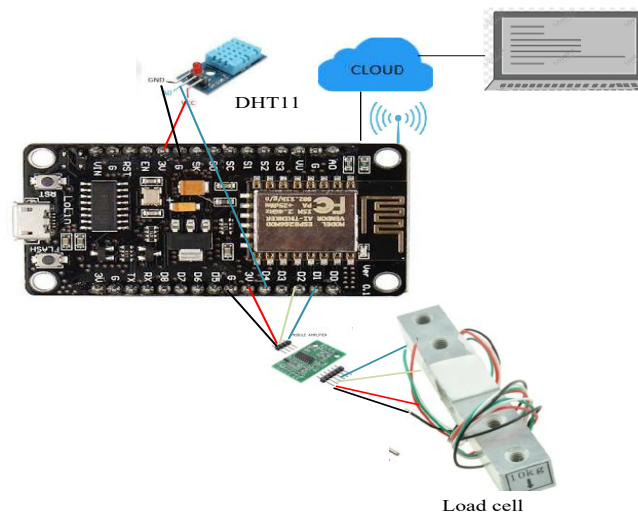
*Casing lysimeter* terbuat dari bahan kayu dengan diameter 30 cm. Pemilihan *casing* dari bahan kayu bertujuan untuk memudahkan mobilitas pemakaiannya karena ringan. Pada bagian dalam *casing* terdapat balok kayu ukuran 5 cm x 4 cm x 4 cm yang berfungsi sebagai bantalan sensor *load cell*. Pada bagian atas ditempatkan penutup dari akrilik dengan tebal 0,4 cm sebagai tempat media tanam dan tanaman yang akan diukur evapotranspirasinya. Struktur rangka dari besi siku berlubang berfungsi untuk melindungi alat dari gangguan luar. *Fiber* transparan berfungsi mengurangi pengaruh hembasan angin yang akan berpengaruh terhadap akurasi perekaman data berat media tanam dan tanaman. Sementara itu, alas atau tatakan *lysimeter* berbentuk silinder terbuat dari pelat besi berfungsi sebagai alas atau tatakan alat *lysimeter* agar dalam kondisi datar. Kondisi datar pada alat *lysimeter* sangat berpengaruh terhadap keakurasian pembacaan berat oleh sensor *load cell*.

Pada rangka bagian atas diberi *fiber* transparan yang berfungsi untuk mencegah masuknya air hujan pada media tanam dan mengenai sensor *load cell*. Pemberian air pada media tanam dilakukan secara manual pada saat kondisi media mulai mengering akibat evapotranspirasi. Hal ini dilakukan untuk mempermudah perhitungan perubahan berat yang terjadi akibat evapotranspirasi. Pemasangan *fiber* transparan pada kerangka pelindung juga berfungsi sebagai ilustrasi pengukuran evapotranspirasi aktual pada *greenhouse*. Hal ini juga dilakukan oleh Halperin, *et al.*, (2017), yang mendesain pengukuran evapotranspirasi tanaman di dalam *greenhouse* menggunakan *lysimeter* berbasis *load cell*.

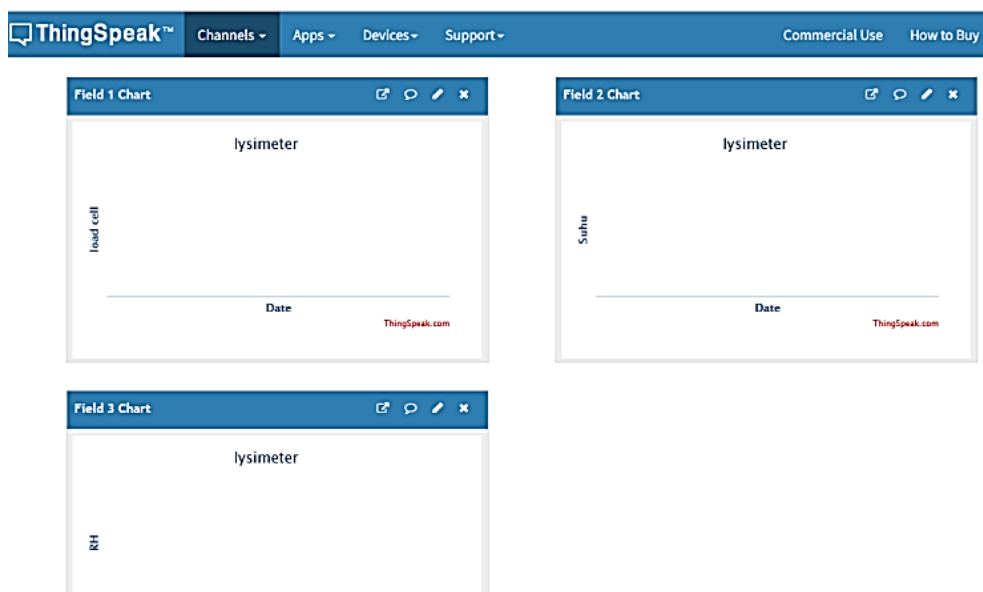
Perancangan arsitektur sistem *lysimeter* berbasis IoT diuraikan pada Gambar 3. Gambar 3 menunjukkan bahwa perangkat *hardware* terdiri dari sensor loadcell, modul HX711 dan NodeMCU ESP8266 WiFi sebagai mikrokontroler. ESP8266 WiFi harus terkoneksi dengan internet agar terhubung dengan web

*Thingspeak*. Data berat analog yang terdeteksi oleh *load cell* dikonversi ke sinyal digital oleh modul HX711 yang terhubung dengan NodeMCU. Koneksi antara sensor *load cell* dan modul HX711 dilakukan dengan menyambungkan kabel biru ke A+, kabel putih ke A-, kabel hitam ke E- dan kabel merah ke E+. Koneksi antara modul HX711 dengan NodeMCU dilakukan dengan menyambungkan pin GND ke G, Vcc ke 3V, DT ke pin D1, dan SCK ke pin D2. Sementara itu, koneksi sensor DHT11 ke NodeMCU dilakukan dengan menghubungkan kabel *jumper* VCC ke 3V, GND ke G, dan data ke pin D4.

