



STASIUN CUACA MINI UNTUK PERTANIAN LAHAN KERING KEPULAUAN TERINTEGRASI IOT

Oleh

Hevenly I.A. Berubu¹, Ali Warsito², Andreas C. Louk³, Bernandus⁴, Theodosius Laubase⁵, Nixon Rammang⁶, Agusthinus Sampeallo⁷, Kalvein Rantelobo^{8*}

^{1,2,3,4}Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

^{5,6}UPT. Lahan Kering Kepulauan, Universitas Nusa Cendana

^{7,8}Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana

Email: ¹kalvein@staf.undana.ac.id, ²eleet189@gmail.com

Article History:

Received: 01-10-2025

Revised: 26-10-2025

Accepted: 03-11-2025

Keywords:

Stasiun Cuaca Mini;

Pertanian Presisi; IoT;

Lahan Kering

Kepulauan

Abstract: Kegiatan yang dilakukan ini adalah Pemberdayaan Masyarakat yang bertujuan untuk membangun sistem sensor terpadu yang akan diterapkan pada mitra berupa inovasi pertanian lahan kering kepulauan yang terintegrasi IoT. Dua buah prototype alat ukur untuk dua parameter ukur berbeda yaitu anemometer dan curah hujan yang terintegrasi IoT sebagai dasar inovasi. Sistem sensor yang dibangun dapat bekerja dengan baik, memiliki penyajian data yang konsisten dan real-time. Prototype anemometer yang dibangun memiliki tingkat presisi yang baik namun akurasi yang cukup rendah di mana koefisien determinan berturut-turut $R^2 = 9 \times 10^{-6}$, $R^2 = 0,1634$, dan $R^2 = 0,0239$, dengan perentase perbedaan nilai relatif 21,29%, 25,14%, dan 25,46%. Prototype Tipping-Bucket Rain Gauge dalam pengukuran curah hujan memiliki akurasi pengukuran yang cukup baik dengan presentase akurasi pengukuran sebesar 95,55%.

PENDAHULUAN

Salah satu provinsi di Indonesia yang memiliki iklim tropis kering adalah Nusa Tenggara Timur (NTT). Sekitar 50% lahan di NTT adalah lahan kering, karena provinsi ini hanya memiliki musim hujan yang berlangsung paling lama 5 bulan, yaitu dari Desember hingga April, dengan suhu udara berkisar antara 24°C hingga 29°C (Mulyani & Sarwani, 2013). Karena iklim tropis kering di NTT, pola pertanian di provinsi ini sangat bergantung pada musim hujan. NTT memiliki keunikan tersendiri dalam hal topografi, kondisi lahan, dan iklim. Sebagai daerah kepulauan, NTT menghadapi tantangan dalam mengelola lahan kering dan menghadapi iklim kering (Rantelobo dkk., 2021). Dikarenakan kondisi tanah, iklim, dan topografi, provinsi NTT memiliki salah satu masalah utama dalam bidang pertanian yaitu masalah ketersediaan air. Ketergantungan pertanian lahan kering di NTT terhadap air hujan harus dikurangi dan dicarikan alternatif pengairan yang lain (Widiyono, 2019).

Salah satu solusi untuk mengurangi ketergantungan terhadap penggunaan air hujan adalah dengan sistem irigasi tetes. Irigasi tetes adalah sistem pengairan terukur yang dengan tujuan untuk mengurangi penggunaan air secara berlebihan, sehingga penggunaan air lebih efisien (Hochmuth, 2017). Sistem ini telah diuji dan dibuktikan cocok pada pertanian lahan kering kepulauan dan menguntungkan dari segi ketahanan air. Namun, sistem ini bukan

tanpa cela. Sistem ini memiliki beberapa kelemahan antara lain memerlukan perawatan yang lebih intensif, penumpukan garam, membatasi pertumbuhan tanaman, dan keterbatasan biaya serta pengetahuan untuk mengelola sistem ini. Dalam kasus ini yang menarik adalah sistem ini membatasi pertumbuhan tanaman jika terjadi cekaman air (*water stress*) (Sapei, 2006). Cekaman air diartikan sebagai kondisi krisis air parah pada tanaman yang menyebabkan penurunan tekanan turgor dalam sel tanaman (Ai, 2010). Cekaman air disebabkan karena kekurangan air yang diperoleh akar dan laju penguapan (evatransportasi) lebih tinggi dibandingkan daya serap air (absorpsi) air oleh akar (Sari, 2018).

Untuk menghindari kondisi cekaman air ini, maka diperlukan daya kelola manajemen air yang baik. Tentu dalam melakukan mitigasi ini diperlukan pengukuran-pengukuran yang tepat, sehingga dapat meningkatkan kinerja sistem pertanian berbasis irigasi tetes menjadi lebih efisien dengan menyediakan air yang cukup untuk mengatasi penyebab cekaman air yang salah satu faktornya adalah akibat adanya laju penguapan yang tinggi, maka diperlukan suatu sistem khusus untuk mengukur laju penguapan dari sebuah daerah. Adapun faktor-faktor fisis penyebab adanya penguapan (*evatranspirasi*) antara lain radiasi panas matahari (index UV), suhu dan kelembaban udara, kecepatan angin tekanan udara dan ketersediaan air (Fibriana dkk., 2018). Alat yang cocok untuk melakukan tugas ini adalah stasiun cuaca. Stasiun cuaca adalah sebuah perangkat yang memuat sebuah sistem ukur yang digunakan untuk mengukur besaran-besaran yang berkaitan dengan cuaca seperti suhu dan kelembaban udara, kecepatan angin, curah hujan, dan indeks UV (Toruan, 2009). Namun, alat pengukuran yang dibutuhkan memiliki harga yang mahal yang akan sangat menyulitkan petani untuk memiliki alat ukur tersebut.

Mengingat masalah-masalah yang telah disebutkan sebelumnya, terdapat peluang untuk mengembangkan sistem yang dapat membantu petani dalam mengelola pertanian di lahan kering di NTT. Secara garis besar kegiatan ini bertujuan untuk memanfaatkan teknologi IoT untuk membangun sebuah sistem pengukuran jarak jauh. Dengan sistem pengukuran jarak jauh diharapkan masalah ketersediaan air dapat diatasi serta dapat dilakukannya perencanaan mitigasi bencana yang akurat dan baik untuk cakupan wilayah yang luas.

