
DIGITALISASI PICHE EVAPORIMETER

Kanton Lumban Toruan¹, Valensio Satya Prayoga²

^{1,2}Program Studi Instrumentasi, STMKG, Indonesia

ABSTRAK

Digitalisasi dan otomatisasi peralatan pengamatan MKG adalah satu tantangan yang dihadapi BMKG pada era Industry 4.0. Hal ini juga berfungsi untuk meningkatkan akurasi data pengamatan, mempermudah pengamatan dan juga mengurangi kesalahan pengguna (human error). Salah satu peralatan pengamatan yang saat ini masih menggunakan peralatan konvensional adalah alat ukur penguapan dan transpirasi piche. Maka dari itu untuk menjaga dan meningkatkan kualitas data pengamatan, penulis merancang suatu alat pengamatan digital dan otomatis penguapan dan transpirasi. Rancang Bangun Piche Evapotransporimeter Otomatis berbasis Load Cell ini menggunakan sensor pengukur massa berupa load cell. Minimum sistem yang digunakan adalah dua buah Arduino UNO R3 dan sebuah Arduino NANO, HX711 sebagai ADC dan penguat sinyal, media penyimpanan menggunakan microSD card dan komunikasi yang digunakan menggunakan modul telemetri nRF24L01+ serta modul WiFi ESP8266. Alat ini juga dilengkapi teknologi Internet of Things (IoT) menggunakan ThingSpeak web based display sebagai tampilan data yang dapat diakses pada web browser maupun smartphone. Hasil dari perancangan ini adalah membuat sebuah alat yang mampu mengukur evaporasi dan transpirasi dengan akurasi $<\pm 0.0125$ mm dan memiliki resolusi 0.01 mm dengan nilai koreksi maksimal 0.0125 mm, serta dapat diakses secara nirkabel sehingga memudahkan observer dalam melakukan pengamatan.

Kata kunci : Piche, evapotranspirasi, Internet of Things, Arduino, ThingSpeak.

ABSTRACT

4.0. It also serves to improve the accuracy of observation data, facilitate observation and also reduce human errors. One of the observation equipment that is currently still using conventional equipment is the measurement tool of piche evaporation and transpiration. Therefore, to maintain and improve the quality of observational data, the authors designed a digital and automatic evaporation and transpiration observation tool. Automation of Piche Evapotransporimeter uses a mass measuring sensor in the form of a load cell. Minimum system used are two Arduino UNO R3 and an Arduino NANO, HX711 as an ADC and signal amplifier, storage media using microSD card, communication using the nRF24L01+ telemetry module and WiFi ESP8266 module. This measurement tool is also equipped with Internet of Things (IoT) technology using ThingSpeak web-based display as a data display that can be accessed on a web browser or smartphone. The result of this design is to make a measurement tool that is able to measure evaporation and transpiration accuracy of $<\pm 0.0125$ mm and has a resolution of 0.001 mm with maximum correction factor of 0.0125 mm and can be accessed wirelessly making it easier for observers to observe the evapotranspiration data.

Keywords : Piche, evapotranspiration, Internet of Things, Arduino, ThingSpeak.

Kanton Lumban Toruan,
Program Studi Instrumentasi,
Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, Indonesia,
Jl. Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221.
Email: kanton60@gmail.com

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah sebuah Lembaga Pemerintah Non Kementerian (LPNK) yang bertugas di bidang Meteorologi Klimatologi, Kualitas Udara dan Geofisika. BMKG memiliki 179 stasiun pengamatan yang tersebar diseluruh Indonesia dan 5 Balai Besar di 5 wilayah Indonesia. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengamatan cuaca, iklim, kualitas udara, gempa bumi dan tsunami. Salah satu parameter yang digunakan pada pengamatan dan

analisa cuaca dan iklim adalah pengukuran penguapan dan transpirasi. Kebutuhan adanya data yang akurat dan *real time* mengenai penguapan dan transpirasi sangat penting terutama bagi ahli meteorologi, klimatologi dan hidrologi untuk mengetahui laju penguapan dan transpirasi yang semakin menurun atau meningkat terkait dengan perubahan iklim.

Pengamatan penguapan dan transpirasi pada stasiun dan pos pengamatan klimatologi dan kualitas udara menggunakan metode pengamatan manual yaitu observer mengamati secara langsung dari *piche evaporimeter* yang diletakan di dalam *stevenson screen* (sangkar meteo). Pengamatan dilakukan dengan cara membaca jumlah air yang berada di dalam pipa kaca *piche evaporimeter* sehingga kemungkinan terjadinya *human error* berupa kesalahan *parallax* cukup besar. Karena laju penguapan dan transpirasi sangat lambat, maka kesalahan sekecil apapun akan sangat berarti pada data hasil pengukuran.

Digitalisasi dan otomatisasi peralatan pengamatan MKG adalah satu tantangan yang dihadapi BMKG pada era *Industry 4.0* sehingga peralihan peralatan dari peralatan pengamatan konvensional menjadi digital dan otomatis menjadi penting. Hal ini juga berfungsi untuk meningkatkan akurasi data pengamatan, mempermudah pengamatan dan juga mengurangi kesalahan pengguna (*human error*). Salah satu peralatan pengamatan yang saat ini masih menggunakan peralatan konvensional adalah alat ukur penguapan dan transpirasi *piche*. Maka dari itu untuk menjaga dan meningkatkan kualitas data pengamatan, diperlukan suatu alat pengamatan digital dan otomatis penguapan dan transpirasi.