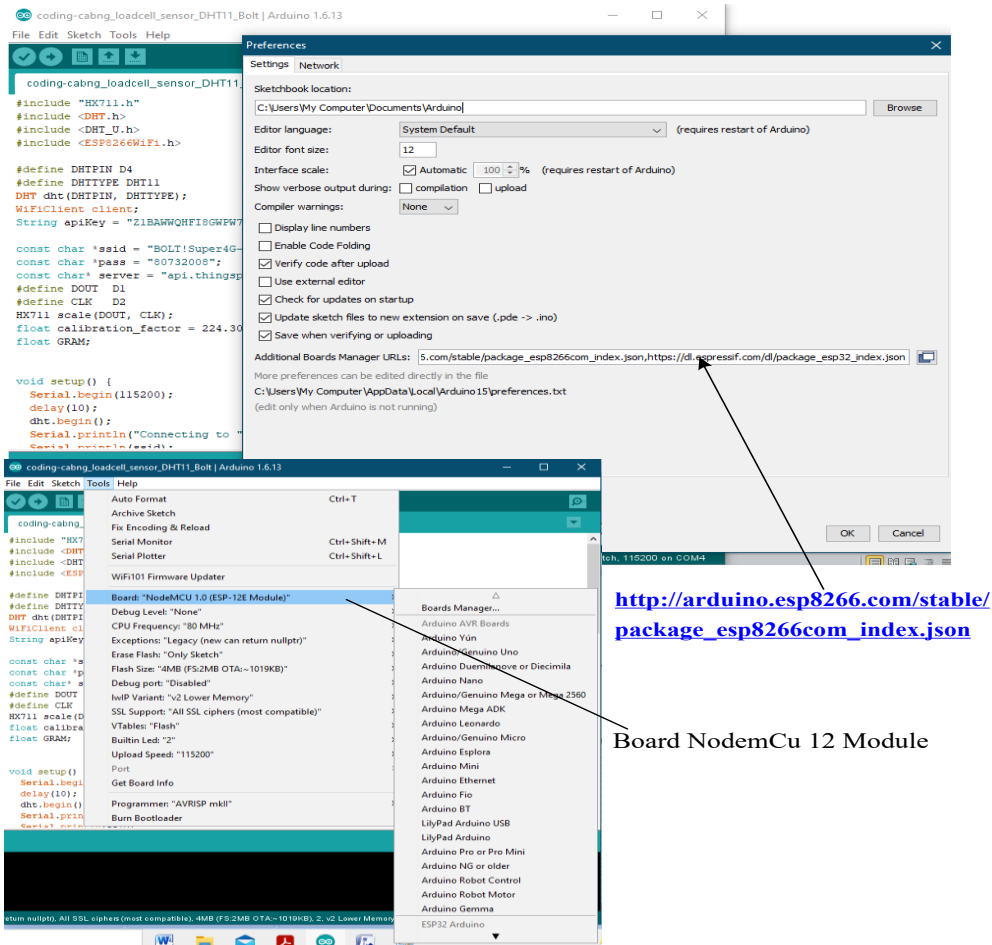
Tahap selanjutnya adalah melakukan *sign up* pada web *Thingspeak*. *Thingspeak* merupakan *platform open source* yang dapat digunakan sebagai *data logger* dan *men-download* data dengan *protocol* HTTP melalui internet. Apabila akun telah dibuat, langkah selanjutnya adalah membuat *channel* tempat data akan disimpan. *Channel* baru dapat dibuat dengan memilih menu *new channel* dan menentukan jumlah *field* sesuai dengan kebutuhan data yang akan direkam. Masing-masing *field* diberi nama sesuai dengan nama data yang akan disimpan seperti tampak pada Gambar 4.



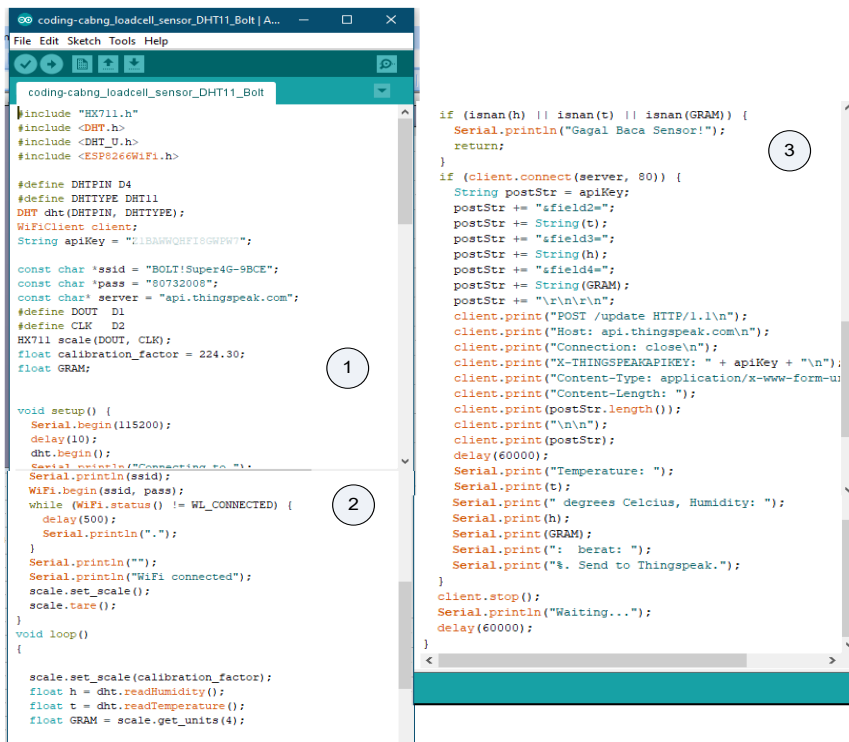
Gambar 3. Arsitektur sistem *lysimeter* berbasis IoT



Gambar 4. Tampilan *field* dalam web *Thingspeak*



Gambar 5. Pemilihan preferences dan board NodeMCU ESP8266 modul



Gambar 6. Coding lysimeter berbasis IoT

Penulisan coding *lysimeter* dilakukan dengan aplikasi Arduino IDE. Setelah masuk pada aplikasi Arduino IDE, tahapan selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dipilih menu *Preferences*, selanjutnya diisi [http://arduino.esp8266.com/stable/package\\_esp8266com\\_index.json](http://arduino.esp8266.com/stable/package_esp8266com_index.json) pada bagian *Additional Board Manager*, dan di-klik OK.
2. Dipilih *Boards Manager*, lalu dipilih ESP8266 by ESP8266 Community dan *install*.
3. Setelah proses *install* selesai, dipilih NodeMCU 12 Module sebagai *board*-nya dengan cara memilih menu *Tools*, *Board* dan pilih NodeMCU 1.0, seperti tampak pada Gambar 5.
4. Disusun *coding* seperti tampak pada Gambar 6.
5. Ditulis SSID jaringan WiFi yang tersedia pada const char \*ssid = "**SSID**".
6. Ditulis kata sandi dari SSID yang digunakan pada const char \*pass = "**Password**".
7. Ditulis APIKey yang di-generate oleh *Thingspeak* pada String apiKey = "...", misalnya "AICP011J6EQ7C4OI".
8. *Coding* di-upload ke dalam NodeMCU ESP8266 lalu dapat dilihat pembacaan dan pengiriman data ke *web Thingspeak* pada *serial monitor*.