METODE

Data curah hujan merupakan informasi penting dalam bidang meteorologi, hidrologi, studi sumber air, dan penanganan bencana alam. Data curah hujan mencerminkan karakteristik cuaca suatu daerah, yang dapat digunakan sebagai dasar untuk pengembangan pengelolaan air dan model ramalan cuaca. Data curah hujan juga memiliki peran penting dalam simulasi proses hidrologi dan pengendalian bencana alam yang disebabkan oleh curah hujan yang tinggi. Selain itu, data ini dapat digunakan sebagai referensi mengenai ketersediaan air selama musim kemarau (Liu dkk., 2019). Data curah hujan dinyatakan dalam satuan milimeter, secara matematis, dapat ditulis sebagai berikut:

$$CH = \frac{V}{A} \quad (1)$$

dimana V Adalah volume hujan (mm^3) dan A Adalah luas permukaan pengukur (mm^2).

Anemometer adalah sebuah alat ukur untuk mengukur kelajuan angin. Berdasarkan model baling-balingnya, anemometer dibagi menjadi 2 model yaitu model horizontal dan model vertikal. Anemometer Model horizontal biasanya dikenal dengan nama lain yaitu

anemometer cup. Dalam kegiatan sebelumnya yang dilakukan oleh Wijayanti dkk. untuk menghitung kelajuan angin menggunakan cup anemometer dibangun sebuah *prototype* dari cup anemometer dengan syarat mengabaikan faktor gesekan pada poros baling-baling dan dianggap bahwa besar kelajuan angin berbanding lurus dengan kecepatan putaran baling-baling. dalam penelitian yang dilakukan ini juga memanfaatkan sinyal *interrupt* yang dihasilkan oleh sensor *optokopler* sebagai penanda sebuah bahwa baling tersebut telah menyelesaikan satu putaran. Digunakan persamaan:

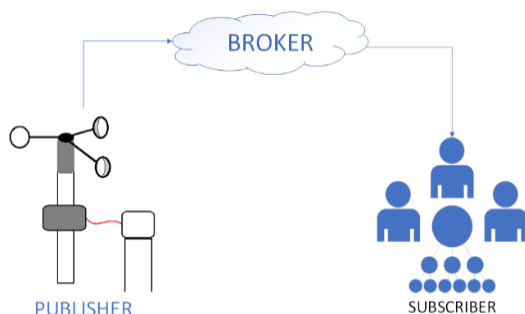
$$v = S \cdot f \quad (2)$$

dengan S adalah panjang lintasan terjauh sapuan baling-baling dan f adalah banyaknya sinyal *interrupt*.

Stasiun cuaca adalah instrumen yang menghadirkan informasi yang sangat berharga tentang keadaan atmosfer. Dari suhu udara yang terasa, hingga kelajuan angin yang menghembuskan udara segar, stasiun cuaca menjadi alat kunci untuk mengukur dan memahami cuaca. Data-data yang terkumpul dari pengukuran ini kemudian diolah dan dianalisis untuk memberikan gambaran yang akurat tentang kondisi cuaca di daerah tersebut. *Tipping-Bucket Rain Gauge* merupakan salah satu instrumen yang digunakan untuk mengukur curah hujan. Instrumen ini telah digunakan secara luas sejak diperkenalkan pada tahun 1970 karena kemudahan penggunaannya dan daya tahan yang baik. Keunggulan lain dari *Tipping-Bucket Rain Gauge* adalah kemampuannya untuk dipasang di daerah terpencil, serta dapat diintegrasikan dengan berbagai perangkat pemantauan dan perekaman data. Selain itu, instrumen ini juga relatif lebih terjangkau secara biaya.

Perancangan Sistem

Dalam merancang sebuah sistem tentu diperlukan adanya suatu sketsa awal perencanaan perancangan sistem. Dalam kegiatan ini menggunakan sensor curah hujan dan kelajuan angin yang akan terhubung pada sebuah jaringan nirkabel. Sketsa awal perancangan sistem ini terdapat pada Gambar 1.



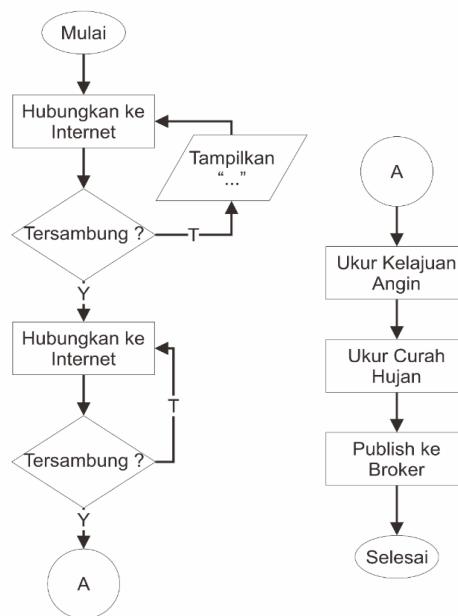
Gambar 1. Rancangan System

Pada rancangan sistem seperti yang telah ditampilkan pada Gambar 1, sistem ini terdiri dari komponen sistem utama yaitu sensor, server dan pengguna. Sensor bertugas untuk mengambil data pengukuran, mengolah data pengukuran, serta mengirim data hasil pengukuran ke *database* server MQTT. Server MQTT berfungsi sebagai penghubung antara

sensor dan pengguna. Selain sebagai penghubung antara sensor dan pengguna, server juga berfungsi sebagai *data-logger*, mengatur tampilan web pengguna dan sebagai broker MQTT. Sementara itu untuk *Publisher Line* adalah garis yang menunjukkan jalur komunikasi perangkat sebagai *publisher*. Sedangkan *Subscriber Line* adalah garis yang menjelaskan tentang jalur komunikasi sebagai *subscriber*. Pada sistem ini setiap perangkat baik itu pengguna atau sensor diatur sebagai *publisher* dan *subscriber* dengan tujuan untuk membangun komunikasi dua arah antara pengguna dan sensor sehingga pengguna dapat mengontrol sensor dari jauh.