1.2. Tujuan dan Manfaat Perancangan

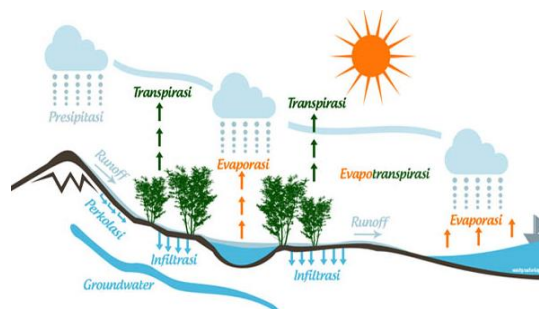
Tujuan dalam digitalisasi *piche* evapotransporimeter ini adalah untuk merancang suatu alat ukur penguapan dan transpirasi berupa *piche* evapotransporimeter otomatis, menghasilkan alat ukur penguapan dan transpirasi dengan kualitas data yang akurat dan mudah dioperasikan, sebagai pengganti alat *piche* evaporimeter konvensional.

Manfaat dalam perancangan sistem otomatisasi *piche* evapotransporimeter ini adalah untuk mendukung program kerja otomatisasi peralatan pengamatan yang sedang dijalankan BMKG, mempermudah observer dalam melakukan pengamatan pengukuran penguapan dan transpirasi, serta untuk mempermudah teknisi dalam melakukan perawatan dan perbaikan karena semua komponen yang digunakan dalam peralatan ini mudah ditemukan di dalam negeri.

2. DASAR TEORI

2.1. Penguapan dan Transpirasi

Pengertian evaporasi adalah jumlah kuantitas air yang menguap pada permukaan air terbuka atau dari permukaan tanah oleh proses fisika. Sedangkan transpirasi adalah proses dimana air pada tumbuh-tumbuhan berpindah ke atmosfer dalam bentuk uap air. Sehingga secara umum evapotranspirasi berarti jumlah atau jumlah air yang menguap dari permukaan air terbuka atau permukaan tanah dan tanaman ketika tanah berada pada kadar air alaminya (WMO/UNESCO, 2012).



Gambar 1. Siklus hidrologi proses evaporasi dan transpirasi
(sumber: <https://www.ebiologi.net>)

Proses penguapan merupakan tahap pertama dalam siklus hidrologi bumi dan berpengaruh pada kebutuhan air di daratan. Sekitar 85% proses penguapan terjadi di lautan. Sedangkan di daratan, proses penguapan relatif lebih kecil dibandingkan lautan, namun sekitar 60-70% volume air yang dihasilkan dari hujan yang turun di daratan akan menguap pada daratan juga. Hal ini menjadikan proses penguapan menjadi suatu tolak ukur penting yang menghubungkan perpindahan massa air melalui atmosfer antara lautan dan daratan (Miralles, 2011:453-469).

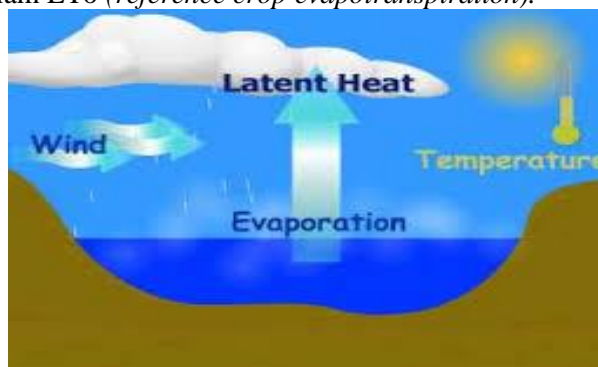
Penguapan dan transpirasi memiliki beberapa faktor yang mempengaruhi lajunya yaitu gradien tekanan uap air di udara, angin, radiasi matahari, suhu udara dan kelembaban udara. Kadar air tanah, kemampuan tanah mengalirkan air, karakteristik tanaman, aspek lingkungan dan praktek budidaya tanaman juga mempengaruhi laju evaporasi pada suatu wilayah (Allen dkk., 1998).

2.2. Faktor Penguapan dan Transpirasi

Penguapan dan transpirasi juga dipengaruhi oleh beberapa faktor penting yaitu parameter cuaca, dan kondisi lingkungan.

2.2.1. Parameter Cuaca

Beberapa parameter yang mempengaruhi laju evapotranspirasi adalah radiasi matahari, suhu udara, kelembaban dan kecepatan angin. Beberapa pendekatan dilakukan untuk memperkirakan jumlah laju penguapan dan transpirasi yang berkaitan dengan parameter tersebut. Daya penguapan atmosfer dinyatakan dalam ETo (*reference crop evapotranspiration*).



Gambar 2. Pengaruh parameter cuaca terhadap penguapan permukaan air
(sumber: <https://www.budisma.net>)

Proses penguapan membutuhkan energi dari radiasi matahari dimana energi panas dalam jumlah yang banyak berpindah ke permukaan bumi melalui atmosfer bumi. Laju penguapan juga dipengaruhi pada 3 parameter cuaca berikut yaitu tekanan uap air, suhu udara dan pergerakan udara. Laju penguapan meningkat jika tekanan uap air jenuh pada permukaan air lebih besar dibandingkan dengan tekanan uap air pada atmosfer di atasnya. Oleh karena itu, laju penguapan akan lebih cepat pada udara kering dibandingkan dengan udara lembab. Gerakan udara di atas permukaan air juga berperan menggantikan udara jenuh dengan udara kering sehingga meningkatkan laju evaporasi. (Trinah Wati, dkk., 2015).

2.2.2. Kondisi Lingkungan

Kondisi lingkungan juga dapat mempengaruhi laju penguapan dan transpirasi, diantaranya adalah jenis vegetasi, kondisi kimia tanah dan lokasi geografis permukaan. Jenis vegetasi berperan besar terhadap laju transpirasi, sebagai contoh, jenis tanaman berdaun lebar memiliki transpirasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang berdaun gugur. Tanaman yang akarnya menancap ke dalam tanah memiliki laju transpirasi lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman semak yang akarnya tidak sedalam tanaman berkayu.