**Uji Fungsional**

Uji fungsional pada alat *lysimeter* meliputi (a) uji kode (teks pemrograman) yang digunakan untuk menjalankan perintah perekaman pada sensor *load cell* dan DHT11. Suatu kode dikatakan berfungsi dengan baik apabila saat proses *compile* pada arduino IDE dinyatakan sukses. Begitu pula saat dilakukan pengecekan pada *serial monitor* menunjukkan pembacaan sensor dan pengiriman data ke *cloud* sukses; (b) uji penimbangan beban. *Lysimeter* dapat dikatakan baik apabila beban uji dan hasil pembacaan *load cell* sama; dan (c) sensor DHT11 dinyatakan berfungsi dengan baik apabila data suhu dan kelembaban udara

dari sensor DHT11 dapat terekam dengan baik di dalam *cloud*. Uji fungsi dari sensor DHT juga dapat dilihat dari *serial monitor*, sensor dinyatakan berfungsi apabila data suhu dan kelembaban udara tampil di *serial monitor* arduino IDE (Rangan, *et al.*, 2020).

Untuk mengetahui tingkat kesalahan dari kinerja sensor DHT11 dan sensor *load cell* maka perlu dilakukan uji kalibrasi. Uji kalibrasi dilakukan dengan cara membandingkan hasil pengukuran alat ukur suhu dan RH merk Sanfix TH-308A dengan sensor DHT11. Uji kalibrasi sensor *load cell* menggunakan anak timbangan 200 gram sejumlah 7 buah. Kesalahan pengukuran dapat dihitung dengan Persamaan 1 (Nuryanto, 2015).

$$\text{Kesalahan (\%)} = \frac{A}{B} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- A = selisih pengukuran sensor dengan pengukuran standar
- B = pengukuran standar

Sementara itu, keakuratan pengukuran sensor dihitung menggunakan Persamaan 2 (Sasono, *et al.*, 2020).

$$\text{Keakuratan (\%)} = 100 - \left(\frac{A}{B} \times 100\right) \dots\dots (2)$$

**Uji Kinerja**

*Lysimeter* dan sensor *load cell* akan menghasilkan luaran data berupa berat dari sampel. Untuk mengkonversi satuan berat air yang hilang akibat evapotranspirasi dapat dihitung dengan Persamaan 3 (Fisher, 2012).

$$ET_o = \left[ \frac{\left(\frac{W}{\rho}\right)}{A} \right] \times 10 \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- ET<sub>o</sub> = evapotranspirasi potensial (mm)
- W = berat media tanam dan tanaman (gram)
- ρ = berat jenis air (gram/cm<sup>3</sup>)
- A = luas permukaan media tanam (cm<sup>2</sup>)

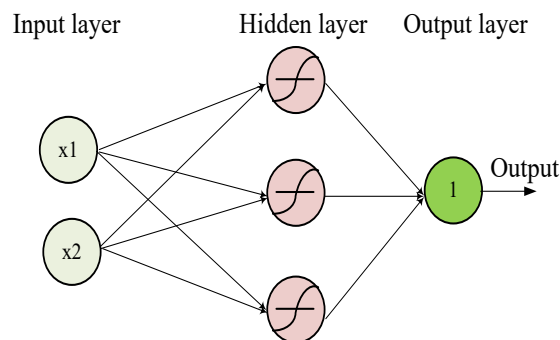


Mengingat data evapotranspirasi potensial sangat penting dalam perencanaan jadwal dan pemberian air irigasi tanaman, maka perancangan *lysimeter* berbasis *Internet of Things* (IoT) diharapkan mampu menghasilkan data pengukuran evapotranspirasi secara akurat. Sensor *load cell* mempunyai akurasi sangat akurat dalam penimbangan beban dengan tingkat *error* 0,255% (Wahyudi & Sagita, 2021).

**Validasi Kinerja *Lysimeter* Menggunakan *Back Propagation Artificial Neural Networks* (BPANN)**

Tingkat akurasi *lysimeter* dalam pengukuran evapotranspirasi ini dapat divalidasi dengan *back propagation artificial neural networks* (BPANN). BPANN terbukti sangat signifikan dalam mengestimasi ETo dengan parameter input tunggal berupa kelembaban relatif (RH) (Nusantara, *et al.*, 2019). Begitu pula dengan 2 parameter input berupa suhu dan radiasi matahari dengan 1 *hidden layer* dengan 3 *neurons* menghasilkan akurasi estimasi ETo sangat akurat terhadap ETo Penman-Monteith (Arif, *et al.*, 2020).

Validasi kinerja *lysimeter* menggunakan metode *back propagation artificial neural networks* (BPANN) dengan arsitektur 2 *input layer*, 1 *hidden layer* dengan 3 *neuron*, dan 1 *output layer*. Data target adalah ETo hasil pengukuran *lysimeter*. Komposisi data yang digunakan adalah 60% untuk *training*, 20% untuk *validation*, dan 20% untuk *testing* seperti tampak pada Gambar 7.