Proses dan Alur Pengambilan Data

Sistem ini menjalankan banyak fungsi sehingga algoritma yang digunakan beragam. Beberapa proses yang logis untuk merancang perangkat lunak yang digunakan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Keseluruhan proses pengambilan data dapat di lihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Proses Pengambilan Data

Pendekatan matematis perhitungan kelajuan angin

Dalam kegiatan ini menggunakan tiga buah magnet yang akan menyebabkan perubahan medan magnet pada sumber sinyal *interrupt* dalam hal ini sensor *hall effect* A3144. Ketiga magnet ini terpisah masing-masing sejauh 120°. Model ini juga diperkirakan dapat digunakan untuk mengukur kelajuan angin yang lebih cepat karena baling-baling tidak perlu melakukan putaran penuh untuk sensor dapat mengirimkan sinyal *interrupt* ke *mikrokontroler*. Model ini juga sedikit berbeda dengan model yang digunakan dalam kegiatan sebelumnya, maka pendekatan ulang secara matematis diperlukan. Pada persamaan (1) telah diketahui bahwa kelajuan angin (v) merupakan hasil kali dari panjang lintasan sapuan sudu terjauh (S) terhadap perbandingan sinyal *interrupt* yang direkam dengan enam puluh (f), yang mana secara matematis ditulis



$$v = S \cdot f \quad (3)$$

Namun dalam kegiatan yang akan dibuat, karena terdapat tiga buah magnet maka sinyal *interrupt* akan tiga kali lebih banyak dibandingkan dengan sistem dalam kegiatan sebelumnya. Karena hal ini maka besar sinyal *interrupt* yang diterima akan dibagi tiga. Sehingga dalam sistem ini persamaan (3) akan menjadi:

$$\begin{aligned} v &= S \cdot \frac{f}{3} \\ v &= \frac{2}{3} \pi r f \end{aligned} \quad (4)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Kalibrasi anemometer

Untuk melakukan kalibrasi anemometer digunakan sebuah kipas angin yang memiliki 3 skala kekuatan putar baling-baling yang mana setiap skala pada kipas angin memiliki kecepatan putar kipas yang berbeda-beda. Semakin besar nilai skalanya semakin kuat juga putaran kipas angin tersebut. Kipas angin tersebut dapat disusun sejajar dengan anemometer namun arah angin di arahkan tepat pada sudu dari anemometer. Kipas angin dihidupkan dengan cara menekan tombol skala kipas angin sesuai dengan yang diinginkan. Setelah kipas angin berputar dan pengukur kelajuan angin juga berputar stabil maka banyaknya sinyal *interrupt* yang masuk harus dicatat. Pengukuran kelajuan angin dilakukan selama 10 menit untuk setiap skala kipas angin. Banyaknya sinyal *interrupt* yang diterima akan dianggap sebagai sebuah pulsa data oleh *mikrokontroler* sehingga Tabel 1. menunjukkan data hasil kalibrasi Anemometer.

Tabel 1. Data Kalibrasi Anemometer Beserta Total Waktu Tempuh

Menit ke-	Skala 1	t ₁ (s)	Skala 2	t ₂ (s)	Skala 3	t ₃ (s)
1	125	58,96	170	58,92	188	59,55
2	135	59,86	128	59,68	175	59,71
3	136	59,29	140	59,52	185	59,58
4	142	59,61	160	59,35	187	59,60
5	115	59,51	155	59,91	176	59,40
6	139	59,75	169	59,51	184	59,80
7	131	59,13	144	59,30	180	59,65
8	130	59,95	186	59,77	186	59,59
9	132	59,14	167	59,70	188	59,66
10	133	59,82	162	59,63	184	59,51

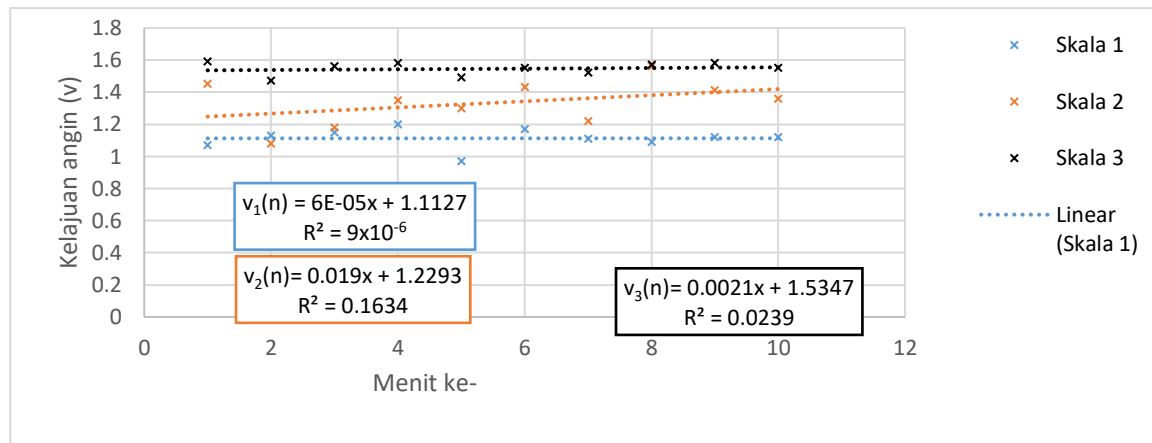
Tabel 1. menunjukkan Data Kalibrasi yang dilakukan dengan menggunakan sebuah kipas angin dengan 3 skala kecepatan, dalam penelitian ini diberi nama skala 1, skala 2 dan skala 3. Proses kalibrasi dilakukan selama 10 menit dan dalam pengukuran ini didapati bahwa total waktu tempuh yang dibutuhkan anemometer dalam satu menit tidak benar-benar enam puluh detik, namun nilai total waktu tempuh lebih kecil dari enam puluh detik. Hal ini dikarenakan batas waktu pengukuran sudah mencapai enam puluh detik maka *mikrokontroler* akan memulai perhitungan kelajuan angin yang baru. Pada Tabel 4.1. nilai yang terdapat pada kolom dengan judul kolom skala 1, skala 2 dan skala 3 adalah banyaknya

nilai interupsi yang didapatkan dari pengukuran pada setiap skala kecepatan kipas angin. Sedangkan nilai yang ada pada kolom dengan judul t_1 , t_2 dan t_3 merupakan nilai hasil perhitungan waktu yang terekam semenjak *prototype* ini dijalankan. Data hasil perhitungan waktu ini didapati dengan cara mengurangi waktu awal sinyal interupsi pertama dicatat dengan waktu pengukuran terakhir pada menit pengukuran itu yang tercatat. Setelah melalui perhitungan dan pengolahan data, nilai pada Tabel 1. dapat ditampilkan seperti data pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai Variabel f Dalam Setiap Siklus Pengukuran