Selain itu, kondisi tanah juga mempengaruhi laju penguapan. Afinitas (daya tarik air) tiap jenis tanah yang berbeda-beda mempengaruhi laju penguapan dari permukaan tanah, sebagai contoh permukaan pasir akan memiliki laju penguapan yang lebih cepat dibandingkan dengan tanah liat pada

kondisi cuaca yang sama. Begitu juga osmosis atau gerakan air yang didorong oleh perbedaan konsentrasi garam pada air juga mempengaruhi laju penguapan. Peningkatan kandungan konsentrasi garam akan menurunkan laju penguapan pada tanaman. (Bellingham, 2013)

2.3. Pengukuran Penguapan dan Transpirasi

Satuan dalam pengukuran evaporasi dan transpirasi adalah mm dimana 1 mm diartikan sebagai ketinggian air yang menguap dalam luasan 1 m² jika air tidak mengalir dan tidak meresap. Pengukuran penguapan dilakukan dengan membandingkan jumlah air yang diukur dalam waktu yang berbeda dengan interval tertentu (Asdak, 2007:104).

Penguapan dan transpirasi merupakan parameter cuaca yang paling sulit diukur dan diperkirakan dari antara parameter siklus hidrologi karena kompleksitas yang tinggi dan pengaruhnya terhadap komponen-komponen penguapan di permukaan air, lahan, vegetasi dan sistem atmosfer. Pengukuran penguapan dan transpirasi memiliki beberapa metode yang relevan, beberapa metode pengukuran yang dilakukan dengan beberapa pendekatan antara lain pengukuran menggunakan neraca air, perpindahan massa, neraca energi, pendekatan kombinasi Penman, Penman-Moneith dan pendekatan parameter iklim seperti Thornthwaite, Hamon, Hargreaves, dan Makkink (Dingman, 1994).

2.4. Piche Evaporimeter

Piche Evapotransporimeter adalah alat yang berfungsi untuk mengukur penguapan dan transpirasi dari permukaan kertas filter yang terbuka di bagian bawah pipa kaca yang berisi air. Piche Evaporimeter terbuat dari pipa kaca dengan panjang kurang lebih 20cm dan diameter 1,5cm. Skala pada pipa kaca menyatakan volume air dalam cm³ (PERKA BMKG No.32 Tahun 2006).



Gambar 3. Piche Evapotransporimeter

Perhitungan jumlah penguapan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

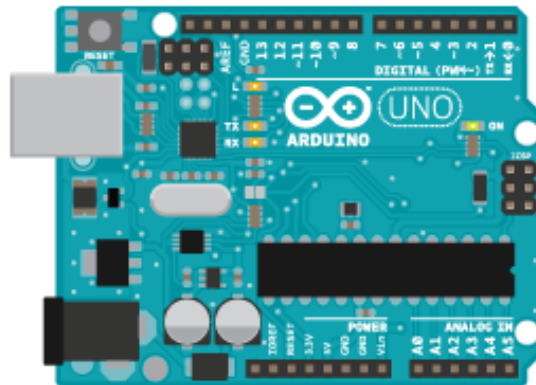
$$E_0 = \frac{V}{2\pi (R^2 - r^2)} \quad (1)$$

dengan;

- E_0 = Jumlah penguapan (mm)
- V = Pengurangan volume air (mm³)
- R = Jari-jari lingkaran kertas filter (mm)
- r = Jari-jari lingkaran pipa kaca (mm)

2.5. Arduino

Dalam perancangan alat ini, digunakan sebuah papan minimum sistem Arduino sebagai pengolah sinyal dari *output* sensor, menyimpan data, mengirim data dan menampilkan data pada LCD. Arduino merupakan sebuah *project open source* yang terdiri dari rangkaian minimum sistem yang dapat diprogram sesuai dengan kebutuhan penggunanya.



Gambar 4. Arduino UNO R3
(sumber: www.arduino.cc)

Pada sistem ini, digunakan dua buah Arduino UNO R3 dan sebuah Arduino NANO. Sistem kontrol pertama terdiri dari sebuah Arduino UNO R3 dan Arduino NANO digunakan sebagai pengolah sinyal input sensor, penyimpan data dan pengirim data. Sedangkan sistem kontrol kedua yaitu Arduino UNO R3 digunakan sebagai penerima data dan penampil data pada display LCD yang juga terintegrasi dengan *ThingSpeak web-based display*. Arduino UNO R3 dan Arduino NANO cocok digunakan dalam sistem otomatisasi piche evaporimeter ini karena jumlah input analog yang digunakan tidak banyak dan penggunaan daya yang cukup kecil yaitu 20mA pada masing-masing pin I/O dan 50mA pada pin 3.3V.

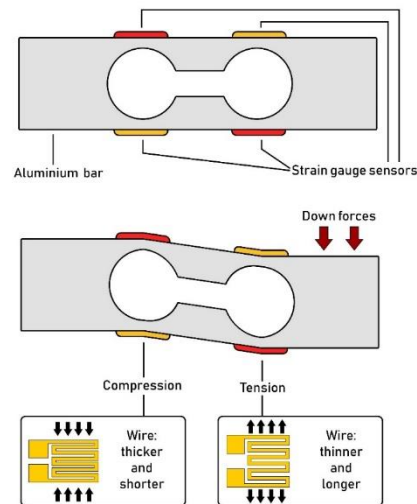
2.6. Load Cell

Load cell adalah sensor yang digunakan untuk mengukur gaya dan tekanan dengan mengukur perubahan resistansi yang berbanding lurus dengan perubahan tekanan atau gaya yang diberikan. *Load cell* menggunakan kawat listrik berhambatan sebagai pendeteksi perubahan *strain* (regangan) yang kemudian di konversi ke besaran listrik.