**Gambar 7.** Arsitektur BPANN

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Perancangan dan Perakitan**

Kegiatan perancangan dan perakitan ini dilakukan secara bertahap antara lain sebagai berikut:

*1. Perancangan stasiun pengamatan dan lysimeter*

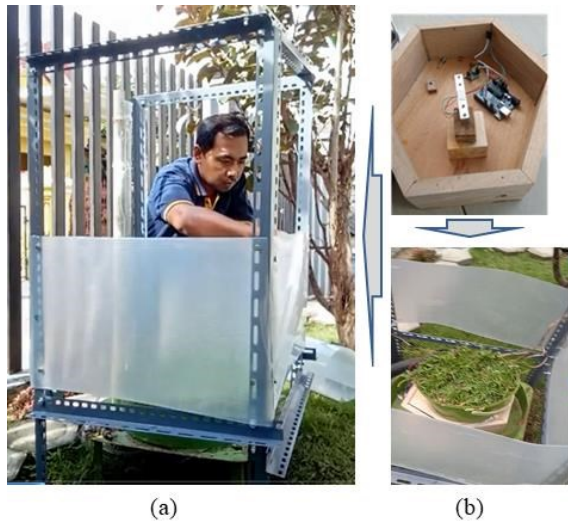
Pada tahap ini pemilihan bahan menjadi salah satu pertimbangan agar pekerjaan pemotongan dan perakitan mudah dilakukan. Pertimbangan lainnya adalah harga bahan dan ketersediaan bahan di pasaran atau toko. Berdasarkan pertimbangan tersebut maka bahan yang dipakai adalah: (a) besi siku berlubang yang berfungsi sebagai rangka struktur stasiun pengamatan evapotranspirasi; (b) sirap kayu sebagai bahan dari stuktur *casing lysimeter*; dan (c) fiber plastik sebagai penahan tekanan angin supaya tidak mempengaruhi proses penimbangan. Hal ini dikarenakan tekanan angin merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi penambahan beban yang berdampak pada akurasi pengukuran berat pada *load cell* (Kopczynski, 2001).

*2. Perakitan stasiun pengamatan dan lysimeter*

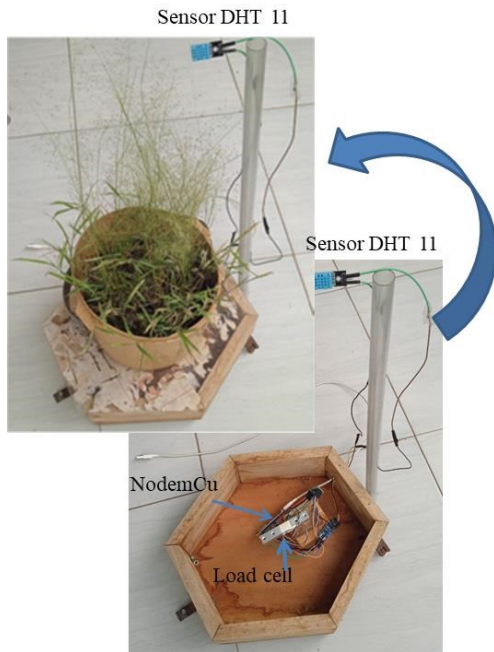
Pemotongan bahan besi berlubang sebagai struktur rangka stasiun harus memperhatikan ukuran dan posisi dari masing-masing bagian rangka. Bagian-bagian dari rangka tersebut diberikan tanda tertentu agar pada saat penyambungan sesuai dengan gambar rencana. Pada perakitan *lysimeter* posisi *load cell* tidak boleh terbalik. Arah panah pada ujung *load cell* menunjukkan arah gaya dari beban sehingga ujung tanda panah berada pada sisi bagian bawah. *Load cell* mempunyai dua lubang mur-baut pada masing-masing ujungnya. Ujung *load cell* yang terdiri dari 2 lubang mur-baut merupakan tempat media tanam yang akan ditimbang, sementara lubang mur-baut ujung lainnya sebagai dudukan. *Sensor Module load cell* dihubungkan dengan NodeMCU ESP8266. Perakitan stasiun pengamatan dan *lysimeter* tampak pada Gambar 8. *Lysimeter* berbasis



IoT hasil rancangan dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 8. Perakitan (a) stasiun pengamatan dan (b) lysimeter



Gambar 9. Lysimeter berbasis IoT

**Uji Fungsi**

Uji fungsi terhadap alat lysimeter dan perangkat DHT11 dilakukan dengan cara mengecek hasil perekaman data berat sampel, suhu dan RH pada cloud melalui web Thingspeak. Apabila data sensor suhu, RH, dan berat media tanam sudah terekam pada web Thingspeak, maka peralatan telah

berfungsi dengan baik seperti tampak pada Gambar 10.

Uji kalibrasi terhadap sensor load cell dan sensor DHT11 menggunakan Persamaan 1 dan Persamaan 2 seperti tampak pada Tabel 1 s.d Tabel 3 berikut.

Tabel 1. Kalibrasi sensor load cell

Hasil pengukuran Load cell (gram)	Anak timbangan (gram)	Selisih	Error (%)
200,83	200	0,83	0,41
401,06	400	1,06	0,26
599,87	600	0,13	0,02
799,61	800	0,39	0,05
999,58	1000	0,42	0,04
1199,45	1200	0,55	0,05
1199,43	1200	0,57	0,05
1399,58	1400	0,42	0,03
Kesalahan rata-rata			0,11
Keakuratan			99,89

Tabel 2. Kalibrasi suhu pada sensor DHT11

Hasil pengukuran suhu DHT11 (°C)	Alat ukur suhu Merk Sanfix TH-308A	Selisih	Error (%)
32,1	32,3	0,2	0,62
34,2	33,8	0,4	1,18
34,3	34,5	0,2	0,58
32,1	32,3	0,2	0,62
33,3	33,4	0,1	0,30
31,2	31,8	0,6	1,89
34,3	34,4	0,1	0,29
33,3	33,1	0,2	0,60
33,3	33,4	0,1	0,30
32,8	32,6	0,2	0,61
Kesalahan rata-rata			0,87
Keakuratan			99,13

**Tabel 3.** Kalibrasi RH pada sensor DHT11

Hasil pengukuran RH DHT11 (%)	Alat ukur suhu Merk Sanfix TH-308A	Selisih	Error (%)
72	65	7	10,77
86	81	5	6,17
66	62	4	6,45
86	80	6	7,50
86	80	6	7,50
85	78	7	8,97
70	64	6	9,38
70	64	6	9,38
71	65	6	9,23
86	81	5	6,17
Kesalahan rata-rata			8,15
Keakuratan			91,85