No.	Skala 1	f_1	$v_1 (m.s^{-1})$	Skala 2	f_2	$v_2 (m.s^{-1})$	Skala 3	f_3	$v_3 (m.s^{-1})$
1.	125	2,12	1,07	170	2,89	1,45	188	3,16	1,59
2.	135	2,26	1,13	128	2,14	1,08	175	2,93	1,47
3.	136	2,29	1,15	140	2,35	1,18	185	3,11	1,56
4.	142	2,38	1,20	160	2,70	1,35	187	3,14	1,58
5.	115	1,93	0,97	155	2,59	1,30	176	2,96	1,49
6.	139	2,33	1,17	169	2,84	1,43	184	3,08	1,55
7.	131	2,22	1,11	144	2,43	1,22	180	3,02	1,52
8.	130	2,17	1,09	186	3,11	1,56	186	3,12	1,57
9.	132	2,23	1,12	167	2,80	1,41	188	3,15	1,58
10.	133	2,22	1,12	162	2,72	1,36	184	3,09	1,55

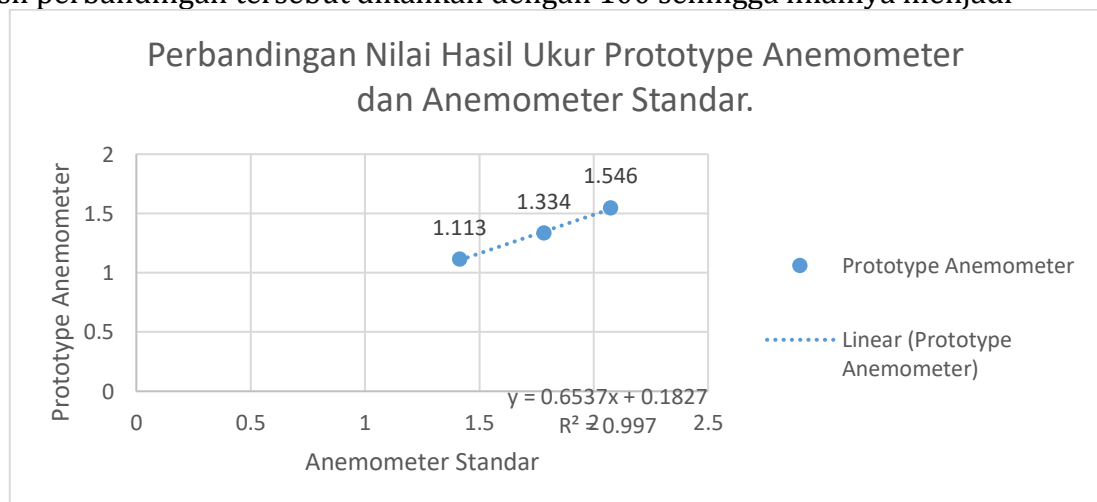
Untuk mendapatkan nilai variabel f agar dapat dihitung kelajuan angin dengan Persamaan (3), Maka harus dihitung nilai f menggunakan persamaan (4) namun dalam perhitungan ini tidak digunakan 60 sebagai penyebut tapi menggunakan total waktu tempuh dari baling untuk mencapai banyaknya putaran yang tercatat dalam kurun satu menit. Untuk mendapatkan hasil kelajuan angin dari setiap siklus pengukuran nilai variabel f harus dikalikan dengan panjang lintasan satu sudu jika bergerak sejauh 120° atau dalam kasus ini disebut dengan nama variabel S . Dalam sistem ini variabel S memiliki nilai sebesar $(\bar{S} \pm \Delta S) = (16\pi \pm 0,08\pi^2)cm$ atau $(\bar{S} \pm \Delta S) \approx (50,24 \pm 0,7888)cm$. Pada Gambar 3 diperlihatkan tiga *trenline* yang menjelaskan kecenderungan data dari masing-masing hasil pengukuran. Ketiga *trenline* tersebut dinyatakan dengan fungsi $v_n(n)$, di mana v_n adalah kelajuan angin pada menit ke n . Berturut-turut fungsi *trenline* dari ketiga data tersebut adalah $v_1(n) = (6.10^{-6})x + 1,1127$, $v_2(n) = 0,019x + 1,2293$ dan $v_3(n) = 0,0021x + 1,5347$. Ketiga fungsi ini menunjukkan bahwa koefisien kemiringan dari setiap fungsi adalah sangat kecil sehingga ini mengakibatkan rendahnya variasi data yang ada sehingga data hasil perhitungan cenderung konstan. Bukti lain yang menunjukkan bahwa ketiga data ini memiliki hasil yang konstan adalah ketiga data tersebut memiliki *trenline* yang mendekati garis horizontal yang mengindikasikan bahwa data tersebut memiliki variasi data yang rendah dan data-data tersebut cenderung menunjukkan nilai konstan.



Gambar 3. Grafik Sebaran Data dan Hasil Kalibrasi Anemometer

Nilai R^2 dari ketiga data yang dimiliki juga menunjukkan hubungan yang sangat rendah antara kelajuan angin dan pengukuran berulang setiap menitnya. Berturut-turut nilai R^2 dari ketiga data tersebut adalah $R^2 = 9 \times 10^{-6}$, $R^2 = 0,1634$, $R^2 = 0,0239$. Hal ini membuktikan juga bahwa data hasil pengukuran ini cenderung konstan. Menurut hasil pengukuran ketiga skala tersebut memberikan kelajuan angin pada masing-masing skala berturut-turut $v_1 = (\bar{v}_1 \pm \Delta v_1) = (1,113 \pm 0,0627)$ m/s, $v_2 = (\bar{v}_2 \pm \Delta v_2) = (1,334 \pm 0,1425)$ m/s, dan $v_3 = (\bar{v}_3 \pm \Delta v_3) = (1,546 \pm 0,0403)$ m/s.