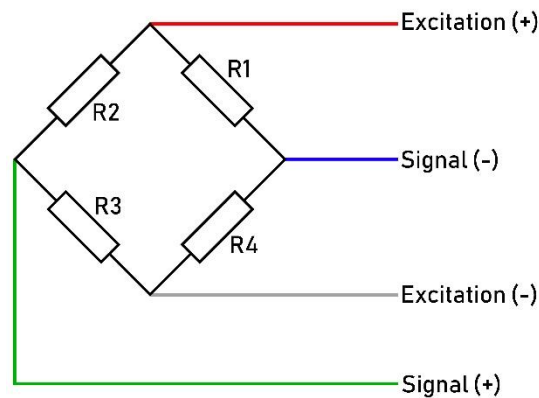
Dalam perancangan digitalisasi dan otomatisasi piche ini, *load cell* akan digunakan untuk mengukur perubahan massa air yang menguap sehingga dapat diketahui pengurangan volume air dengan perhitungan menggunakan massa jenis air. Perhitungan penguapan dapat diketahui dengan membagi jumlah pengurangan volume air (mm^3) dengan luas permukaan kertas filter yang terpampang pada piche (mm^2) sehingga hasil yang didapat adalah jumlah ketinggian air yang menguap pada dalam pipa kaca (cm).

Pada rancangan ini, *load cell* yang digunakan adalah *load cell* tipe *single point load cell* dimana *load cell* ini menggunakan sebuah aluminium batang berrongga sebagai sumber regangan dan 4 buah *strain gauge* yang akan mendeteksi adanya regangan yang terjadi pada aluminium berrongga yang ter-*deformasi* akibat adanya gaya tekanan dari satu ujung terhadap ujung lainnya.

Perubahan bentuk pada *strain gauge* yang disebabkan regangan pada aluminium akan menyebabkan perubahan resistansi pada masing-masing *strain gauge* sehingga berat massa yang diberikan pada *load cell* berbanding lurus dengan hambatan yang dihasilkan. Pada umumnya, *load cell* memiliki 4 kabel keluaran yaitu E+ (Red) sebagai Excitation +, E- (White) sebagai excitation -, S+ (Green) sebagai Signal +, S- (Blue) sebagai Signal -.



Gambar 5. Single point load cell dengan 4 sensor strain gauges



Gambar 6. Rangkaian jembatan wheatstone pada load cell

Load cell memiliki 4 buah *strain gauges* yang rangkaiannya membentuk jembatan *wheatstones*. *Input* dari *load cell* berupa tegangan dan *output*nya juga berupa tegangan. Saat *load cell* tidak merasakan adanya massa, maka ke-empat *strain gauges* akan memiliki nilai resistansi yang sama sehingga tegangan keluarannya adalah mendekati 0V. Pada saat *load cell* di beri beban, resistansi pada R1 dan R3 akan bertambah, sedangkan resistansi pada R2 dan R4 akan berkurang. *Output* tegangan dari *load cell* dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$V_{\text{out}} = \left(V_{\text{in}} \left(\frac{R1}{R1+R4} \right) \right) - \left(V_{\text{in}} \left(\frac{R2}{R2+R3} \right) \right) \text{ volt} \quad (2)$$

dengan;

V_{out} = Tegangan keluaran (V)

V_{in} = Tegangan masukan (V)

R1 = Hambatan pada *strain gauge* 1 (Ω)

R2 = Hambatan pada *strain gauge* 2 (Ω)

R3 = Hambatan pada *strain gauge* 3 (Ω)

R4 = Hambatan pada *strain gauge* 4 (Ω)

2.7. HX711

HX711 merupakan sebuah *amplifier* dan ADC (*Analog to Digital Converter*) ber-resolusi 24bit terintegrasi dari AVIA SEMICONDUCTOR yang didesain khusus untuk sensor *load cell* dengan konfigurasi jembatan *wheatstone*. Modul ini bekerja dengan menkonversi perubahan yang terukur dalam perubahan resistansi dan mengkonversinya ke dalam besaran tegangan melalui rangkaian yang ada. Modul ini mudah digunakan, memiliki hasil yang stabil dan *reliable*, memiliki resolusi tinggi, dan mengukur perubahan dengan cepat hingga 80 SPS.



Gambar 7. Bentuk fisik modul HX711 24bit ADC

HX711 memiliki 10 pin yaitu E+, E-, A+, A-, B+, B-, GND, DT, SCK, dan VCC, termasuk 2 *channel input* yaitu *channel A* dan *channel B*. Untuk rumus perhitungan konversi input analog ke digital yang berbentuk *hexadecimal* dapat digunakan rumus berikut:

$$N_{16} = \left(\frac{V_{in} - (-V_{peak})}{V_{fs}} \right) 16^6 \quad (3)$$

dengan;

N = bilangan *hexadecimal* keluaran modul

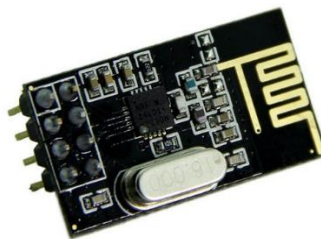
V_{in} = Tegangan masukan dari load cell (mV)

V_{peak} = Tegangan puncak (40mV)

V_{fs} = Tegangan skala penuh (80mV)

2.8. nRF24L01+

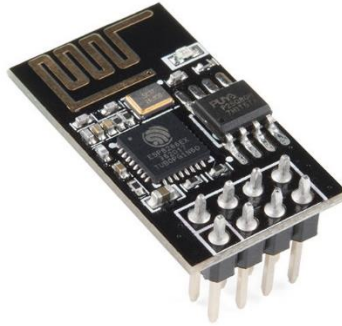
Modul *wireless* nRF24L01+ merupakan suatu perangkat komunikasi buatan NORDIC Semiconductor yang menggunakan gelombang frekuensi RF 2,4 GHz ISM (*Industrial, Scientific and Medical*). Modul ini memiliki keunggulan dalam penggunaan daya dimana daya yang digunakan pada *output power* maksimum 0 dBm hanya 11.3 mA dan dalam mode menerima (*Receive*) hanya 12.3 mA. Modul ini juga memiliki mode *Power Down* saat tidak ada perintah dari mikrokontroler untuk mengirimkan data sehingga penggunaan daya menjadi sangat kecil yaitu 0.9mA menjadikannya cocok untuk digunakan pada peralatan yang memiliki masa pakai panjang dan sumber daya yang terbatas seperti baterai. nRF24L01+ menggunakan komunikasi antarmuka berkecepatan tinggi dengan adanya protokol Enhanced Shockburst™. Modul transceiver ini memiliki pembangkit frekuensi, amplifier, crystal oscillator, modulator dan demodulator yang terintegrasi.