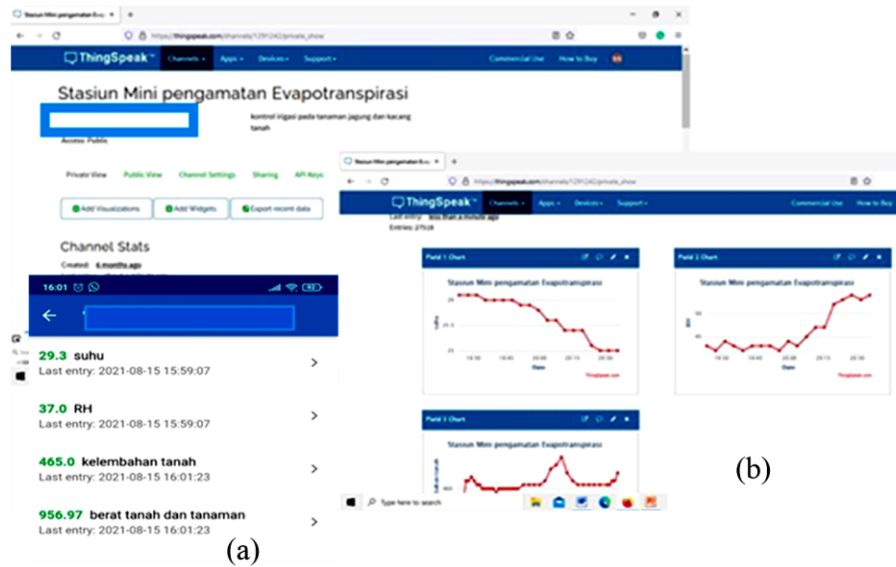
Tabel 1 menunjukkan bahwa tingkat kesalahan rata-rata sensor *load cell* dalam pengukuran berat adalah 0,11% dengan tingkat akurasi 99,89%. Hal ini menunjukkan bahwa sensor *load cell* yang digunakan sebagai sensor alat *lysimeter* berbasis IoT mempunyai akurasi pengukuran sangat baik. Tabel 2 menunjukkan bahwa tingkat kesalahan sensor DHT11 dalam pengukuran data suhu mempunyai tingkat kesalahan 0,87% dengan akurasi 99,13%. Tabel 3 menunjukkan bahwa tingkat kesalahan pengukuran RH lebih tinggi, yaitu 8,15% dengan akurasi 91,85%.

### Uji Kinerja

Uji kinerja *lysimeter* berbasis IoT ini dilakukan dengan cara menghitung nilai ETo. Nilai ETo dihasilkan dari pengukuran perubahan berat media tanam dan tanaman rumput. Perhitungan data penurunan berat,

dilakukan dengan durasi data setiap 4 jam. Hal ini dilakukan untuk menghasilkan jumlah *data series* yang banyak, tetapi durasi pengamatan yang cukup pendek. Dengan demikian akan menghemat waktu pengamatan dan biaya operasional selama pengambilan data. Di samping itu, durasi pengamatan pendek namun jumlah data series cukup banyak diharapkan mampu menghasilkan akurasi pengukuran berat air yang terevapotranspirasi sangat baik. Berdasarkan data pengukuran *lysimeter* berbasis IoT tersebut nilai ETo dihitung menggunakan persamaan 3. Hasil perhitungan ETo dan perekaman data suhu, RH, serta waktu perekaman dituliskan dalam Tabel 4.

Tabel 4 menunjukkan bahwa penurunan berat tanah dan tanaman dalam durasi 4 jam merupakan besaran uap air yang hilang akibat evapotranspirasi. Mengingat satuan penurunan berat adalah gram maka perlu dikonversikan ke dalam satuan evapotranspirasi (mm). ETo cenderung terjadi pada pagi hari ( $\pm$  jam 8 pagi) sampai dengan sore hari ( $\pm$  jam 4 sore). Peningkatan suhu cenderung mempengaruhi peningkatan ETo, terutama pada pagi hari sampai dengan siang hari ( $\pm$  jam 12 siang). Hal ini sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa peningkatan suhu dan radiasi matahari menyumbang 1,09% dan 0,55% terhadap laju ETo, tetapi penurunan RH menyumbang 0,85%. Secara umum, faktor utama peningkatan laju ETo adalah kenaikan suhu. Walaupun demikian, hal ini bervariasi secara signifikan menurut waktu dan lokasi (Luo *et al.*, 2021).



Gambar 10. Hasil perekaman data sensor *load cell* dan DHT11 pada: (a) aplikasi *Thing viewer*, dan (b) web *Thingspeak*

Tabel 4. Data pengamatan dan perhitungan evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) dengan durasi pengamatan 4 jam

No	Waktu pengamatan	Suhu (°C)	RH (%)	Data <i>Lysimeter</i>	
				Berat air yang menguap (gram)	ET <sub>o</sub> (mm)
1.	2021-08-17 12:29:01 WIB	30,7	23,0	0,0	0,000
2.	2021-08-17 16:32:50 WIB	28,2	31,0	1,4	0,044
3.	2021-08-17 20:31:15 WIB	24,2	57,0	28,3	0,900
4.	2021-08-18 00:29:44 WIB	24,0	54,0	0,0	0,000
5.	2021-08-18 04:30:30 WIB	23,0	77,0	0,0	0,000
6.	2021-08-18 08:34:44 WIB	30,8	30,0	0,0	0,000
7.	2021-08-18 12:31:12 WIB	32,3	19,0	2,1	0,068
8.	2021-08-18 16:30:00 WIB	24,3	95,0	0,0	0,000
9.	2021-08-18 20:32:31 WIB	24,2	82,0	0,0	0,000
10.	2021-08-19 00:31:45 WIB	23,8	67,0	0,0	0,000
11.	2021-08-19 04:32:33 WIB	21,9	85,0	0,0	0,000
12.	2021-08-19 08:30:04 WIB	28,9	33,0	0,0	0,000
13.	2021-08-19 12:32:09 WIB	31,7	23,0	41,3	1,314
14.	2021-08-19 16:32:43 WIB	27,6	44,0	0,0	0,000
15.	2021-08-19 20:30:10 WIB	24,4	68,0	0,0	0,000
16.	2021-08-20 00:29:37 WIB	23,1	82,0	0,0	0,000
17.	2021-08-20 04:35:22 WIB	22,9	76,0	0,0	0,000
18.	2021-08-20 08:32:18 WIB	27,0	53,0	0,0	0,000
19.	2021-08-20 12:36:23 WIB	31,4	30,0	0,8	0,026
20.	2021-08-20 16:33:12 WIB	27,1	51,0	0,0	0,000
21.	2021-08-20 20:30:42 WIB	24,6	64,0	0,0	0,000
22.	2021-08-21 00:29:02 WIB	23,8	70,0	0,0	0,000
23.	2021-08-21 04:31:52 WIB	22,8	84,0	0,0	0,000
24.	2021-08-21 08:31:45 WIB	34,2	30,0	0,0	0,000
25.	2021-08-21 12:31:44 WIB	32,4	32,0	56,8	1,810
26.	2021-08-21 16:29:28 WIB	28,0	50,0	0,0	0,000
27.	2021-08-21 20:47:34 WIB	24,3	71,0	0,0	0,000
28.	2021-08-22 00:32:51 WIB	22,7	82,0	0,0	0,000