Dari data hasil pengukuran dengan anemometer ini masing-masing $(1,414 \pm 0,1371)$ m/s, $(1,782 \pm 0,2582)$ m/s, dan $(2,075 \pm 0,2390)$ m/s. Jika dibandingkan dengan hasil perhitungan yang dilakukan dengan memanfaatkan hasil ukur menggunakan anemometer yang dibuat sendiri maka akan didapati akurasi dari pengukuran menggunakan *prototype* anemometer. Adapun persentasi rasio perbandingan antara hasil pengukuran kedua alat ukur tersebut dengan membandingkan nilai hasil ukur anemometer pada masing-masing skala, hasil perbandingan tersebut dikalikan dengan 100 sehingga nilainya menjadi



Gambar 4. Perbandingan Hasil Ukur Kecepatan Angin dari Prototype Anemometer dengan Anemometer Baku

Gambar 4 adalah gambar yang menunjukkan hasil perbandingan data pengukuran kelajuan angin untuk kalibrasi *prototype* anemometer terhadap anemometer standar. Dari tiga skala pengukuran yang didasarkan pada tiga skala kecepatan kipas angin yakni skala 1, skala 2, dan skala 3. Hasil pengukuran dari ketiga skala tersebut dilakukan analisis regresi linear antara hasil pengukuran anemometer standar berada di sumbu-x dan nilai pengukuran dari *prototype* anemometer berada pada sumbu-y. Dibuat fungsi *trenline* dari hasil pengukuran itu dan fungsi *trenline* ini akan digunakan untuk dimasukkan dalam program *prototype*, agar *prototype* dapat menghasilkan nilai pengukuran yang sebenarnya. Fungsi *trenline* dari perbandingan kedua hasil pengukuran tersebut adalah $y = 0,6537x + 0,1827$. Yang mana fungsi ini jika ingin digunakan pada program untuk mikrokontrol

Adapun bentuk umum dari suatu fungsi regresi linear adalah sebagai berikut :

$$y = ax + b \quad (5)$$

yang mana dalam kasus ini variabel terikat y adalah adalah hasil pengukuran kelajuan angin dengan *prototype* anemometer sedangkan variabel bebas x merupakan hasil pengukuran kelajuan angin dengan anemometer *standart* atau baku yang dianggap menampilkan nilai sebenarnya, a dan b adalah konstanta. Pada persamaan (5) dapat dilihat bahwa kelajuan angin hasil pengukuran dari *prototype* anemometer disimbolkan dengan variabel v , yang mana dapat dituliskan sebagai berikut :

$$v = \frac{2}{3}\pi r f \quad (6)$$

Karena variabel terikat y pada persamaan (6) dan variabel v pada persamaan (5) merujuk pada suatu hal yang sama maka dapat dilakukan suatu operasi matematis untuk mencari besar nilai variabel bebas x pada persamaan (6) yang merupakan nilai sebenarnya dari kelajuan angin terukur. Sehingga

$$\begin{aligned} y &= v \\ ax + b &= \frac{2}{3}\pi r f \\ ax &= \frac{2}{3}\pi r f - b \end{aligned}$$

Maka,

$$x = \frac{\left(\frac{2}{3}\pi r f - b\right)}{a} \quad (7)$$

Pada persamaan hasil regresi linear serta semua data pengukuran yang didapat, diketahui nilai konstanta a adalah 0,6537, nilai konstanta b adalah 0,1827 dan nilai r adalah 0,18 m. Maka persamaan (7) dapat dihitung dengan mengganti variabel-variabel yang telah diketahui nilainya dan dilakukan operasi matematis sehingga,

$$\begin{aligned} x &= \frac{\left(\frac{2}{3}\pi r f - b\right)}{a} \\ x &= \frac{\left(\frac{2}{3}\pi \cdot 0,18 \cdot f - 0,1827\right)}{0,6537} \\ x &= 0,5767f - 0,2795 \end{aligned} \quad (8)$$

Untuk mengetahui batas pengukuran terendah dari alat ukur ini persamaan (7) dapat ditulis menjadi: misalkan $x = 0$, maka

$$0 = 0,5767f - 0,2795$$

$$0,2795 = 0,5767f$$

$$f = \frac{0,2795}{0,5767}$$

Maka,

$$f \approx 0,4846 \text{ Hz}$$

Dari hasil operasi matematis di atas dapat dilihat bahwa batas minimum pengukuran kelajuan angin dari sistem ini adalah 0,4846 Hz. Dari Gambar 4, juga dapat dilihat bahwa kedua hasil pengukuran tersebut sama-sama memiliki tren positif yang menandakan bahwa hasil pengukuran kedua alat tersebut akan merespons perubahan kecepatan angin yang diberikan oleh kipas.

Kalibrasi alat ukur curah hujan

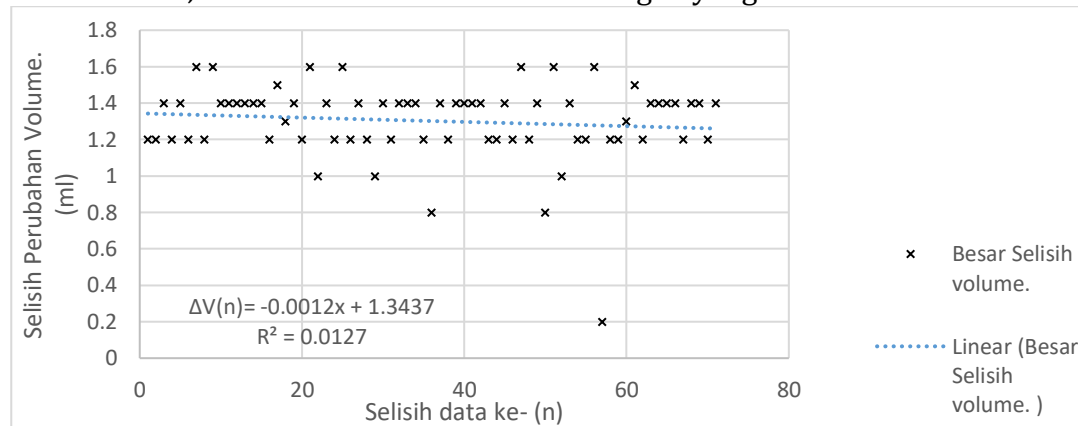
Dalam proses kalibrasi *Tipping-Bucket Rain Gauge Gauge*, digunakan jarum suntik dengan volume 10 ml, gelas ukur, air 100 ml, *waterpass* dan sebuah bidang datar. Langkah pertama bidang datar ditempatkan pada lantai dan diukur kemiringannya menggunakan *waterpass*. Jika sudah datar, maka diletakkan *Tipping-Bucket Rain Gauge Gauge* di atas bidang tersebut. Lalu diambil air 10 ml dari dalam gelas ukur dan dimasukkan ke dalam jarum suntik. Setelah itu teteskan secara perlahan ke penampung dari *Tipping-Bucket Rain Gauge Gauge* hingga terjadi perubahan posisi pada *tipp-bucket* yang ditandai dengan bunyi "tik". Ulangi proses penetesan air ke penampung *Tipping-Bucket Rain Gauge Gauge*. Dicatat sisa dari volume air dalam jarum suntik setiap kali terjadi pergantian posisi dari *tipp-bucket*. Jika air pada jarum suntik habis maka diisi ulang dengan volume yang sama hingga air pada gelas ukur habis. Data hasil kalibrasi ini tertuang dalam lampiran. Untuk mendapatkan besar volume *Tipping-Bucket Rain Gauge*, data harus diolah dengan cara menghitung selisih dari perubahan volume jarum suntik setiap kali adanya pergantian posisi dari *tipp-bucket*. Untuk itu Tabel 3 memuat selisih data setiap pengukuran