Gambar 8. Bentuk fisik modul komunikasi telemetry nRF24L01+

2.9. ESP8266

ESP8266 merupakan sebuah mikrokontroler buatan Espressif Systems yang mempunyai konektivitas WiFi. Karena ESP8266 adalah sebuah mikrokontroler, modul ini memiliki *processor* dan *memory built-in* yang dapat juga diintegrasikan dengan sensor dan *actuator* menggunakan pin GPIO. (Rizky, 2017).



Gambar 9. Bentuk fisik modul *wireless* ESP8266

Modul ini memiliki fitur *wireless connection* standar IEEE 802.11 b/g/n, dapat digunakan untuk WiFi *direct point-to-point*, AccessPoint, mempunyai *low noise receive amplifiers*, *Random Access Memory (RAM)* 81 Mb, *Flash memory* 1 Mb, *clock speed* sebesar 160 MHz dan *output power* sebesar +19.5 dBm pada mode 802.11b. ESP8266 juga dapat dilengkapi dengan antenna tambahan sehingga menambah jangkauan penangkapan sinyal WiFi.

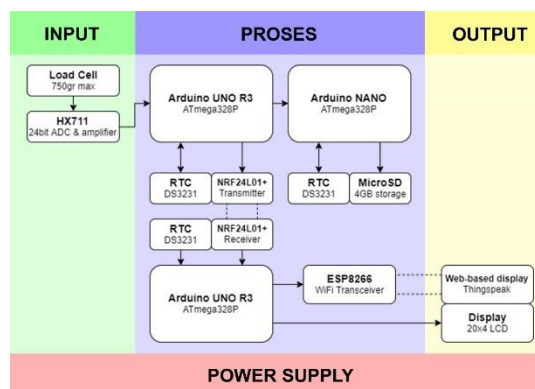
3. METODE PENELITIAN

3.1. Perancangan Sistem

Perancangan piche evaporimeter otomatis ini terdiri dari dua bagian yaitu perancangan perangkat keras (*hardware*) dan perancangan perangkat lunak (*software*). Perancangan perangkat keras meliputi pembahasan komponen yang digunakan, blok diagram, skematik sistem dan rancangan fisik sistem. Sedangkan perancangan perangkat lunak meliputi pembahasan diagram alir (*flowchart*), dan tampilan pembacaan sensor.

3.1.1. Perancangan Blok Diagram Sistem

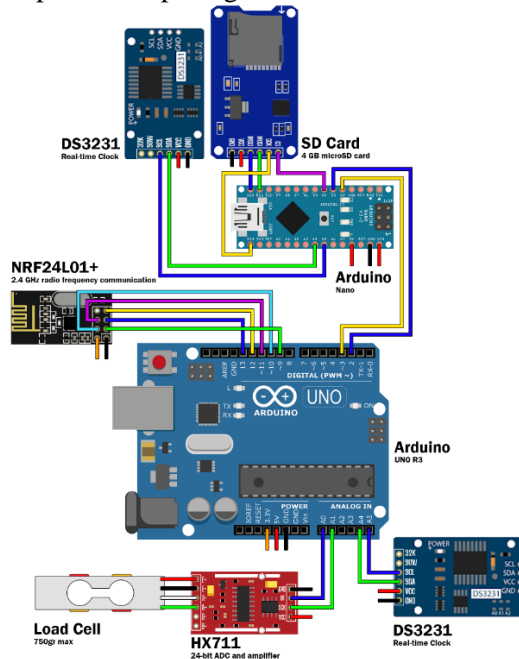
Perancangan ini secara umum memiliki *input* berupa masukan sensor *load cell* yang telah di konversi oleh HX711, proses yang dilakukan oleh minimum sistem Arduino UNO R3 yang diintegrasikan dengan *Real Time Clock* dan *SD Card* sehingga dapat berfungsi sebagai *data logger*, sistem pengiriman data secara telemetri menggunakan modul nRF24L01+ dan melalui media WiFi menggunakan modul ESP8266, serta sistem tampilan data menggunakan LCD dan *web-based display ThingSpeak*. Secara umum, sistem kerja alat dapat dijelaskan dengan diagram blok berikut ini:



Gambar 10. Blok diagram sistem piche evaporimeter otomatis

3.1.2. Perancangan Perangkat Keras Data *Logger*

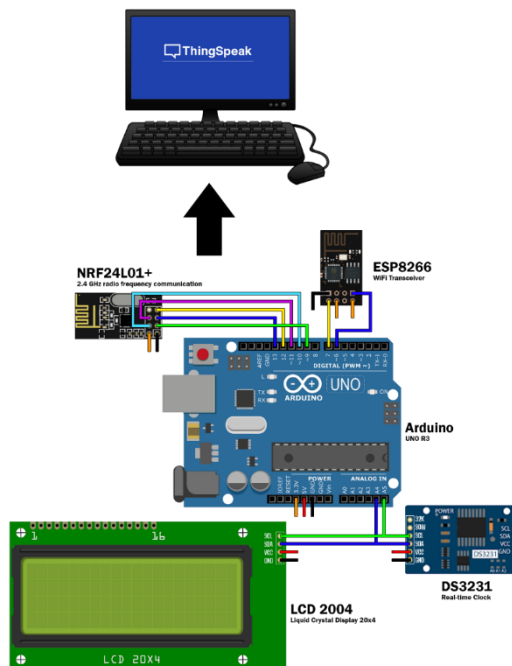
Arduino UNO R3 berfungsi untuk memproses sinyal keluaran yang dikirimkan oleh modul ADC HX711. Pin input yang digunakan pada Arduino UNO R3 untuk menerima sinyal dari HX711 yaitu pin VCC, GND, pin 2 dan pin 3. Arduino UNO R3 juga menggunakan beberapa modul pendukung seperti modul SD card untuk menyimpan data dan modul RTC sebagai tanda waktu. Pengkabelan Arduino UNO R3 dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 11. Perancangan skematik data logger