29.	2021-08-22 04:30:11 WIB	22,4	82,0	0,0	0,000
30.	2021-08-22 08:30:36 WIB	29,8	31,0	0,0	0,000
31.	2021-08-22 12:34:01 WIB	31,8	28,0	27,2	0,866
32.	2021-08-22 16:29:12 WIB	28,1	46,0	5,6	0,178
33.	2021-08-22 20:30:02 WIB	24,0	71,0	0,0	0,000
34.	2021-08-23 00:29:51 WIB	22,3	71,0	0,0	0,000
35.	2021-08-23 04:30:46 WIB	21,0	76,0	0,0	0,000
36.	2021-08-23 08:30:38 WIB	35,6	4,0	13,4	0,425
37.	2021-08-23 12:30:29 WIB	32,4	16,0	73,1	2,327
38.	2021-08-23 16:30:15 WIB	28,7	39,0	1,9	0,060
39.	2021-08-23 20:31:19 WIB	23,9	67,0	0,0	0,000
40.	2021-08-24 00:30:52 WIB	23,3	63,0	0,0	0,000

Keterangan: Luas media tanam 314 cm<sup>2</sup>; berat jenis air 1 gram/cm<sup>3</sup>

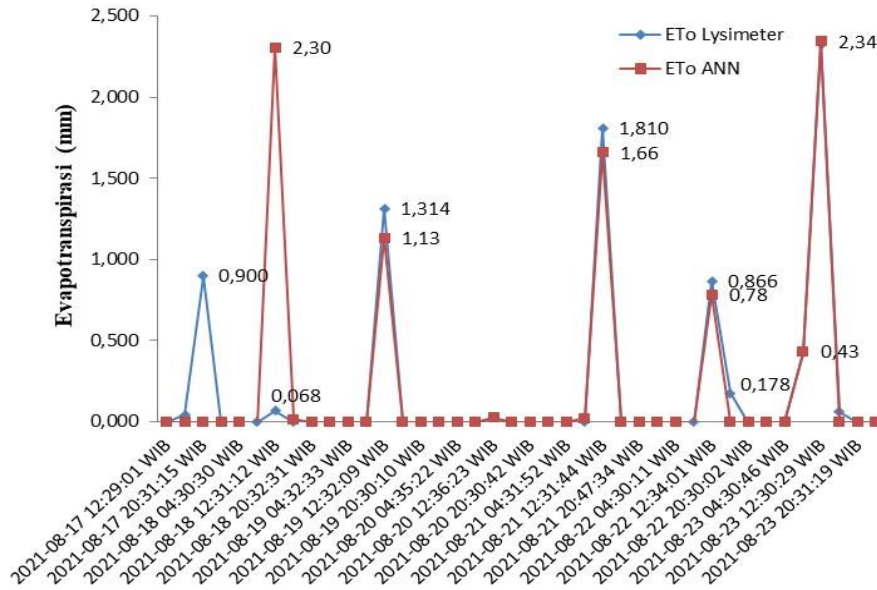
### Validasi Kinerja *Lysimeter* Menggunakan *Back Propagation Artificial Neural Networks* (BPANN)

Beberapa metode prediksi evapotranspirasi yang telah banyak digunakan antara lain metode matematik dan prediksi evapotranspirasi berbasis *artificial neural networks* (ANN). Metode matematik berbasis data suhu dan RH yang sering digunakan dalam memprediksi evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) adalah metode Hargreaves-Smani (HS), metode Thornthwaite (Tho), Hamon (Ham) Linacre (Lin), dan Blaney-Criddle (Lang, *et al.*, 2017). Di sisi lain, prediksi ET<sub>o</sub> berbasis ANN dengan parameter input berupa suhu dan kelembaban relatif menghasilkan luaran evapotranspirasi sangat baik (Ferreira, *et al.*, 2019). Berdasarkan uraian tersebut, model BPANN dipilih untuk memvalidasi kinerja *lysimeter*. Data input berupa suhu dan RH dengan waktu perekaman yang sama dengan perekaman ET<sub>o</sub> *lysimeter* digunakan dalam model BPANN. Selanjutnya, ET<sub>o</sub> hasil model BPANN ini dibandingkan dengan nilai ET<sub>o</sub> hasil pengukuran *lysimeter* berbasis IoT.