Table 3. Selisih Perubahan Volume *Tipping-Bucket Rain Gauge*

ΔV_{K1}	ΔV_{K2}	ΔV_{K3}	ΔV_{K4}	ΔV_{K5}	ΔV_{K6}	ΔV_{K7}	ΔV_{K8}	ΔV_{K9}	ΔV_{K10}
1,2	1,2	1,4	1	1	1,8	1,2	0,8	1,4	1,4
1,2	1,6	1,2	1,4	1,4	1,4	1,2	1,6	1,2	1,4
1,4	1,4	1,5	1,2	1,2	1,2	1,4	1	1,2	1,2
1,2	1,4	1,3	1,6	1,4	1,4	1,2	1,4	1,3	1,4
1,4	1,4	1,4	1,2	1,4	1,4	1,6	1,2	1,5	1,4
1,2	1,4	1,2	1,4	1,4	1,4	1,2	1,2	1,2	1,2
1,6	1,4	1,6	1,2	1,2	1,4	1,4	1,6	1,4	1,4
-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	-

Gambar 5, menunjukkan sebaran data setiap selisih perubahan volume air dalam jarum suntik. Selisih perubahan ini dianggap sama dengan volume dari *tipp-bucket*. Besar volume *tipp-bucket* yang didapat adalah $V = (\bar{V} \pm \Delta V) = (1,3014 \pm 0,2148)$ ml dengan akurasi pengukuran adalah sebesar 83.4944%. Pada grafik juga diplot sebuah *trenline* yang

tergambar dengan fungsi $\Delta V(n) = -0,0012x + 1,3437$ dengan ΔV adalah perubahan volume dan n adalah banyaknya pengulangan yang dilakukan. Fungsi *trenline* tersebut memiliki koefisien kemiringan $-0,0012$. Koefisien ini mengindikasikan bahwa terdapat hubungan negatif antara perubahan volume air terhadap banyaknya pengulangan yang memiliki arti semakin banyak pengulangan pengukuran dilakukan akan semakin kecil nilai volume yang didapat. Namun, argumen tersebut dapat dipatahkan karena perbandingan antara nilai konstanta dalam hal ini $1,3437$ dan nilai koefisien kemiringan yang mendekati nilai nol.



Gambar 5. Grafik Sebaran Volume *Tipp-Bucket*

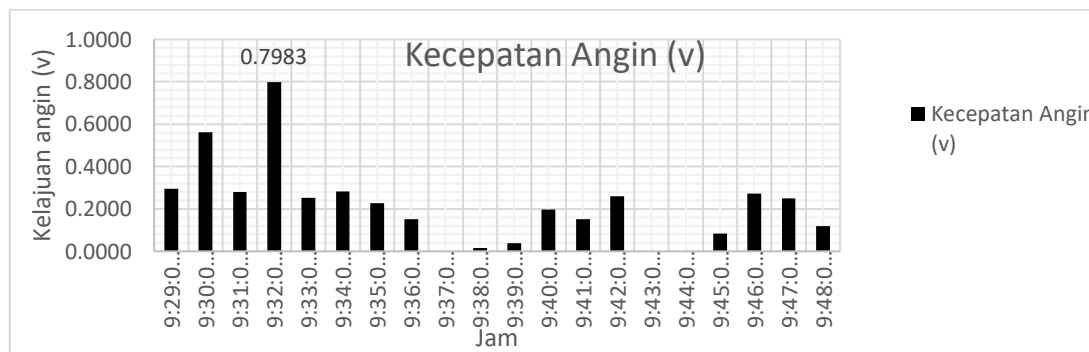
Perbandingan tersebut mengindikasikan bahwa faktor yang menyebabkan perubahan terhadap selisih volume air dapat diabaikan karena tidak menyebabkan suatu perubahan yang berarti. Fungsi ini juga memiliki garis kemiringan yang hampir horizontal yang mengindikasikan bahwa hasil pengukuran mendekati nilai konstan. Nilai R^2 yang rendah juga mengindikasikan bahwa hubungan antara banyaknya pengukuran terhadap hasil pengukuran sangat rendah atau hampir tidak ada. Nilai R^2 dalam kasus ini adalah $0,0127$. Nilai ini hampir mendekati nilai nol, yang mana ini menunjukkan bahwa hubungan antara banyaknya pengukuran terhadap hasil ukur sangat lemah atau bahkan tidak ada. Ini mengindikasikan juga bahwa hasil pengukuran memiliki nilai yang konstan. Untuk mendapatkan besar pengukuran curah hujan, dibutuhkan juga informasi mengenai luas penampang yang menampung air ke dalam *tipp-bucket*. Untuk itu dilakukan pengukuran terhadap luas penampang dari *Tipping-Bucket Rain Gauge* menggunakan jangka sorong, diukur panjang dan lebar dari penampang. Pengukuran panjang dan lebar penampang *Tipping-Bucket Rain Gauge* dilakukan masing-masing sebanyak sepuluh kali dengan ketidakpastian jangka sorong adalah $0,0025$ cm. Dari hasil pengukuran tersebut dicari nilai sebenarnya dari panjang dan lebar penampang *Tipping-Bucket Rain Gauge*. Masing-masing hasil pengukuran tersebut adalah $p = (\bar{p} \pm \Delta p) = (8,629 \pm 0,0207)$ cm dan $l = (\bar{l} \pm \Delta l) = (3,4835 \pm 0,0184)$ cm, di mana p adalah panjang dan l adalah lebar. Dengan menggunakan perhitungan luas untuk bangun datar persegi panjang maka luas dari penampang ini adalah $A = (\bar{A} \pm \Delta A) = (30,0591 \pm 0,1744)$ cm². Karena telah diketahui volume *tipp-bucket* dan luas penampang, maka dapat dilakukan perhitungan untuk menghitung curah hujan yang dapat diukur setiap dalam setiap *tipp-bucket* dengan menggunakan persamaan 2.1. Sehingga curah hujan yang terukur dalam satu *tipp-bucket* adalah $CH = (\bar{CH} \pm \Delta CH) = (0,04397 \pm 0,005412)$ cm atau $(0,4397 \pm 0,05412)$ mm dengan akurasi sebesar 87,6924 %. Dari data