3.1.3. Perancangan Perangkat Keras Display

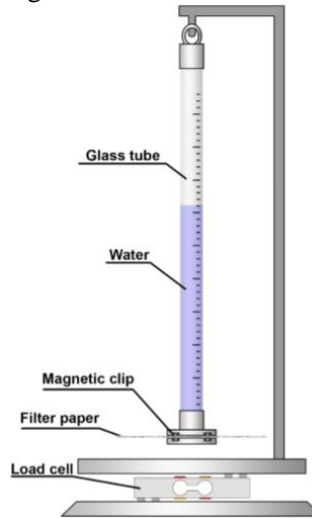
Arduino UNO R3 ini digunakan untuk menerima sinyal yang dikirimkan oleh *data logger* yang berada di taman alat. Data yang diterima kemudian ditampilkan pada LCD 2004 dan dikirimkan ke *ThingSpeak web based display* menggunakan *internet* dari modul WiFi ESP8266. Rancangan dan pengkabelan dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 12. Perancangan skematik display

3.1.4. Perancangan Sensor *Load Cell*

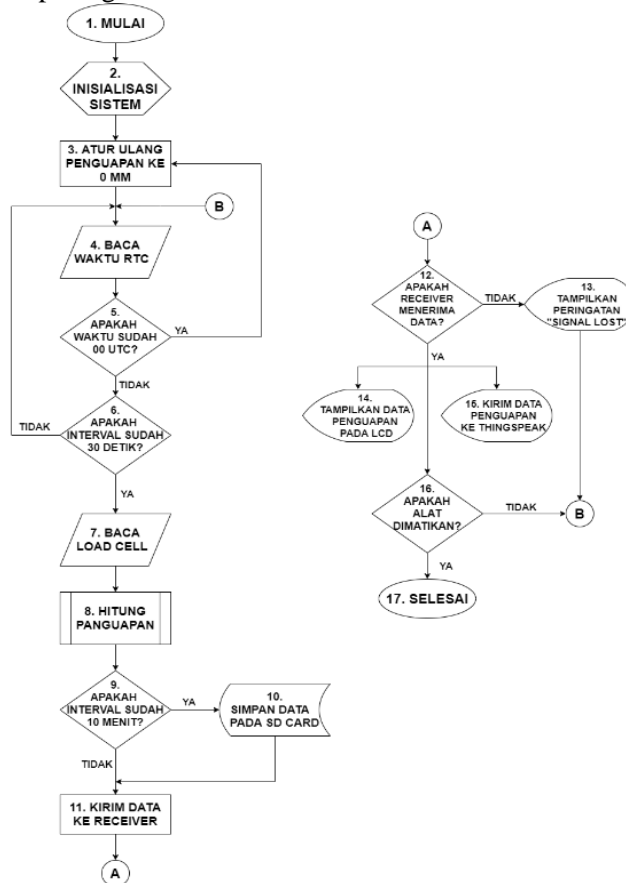
Sensor yang digunakan untuk mengukur penguapan adalah load cell. Load cell diletakkan dibawah landasan piche evapotransporimeter sehingga pengurangan massa air yang berada di dalam tabung piche dapat diukur dan penguapan dapat dihitung. Desain rancangan sensor load cell pada piche evaporimeter dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 13. Desain rancangan *piche*

3.1.5. Diagram Alir Sistem

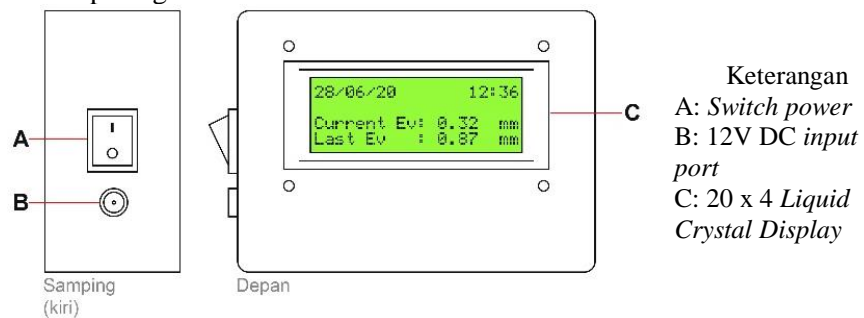
Diagram alir dari perancangan sistem ini akan menunjukkan aliran proses yang dilakukan oleh sistem dari dimulainya sistem hingga menjadi hasil dalam bentuk data penguapan. Perancangan diagram alir dapat dilihat pada gambar berikut ini:



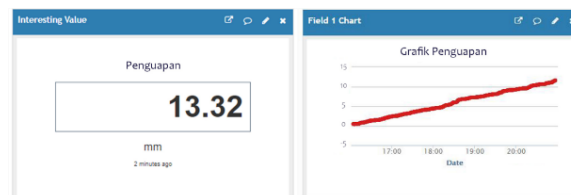
Gambar 14. Diagram alir sistem

3.1.6. Interface Sistem

Interface sistem yang akan digunakan dalam perancangan alat ukur penguapan dan transpirasi otomatis ini menggunakan LCD *display* dan *ThingSpeak web based display*. Tampilan pada *display* alat menggunakan LCD 4x20 yang akan menampilkan tanggal, jam, data penguapan *real time* dan data penguapan pada hari sebelumnya. Sedangkan *platform* yang digunakan sebagai *web based display* pada PC menggunakan *ThingSpeak web based display* yang akan menampilkan data penguapan serta grafik penguapan beserta tanda waktunya. Berikut rancangan *casing*, *display* dan *ThingSpeak* dapat dilihat pada gambar berikut:



Gambar 15. Rancangan display LCD



Gambar 16. Tampilan ThingSpeak

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Pengujian

Pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian pengukuran massa sensor *load cell*, pengujian sistem komunikasi telemetri nRF24L01+ dan WiFi ESP8266 serta pengujian operasional lapangan.