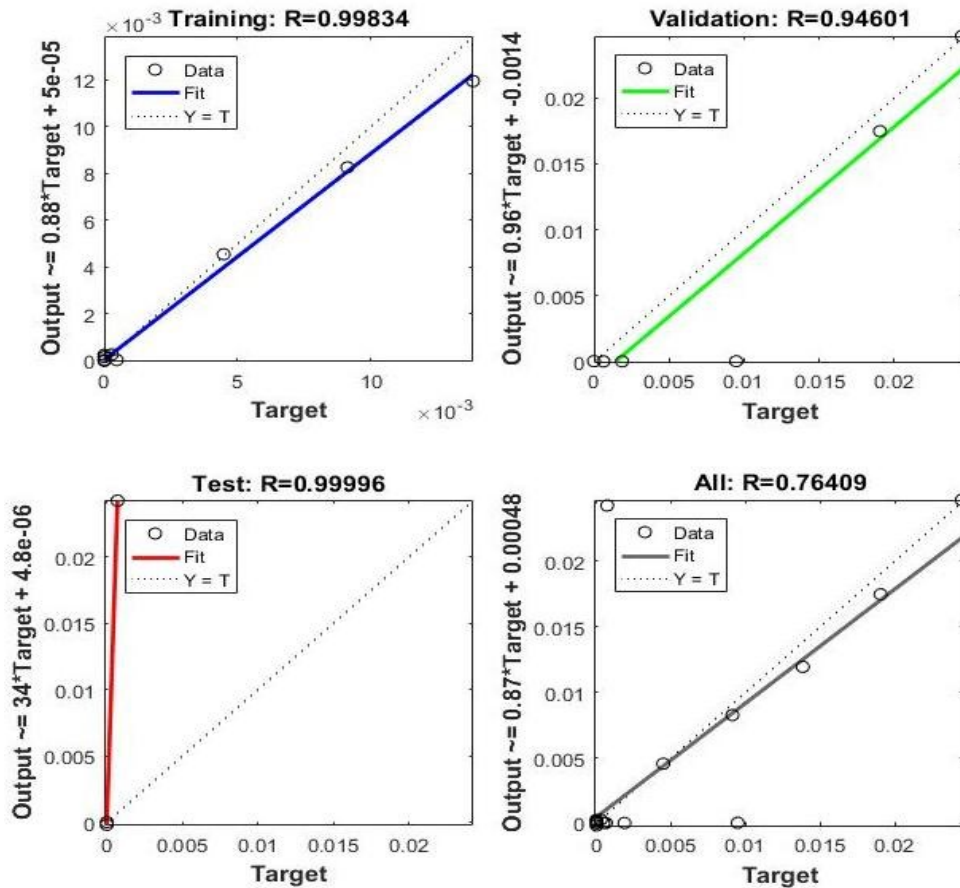
Arsitektur BPANN menggunakan 2 *input layer*, 1 *hidden layer* dengan 3

*neuron*, dan 1 *output layer*. Komposisi data yang digunakan adalah 60% untuk *training*, 20% untuk *validation* dan 20% untuk *testing*. Data input berupa suhu dan RH serta data target berupa ET<sub>o</sub> hasil pengukuran *lysimeter* dapat lihat pada Tabel 4. Sementara itu, hasil validasi kinerja alat *lysimeter* menggunakan pemodelan BPANN disajikan dalam Gambar 11 dan Gambar 12. Gambar 11 menunjukkan bahwa kinerja alat *lysimeter* berbasis IoT ini sangat baik dan mampu merekam data evapotranspirasi potensial (ET<sub>o</sub>) sangat akurat. Hal ini ditunjukkan oleh trend ET<sub>o</sub> *lysimeter* dan ET<sub>o</sub> hasil model BPANN cenderung sama dan berhimpit.

Sementara itu, Gambar 12 menunjukkan bahwa nilai koefisien korelasi (R) dan *Mean Square Error* (MSE) juga sangat baik, yaitu R= 0,998343 dengan MSE= 0,00000019 pada tahap *training*, R= 0,9460054 dengan MSE= 0,0000119 pada tahap *validation*, dan R= 0,99996 dengan MSE= 0,0000693 pada tahap *testing* terhadap hasil pemodelan ET<sub>o</sub> menggunakan BPANN. Dengan demikian *lysimeter* berbasis IoT ini sangat akurat untuk mengukur ET<sub>o</sub> aktual.



Gambar 11. Grafik ETo hasil pengukuran *lysimeter* dan model BPANN



Gambar 12. Nilai koefisien korelasi (R) dan MSE antara nilai ETo hasil pengukuran *lysimeter* dengan analisis BPANN

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Berdasarkan hasil uji kinerja terhadap hasil rancangan *lysimeter* berbasis IoT ini dapat dikemukakan bahwa peralatan berfungsi dengan baik dengan kinerja sangat baik pula. Hasil evaluasi dan validasi terhadap kinerja *lysimeter* dalam pengukuran ETo sangat akurat menggunakan *back propagation artificial neural networks* (BPANN). Hal ini ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi (R) dan *mean square error* (MSE) dengan  $R= 0,998343$  dan  $MSE= 0,00000019$  pada tahap *training*,  $R= 0,9460054$  dengan  $MSE= 0,0000119$  pada tahap *validation*, dan  $R= 0,99996$  dengan  $MSE= 0,0000693$  pada tahap *testing*.

### Saran

Untuk menguji keakurasian alat *lysimeter* berbasis IoT ini perlu dilakukan pengujian pengukuran ETo pada lokasi yang berbeda-beda, sehingga *lysimeter* dianggap layak digunakan pada berbagai kondisi dan lingkungan yang berbeda.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada LP2M Universitas Jember yang telah mendanai penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada pimpinan Fakultas Teknologi Pertanian yang telah mendukung penelitian ini.

## DAFTAR REFERENSI

Abbas, H., Maulana, A., & Baharuddin, N. U. (2020). Rancang Bangun Otomatisasi Pengisian Air Minum Pada. *ILTEK*, 15(April), 9–12.

Adeyemi, O., Grove, I., Peets, S., Domun, Y., & Norton, T. (2018). Dynamic Modelling of Lettuce Transpiration for Water Status Monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*.

<https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.10.008>

- Adha, F., Manik, T., & Rosadi, R. A. B. (2016). Evaluasi Penggunaan *Lysimeter* Untuk Menduga Evapotranspirasi Standar Dan Evapotranspirasi Tanaman Kedelai (*Glycine Max* (L) Merrill). *Jurnal Teknotan*, 10(2), 71–79. <https://doi.org/10.24198/jt.vol10n2.10>
- Arif, C., Setiawan, B. I., & Sofiyuddin, H. A. (2020). Analisis Evapotranspirasi Potensial Pada Berbagai Model Empiris Dan Jaringan Syaraf Tiruan Dengan Data Cuaca Terbatas. *Jurnal Irigasi*, 15(2), 71. <https://doi.org/10.31028/ji.v15.i2.71-84>
- Bouranis, D. L., Dionias, A., Chorianopoulou, S. N., Liakopoulos, G., & Nikolopoulos, D. (2014). Distribution Profiles and Interrelations of Stomatal Conductance, Transpiration Rate and Water Dynamics in Young Maize Laminas under Nitrogen Deprivation. *American Journal of Plant Sciences*, 05(05), 659–670. <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.55080>
- Eichelmann, E., Hemes, K. S., Knox, S. H., Oikawa, P. Y., Chamberlain, S. D., Sturtevant, C., Verfaillie, J., & Baldocchi, D. D. (2018). The Effect of Land Cover Type and Structure on Evapotranspiration from Agricultural and Wetland Sites in The Sacramento–San Joaquin River Delta, California. *Agricultural and Forest Meteorology*. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.03.007>
- Ferreira, L. B., da Cunha, F. F., de Oliveira, R. A., & Fernandes Filho, E. I. (2019). Estimation of Reference