hasil kalibrasi ini dapat dilihat bahwa *Tipping-Bucket Rain Gauge* ini memiliki tingkat akurasi yang baik serta data yang dihasilkan memiliki variasi data dengan rasio yang kecil sehingga memiliki tingkat presisi yang baik.

DISKUSI

Hasil uji *prototype* anemometer

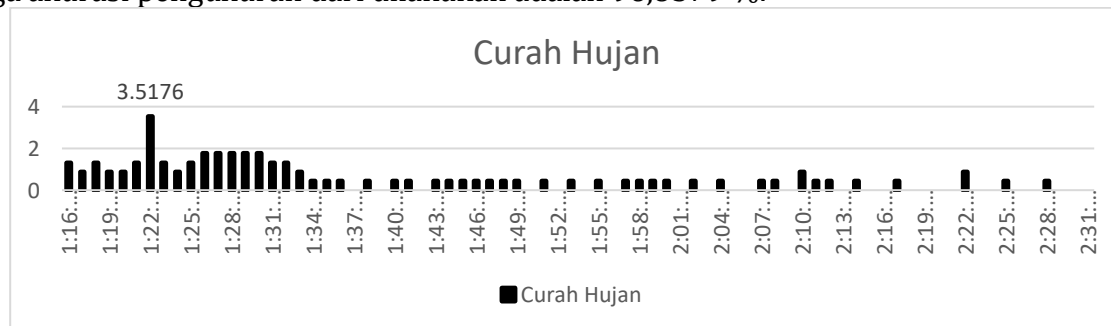
Pengujian anemometer dilakukan pada tanggal 23 Mei 2023. Pengujian dilakukan selama 20 menit dimulai dari pukul 21.29.00 WITA hingga pukul 21.48.00. Kelajuan angin tertinggi tercatat pada pukul 21.23 WITA dengan kelajuan angin sebesar $0,7983 \text{ ms}^{-1}$. Gambar 6, memuat hasil uji anemometer. Pada gambar tersebut tersaji data hasil uji kelajuan angin selama 20 menit.



Gambar 6. Hasil Uji Anemometer

Pengujian *Tipping-Bucket Rain Gauge*

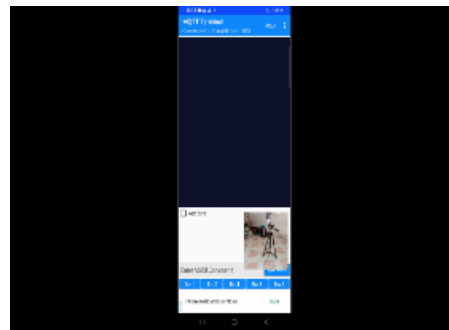
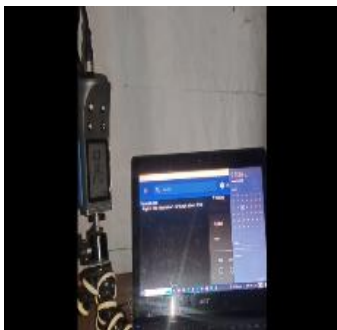
Pengujian *Tipping-Bucket Rain Gauge* dilakukan pada tanggal 09 Februari 2023 pada mitra. Pengujian ini dilakukan dari pukul 13.16 WITA hingga pukul 15.30 WITA. Pengujian juga menggunakan *Ombrometer* sebagai alat ukur pembandingan. Gambar 7, menunjukkan sebaran data curah hujan yang terukur oleh *Tipping-Bucket Rain Gauge*. Sebaran data hasil ukur curah hujan menunjukkan bahwa intensitas curah hujan yang terjadi pada waktu pengukuran tersebut tidak konstan dan bersifat *eratik*. Hal ini terbukti dari hasil terjadi loncatan pada pukul 13.22 WITA dengan banyak curah hujan sebesar 3,5176 mm. Dengan total hasil pengukuran adalah 40,8921 mm. Data hasil pengukuran curah hujan dari *ombrometer* adalah 37,75 mm. Kedua data tersebut memiliki selisih nilai sebesar 3,1421 mm, sehingga akurasi pengukuran dari dilakukan adalah 96,8579 %.



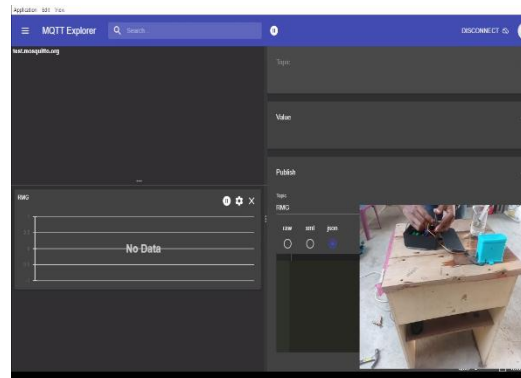
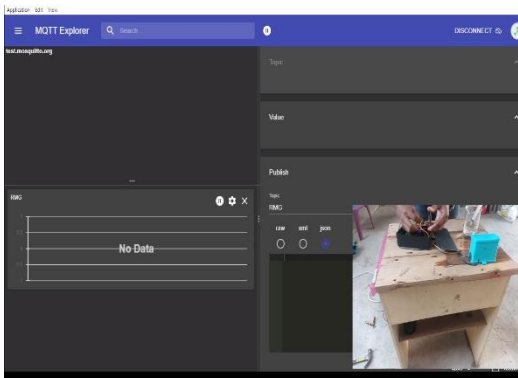
Gambar 7. Hasil Uji *Tipping-Bucket Rain Gauge*

Trenline dari grafik di atas juga menunjukkan bahwa curah hujan menurun seiring berjalannya waktu. Terbukti dengan koefisien kemiringan yang berada diangka -30,118 yang mana mengindikasikan bahwa intensitas curah hujan dan pertambahan waktu memiliki hubungan negatif. Walaupun demikian pengaruh waktu terhadap curah hujan lemah, yang mana terindikasi dari koefisien R^2 yang berada diangka 0,4463.