4.1.1. Kalibrasi Sensor *Load Cell*

Kalibrasi sensor massa *load cell* dilakukan dengan membandingkan pengukuran massa sensor *load cell* dengan alat standar pengukuran massa yaitu timbangan analitik pada Laboratorium Klimatologi Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Langkah pertama dalam kalibrasi sensor massa *load cell* adalah mencari nilai *offset calibration factor* dengan cara membandingkan pembacaan massa pada timbangan analitik dengan pembacaan massa pada *load cell*. Setelah pembacaan massa diketahui, pembacaan *load cell* harus disamakan dengan pembacaan massa pada timbangan analitik dengan menekan tombol “+” untuk menambahkan dan tombol “-” untuk mengurangi nilai pada *Serial monitor*. Setelah nilai didapatkan, kemudian nilai calibration factor diprogram pada minimum sistem Arduino UNO R3 sehingga pembacaan sensor *load cell* sesuai dengan massa yang diukur oleh timbangan analitik.

Gambar 17. Proses kalibrasi sensor *Load Cell*

Data hasil komparasi dapat digunakan untuk mencari nilai koreksi dan nilai standar deviasi dengan persamaan sebagai berikut.

$$K = m_{std} - m_{load\ cell} \quad (1)$$

Dengan : K = Nilai koreksi (gr)

m_{std} = Nilai massa standar (gr)

$m_{loadcell}$ = Nilai massa *load cell* (gr)

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Dengan : S = Standar deviasi

\bar{x} = Koreksi rata-rata (gr)

x_i = Koreksi pembacaan ke-i (gr)

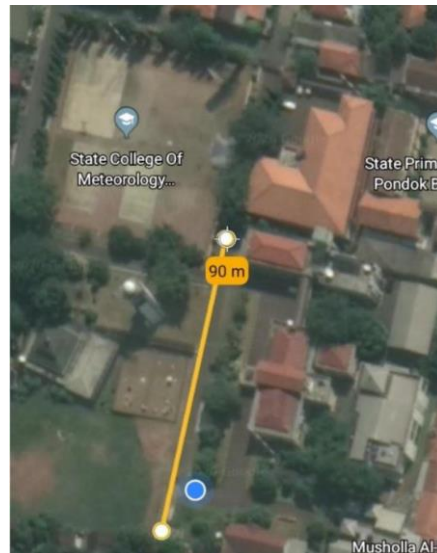
n = Jumlah pengulangan

Tabel 1. Hasil komparasi sensor *Load Cell*

Pembacaan (gr)		Koreksi (gr)	Standar deviasi
Standar	Load cell		
0.6141	0.69	-0.0759	0.0093
0.6144	0.70	-0.0856	
0.6146	0.71	-0.0954	
0.6147	0.71	-0.0953	
Rata-rata koreksi		-0.08805	
4.6683	4.64	0.0283	0.0126
4.6682	4.65	0.0182	
4.6682	4.65	0.0182	
4.6682	4.67	-0.0018	
Rata-rata koreksi		0.015725	
18.2598	18.25	0.0098	0.0128
18.2598	18.26	-0.0002	
18.2599	18.27	-0.0101	
18.2600	18.28	-0.0200	
Rata-rata koreksi		-0.005125	
67.8430	67.88	-0.0370	0.0151
67.8430	67.88	-0.0370	
67.8429	67.90	-0.0571	
67.8428	67.91	-0.0672	
Rata-rata koreksi		-0.049575	

4.1.2. Pengujian Jarak Pengiriman Data nRF24L01+

Penulis menguji komunikasi pada lingkungan Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Data berhasil terkirim hingga jarak 90m pada ruang terbuka. Jarak ini adalah jarak yang cukup jauh karena alat ini dirancang untuk pengiriman data dari taman alat hingga ruang observasi yang jaraknya sekitar 30m.



Gambar 18. Tampilan peta jarak pengiriman data

4.1.3. Pengujian operasional di Lapangan

Pengujian operasional lapangan dilakukan dengan melakukan pengamatan evapotranspirasi pada taman alat Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika selama 3 hari untuk mendapatkan hasil data penguapan pada beberapa kondisi yaitu siang hari, malam hari dan cuaca hujan.



Gambar 19. Pemasangan alat pada taman alat

Alat diletakkan di dalam Stevenson screen pada taman alat, sedangkan solar panel dipasang pada bagian atas Stevenson screen untuk memaksimalkan cahaya matahari yang diterima pada siang hari. Sedangkan pada Gambar 20, display dipasang pada ruangan observasi untuk memantau data penguapan.

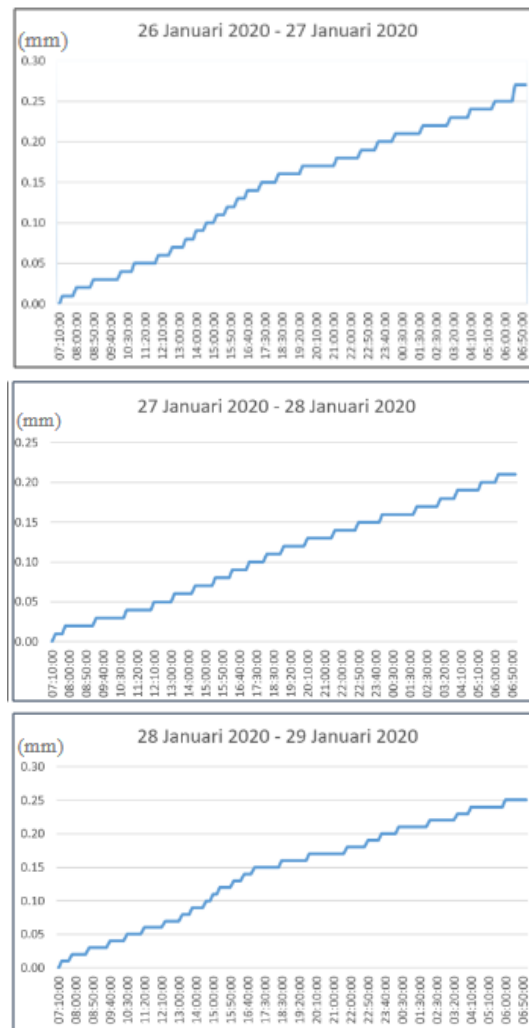


Gambar 20. Pemasangan *display* pada ruangan observasi

Berikut data hasil pembacaan sensor saat dilakukan pengujian operasional lapangan. Data hasil pengujian dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Data hasil pengujian operasional