- Evapotranspiration in Brazil with Limited Meteorological Data Using ANN and SVM – A new approach. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.028>
- Fisher, D. K. (2012). Simple Weighing *Lysimeters* for Measuring Evapotranspiration and Developing Crop Coefficients. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 5(3), 35–43. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20120503.007>
- Halperin, O., Gebremedhin, A., Wallach, R., & Moshelion, M. (2017). High-Throughput Physiological Phenotyping and Screening System for The Characterization of Plant–Environment Interactions. *Plant Journal*, 89(4), 839–850. <https://doi.org/10.1111/tpj.13425>
- Jiao, L., Lu, N., Fang, W., Li, Z., Wang, J., & Jin, Z. (2019). Determining The Independent Impact of Soil Water on Forest Transpiration: A Case Study of A Black Locust Plantation In The Loess Plateau, China. *Journal of Hydrology*. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.03.045>
- Kiefer, M. T., Andresen, J. A., Doubler, D., & Pollyea, A. (2019). Development of a Gridded Reference Evapotranspiration Dataset For The Great Lakes region. *Journal of Hydrology: Regional Studies*. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100606>
- Kopczynski, T. (2001). Five Factors That Can Affect Your Weighing System’s accuracy. *Hardy Process Solutions*, 15(9), 31–37.
- Lang, D., Zheng, J., Shi, J., Liao, F., Ma, X., Wang, W., Chen, X., & Zhang, M. (2017). A Comparative Study of Potential Evapotranspiration Estimation By Eight Methods With FAO Penman–Monteith Method in Southwestern China. *Water*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/w9100734>
- Lemordant, L., Gentine, P., Swann, A. S., Cook, B. I., & Scheff, J. (2018). Critical Impact of Vegetation Physiology on The Continental Hydrologic Cycle In Response To Increasing CO<sub>2</sub>. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. <https://doi.org/10.1073/pnas.1720712115>
- Luo, Y., Gao, P., & Mu, X. (2021). Influence of Meteorological Factors on The Potential Evapotranspiration in Yanhe River Basin, China. *Water (Switzerland)*, 13(9), 1–13. <https://doi.org/10.3390/w13091222>
- Mahmoud, S. H., & Gan, T. Y. (2019). Irrigation Water Management In Arid Regions of Middle East: Assessing Spatio-Temporal Variation of Actual Evapotranspiration Through Remote Sensing Techniques and Meteorological Data. *Agricultural Water Management*, 212, 35–47. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.08.040>
- Mundo-Molina, M. (2015). Climate Change Effects on Evapotranspiration in Mexico. *American Journal of Climate Change*, 04(02), 163–172. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2015.42012>
- Nuryanto, R. (2015). *Pengukur Berat dan Tinggi Badan Ideal Berbasis Arduino*. Surakarta: Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Nusantara, D. A. D., Nadiar, F., & Ansori, M. B. (2019). The Behaviour of



- Various Climates Data as A Single Input to The ANN Model of Daily Potential Evapotranspiration's Penman-Monteith. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 139–146.
- Rangan, A. Y., Yusnita, A., & Awaludin, M. (2020). Sistem Monitoring Berbasis Internet of Things pada Suhu dan Kelembaban Udara di Laboratorium Kimia XYZ. *Jurnal E-KOMTEK (Elektro-Komputer-Teknik)*, 4(2), 168–183. <https://doi.org/https://doi.org/10.37339/e-komtek.v4i2.404>
- Sasono, S. H., Nugroho, A. S., Supriyanto, E., & Kusumastuti, S. (2020). IoT Smart Health Untuk Monitoring Dan Kontrol Suhu dan Kelembaban Ruang Penyimpan Obat Berbasis Android di Rumah Sakit Umum Pusat Dr. Sardjito Yogyakarta. *Prosiding Nasional Rekayasa Teknologi Industri Dan Informasi XV Tahun 2020 (ReTII)*, 53–062. <https://journal.itny.ac.id/index.php/ReTII/>
- Suhardi. (2015). Rekayasa Dan Uji Kinerja Prototipe Destilator Skala Laboratorium. *Jurnal Agroteknologi*, 09(02).
- Suhardi. (2020). Rancang Bangun Prototipe Saluran Irigasi Skala Laboratorium. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 8(1), 58–70. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v8i1.169>
- Sun, X., Wilcox, B. P., & Zou, C. B. (2019). Partitioning in Dryland Ecosystems: A global Meta-Analysis of in Situ Studies. *Journal of Hydrology*, 576(June), 123–136. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.022>
- Wahyudi, A., & Sagita, N. (2021). *Alat Ukur Kadar Pati Pada Ubi Kayu Berbasis SMS*. Bangka Belitung: Politeknik Manufaktur Negeri Bangka Belitung.
- Wahyudi, A. T., Utama, Y. W., Bakri, M., & Dadi, S. (2020). Sistem Otomatis Pemberian Air Minum Pada Ayam Pedaging Menggunakan Mikrokontroler Arduino dan RTC DS1302. *JTIKOM*, 1(1), 15–21.
- Wicaksono, M. F. (2017). Implementasi Modul Wifi NodeMCU Esp8266 Untuk Smart Home. *Jurnal Teknik Komputer Unikom-Komputika*, 6(1), 9–14.
- Yulawati, T., Manik, T. K., & Rosadi, R. A. B. (2014). Pendugaan Kebutuhan Air Tanaman dan Nilai Koefisien Tanaman (Kc) Kedelai (Glycine Max (L) Merr II) Varietas Tanggamus Dengan Metode *Lysimeter*. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung*, 3(3), 233–238.
- Yusuf, A., Sugandi, W. K., -, Z., & Tua, C. F. G. (2017). Rancang Bangun Mesin Pengolah Ganyong Multi Fungsi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*, 5(2), 462–471. <https://doi.org/10.29303/jrpb.v5i2.61>