Adapun hasil pengukuran dari anemometer dan *Tipping-Bucket Rain Gauge* ditampilkan pada MQTT monitor. Gambar 8. menunjukkan tampilan pada MQTT monitor untuk pengukuran kelajuan angin. Gambar 9 menunjukkan tampilan MQTT monitor untuk *Tipping-Bucket Rain Gauge*. Tampilan MQTT monitor digunakan sebagai penampil *output* data hasil pengukuran yang digunakan untuk mengukur kelajuan angin curah hujan. Kelebihan dari penggunaan MQTT monitor ini adalah terdapat pencatatan waktu pengiriman data. Sehingga, pengguna dapat melakukan analisis kecepatan pertukaran data dan juga lamanya penundaan akibat masalah-masalah teknis.



Gambar 8. Tampilan MQTT pengukuran Angin



Gambar 9. Tampilan MQTT kalibrasi Tipping Bucket Rain Gauge

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari kegiatan ini adalah:

1. Telah dilakukan kegiatan PKM untuk membangun jaringan sensor nirkabel berbasis IoT dalam pertanian lahan kering. Dalam kegiatan ini digunakan sensor pengukur curah hujan dan pengukur kelajuan angin mampu mengirim data dengan konsisten dan *real-time*.
2. *Prototype* anemometer yang dibangun memiliki kinerja yang baik dengan nilai



koefisien deteminan yang mendekati nilai nol disetiap pengukurannya pada skala 1, skala 2 dan skala 3 masing-masing dengan nilai berturut-turut $R^2 = 9 \times 10^{-6}$, $R^2 = 0,1634$, dan $R^2 = 0,0239$. *Prototype* anemometer yang dibangun memiliki kelemahan yaitu frekuensi putaran dari baling-baling harus berada di atas 0,4846 Hz untuk mendapatkan nilai pengukuran yang sebenarnya.

3. *Prototype Tipping-Bucket Rain Gauge* menunjukkan hasil pengukuran yang cukup baik di mana ketika dilakukan pengujian dengan *ombrometer* BMKG didapati hasil pengukuran prototype adalah 40,8921 mm sedangkan dari *ombrometer* sebesar 37,75 mm dengan akurasi 95,55%.
4. Kegiatan ini perlu dikembangkan dan dilanjutkan dengan penambahan perangkat dan sensor pengukuran untuk berbagai parameter pada mitra sehingga Stasiun Cuaca Mini ini dapat memberikan hasil yang optimal bagi ketersediaan data yang valid bagi Pertanian Presisi di lahan kering kepulauan.

ACKNOWLEDGEMENTS

Penulis mengucapkan terima kasih kepada berbagai pihak yang telah mendukung sehingga kegiatan dan artikel ini dapat diterbitkan, utamanya: pihak LPPM Undana yang sudah memberikan bantuan hibah dengan kontrak No. 176/UN15.22/PL/2025 TA. 2025; UPT. Lahan Kering Kepulauan Undana sebagai mitra; BMKG NTT; Prodi Teknik Elektro dan Fisika FST Undana; dan reviewer anonymous yang sudah memberikan saran serta perbaikan pada artikel ini.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Ai, S. N. 2010. "Pengujian Kandungan Klorofil Total, Klorofil a dan b, sebagai Indikator Cekaman Kekeringan pada Padi (*Oryza sativa* L.)." *Jurnal Ilmiah Sains* 10 (1): 86–30.
- [2] Fibriana, R., Y. S. Ginting, E. Ferdiansyah, dan S. Mubarak. 2018. "Analisis Besar atau Laju Evapotranspirasi pada Daerah Terbuka." *Agrotekma: Jurnal Agroteknologi dan Ilmu Pertanian* 2 (2). Akses di: <http://ojs.uma.ac.id/index.php/agrotekma>.
- [3] Hochmuth, G. 2017. "Drip Irrigation." Dalam *A Guide to the Manufacture, Performance, and Potential of Plastics in Agriculture*, 85–114. Amsterdam: Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102170-5.00005-1>.
- [4] Liu, K., J. Jhou, S. Wei, dan C. Chien. 2019. "Tipping Bucket Rain Gauge Performance Analysis Under Heavy Rainfall." *Advancements in Civil Engineering & Technology* 3 (3). <https://doi.org/10.31031/acet.2019.03.000564>.
- [5] Mulyani, A., dan M. Sarwani. 2013. "Karakteristik dan Potensi Lahan Sub Optimal untuk Pengembangan Pertanian di Indonesia." *Jurnal Sumberdaya Lahan* 7 (1): 47–55.
- [6] Rantelobo, K., H. F. J. Lami, A. C. Louk, B. Bernandus, dan T. Olviana. 2021. "Design Implementation of Wireless Multimedia Sensor Networks for Dryland Agriculture." *Journal of Physics: Conference Series* 2017 (1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2017/1/012013>.
- [7] Sapei, A. 2006. *Irigasi Tetes*, 2006 ed. Bagian Teknik Tanah dan Air, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB.
- [8] Sari, D. F. N. I. 2018. *Perencanaan Kebutuhan Air dan Penjadwalan Irigasi Tetes pada Tanaman Apel Manalagi (Malus sylvestris) Menggunakan Software CropWatt 8.0 [Skripsi]*. Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Brawijaya.

-
- [9] Toruan, K. L. 2009. Automatic Weather Station (AWS) Berbasis Mikrokontroler. Universitas Indonesia.
- [10] Widiyono, W. 2019. Pendekatan Lanskap Ekosistem Embung untuk Pemanfaatan Air Irigasi di Lahan Beriklim Kering Nusa Tenggara Timur, 1st ed. Jakarta: Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).