Tanggal	Jam	Ev	Tanggal	Jam	Ev	Tanggal	Jam	Ev
26-01-20	08:00:00	0.02	27-01-20	08:00:00	0.02	28-01-20	08:00:00	0.02
26-01-20	09:00:00	0.03	27-01-20	09:00:00	0.02	28-01-20	09:00:00	0.03
26-01-20	10:00:00	0.03	27-01-20	10:00:00	0.03	28-01-20	10:00:00	0.04
26-01-20	11:00:00	0.05	27-01-20	11:00:00	0.04	28-01-20	11:00:00	0.05
26-01-20	12:00:00	0.06	27-01-20	12:00:00	0.04	28-01-20	12:00:00	0.06
26-01-20	13:00:00	0.07	27-01-20	13:00:00	0.05	28-01-20	13:00:00	0.07
26-01-20	14:00:00	0.09	27-01-20	14:00:00	0.06	28-01-20	14:00:00	0.09
26-01-20	15:00:00	0.1	27-01-20	15:00:00	0.07	28-01-20	15:00:00	0.11
26-01-20	16:00:00	0.12	27-01-20	16:00:00	0.08	28-01-20	16:00:00	0.13
26-01-20	17:00:00	0.14	27-01-20	17:00:00	0.09	28-01-20	17:00:00	0.15
26-01-20	18:00:00	0.15	27-01-20	18:00:00	0.11	28-01-20	18:00:00	0.15
26-01-20	19:00:00	0.16	27-01-20	19:00:00	0.12	28-01-20	19:00:00	0.16
26-01-20	20:00:00	0.17	27-01-20	20:00:00	0.12	28-01-20	20:00:00	0.17
26-01-20	21:00:00	0.17	27-01-20	21:00:00	0.13	28-01-20	21:00:00	0.17
26-01-20	22:00:00	0.18	27-01-20	22:00:00	0.14	28-01-20	22:00:00	0.18
26-01-20	23:00:00	0.19	27-01-20	23:00:00	0.15	28-01-20	23:00:00	0.19
27-01-20	00:00:00	0.2	28-01-20	00:00:00	0.16	29-01-20	00:00:00	0.2
27-01-20	01:00:00	0.21	28-01-20	01:00:00	0.16	29-01-20	01:00:00	0.21
27-01-20	02:00:00	0.22	28-01-20	02:00:00	0.17	29-01-20	02:00:00	0.21
27-01-20	03:00:00	0.22	28-01-20	03:00:00	0.17	29-01-20	03:00:00	0.22
27-01-20	04:00:00	0.23	28-01-20	04:00:00	0.19	29-01-20	04:00:00	0.23
27-01-20	05:00:00	0.24	28-01-20	05:00:00	0.19	29-01-20	05:00:00	0.24
27-01-20	06:00:00	0.25	28-01-20	06:00:00	0.2	29-01-20	06:00:00	0.25
27-01-20	07:00:00	0.27	28-01-20	07:00:00	0.21	29-01-20	07:00:00	0.25



Gambar 21. Grafik penguapan hasil pengujian operasional

Tabel 2 merupakan data hasil pengujian operasional lapangan yang mengukur evapotranspirasi selama 3 hari di taman alat Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Data diambil setiap 10 menit selama alat bekerja dan disimpan ke SD Card. Data pada logger di dalam Stevenson screen dikirimkan menggunakan modul telemetry ke display LCD 2004 yang menampilkan data penguapan di dalam ruang operasional.

Pengujian dilakukan pada tanggal 26 Januari 2020 mulai pukul 07.00 WIB hingga tanggal 29 Januari 2020 pukul 07.00 WIB dengan pengiriman data setiap 15 detik sekali ke ThingSpeak web based display. Hasil yang didapatkan dari pengujian ini adalah untuk pengukuran laju evapotranspirasi pada suatu wilayah. Data evapotranspirasi berkisar antara 0.21mm hingga 0.27mm per hari dengan laju penguapan yang lebih cepat pada siang hari dibandingkan pada malam hari dan kondisi cuaca hujan.

Pada data grafik dapat terlihat bahwa penguapan terjadi lebih cepat pada siang hari dan tidak terjadi hujan seperti pada tanggal 26 Januari 2020 pukul 10.30 WIB hingga pukul 16.40 WIB. Sedangkan pada malam hari, laju penguapan menjadi lebih lambat dimana suhu udara juga lebih dingin. Pada kondisi cuaca hujan, laju penguapan menjadi lebih lambat seperti bisa dilihat pada tanggal 27 Januari 2020 pukul 08.00 WIB hingga pukul 10.00 WIB.

Penurunan laju penguapan terjadi akibat kelembaban udara yang tinggi dan suhu udara yang rendah sehingga kandungan air di udara menjadi lebih rapat dibandingkan pada kondisi cuaca cerah. Pada tanggal 28 Januari 2020 hingga 29 Januari 2020 pukul 07.00 WIB, kondisi cuaca cerah sehingga

bentuk grafik laju penguapan terlihat mirip dengan pengamatan pada tanggal 26 Januari 2020, dimana laju penguapan banyak terjadi di siang hari.

Pengukuran oleh alat yang telah dirancang juga dibandingkan dengan pengukuran penguapan dengan perhitungan penguapan secara manual dengan menggunakan persamaan penguapan yaitu:

$$E = \frac{\Delta V}{2\pi(R^2 - r^2)} \quad (3)$$

Dengan;

ΔV = Pengurangan volume air (mm^3)

E = Penguapan (mm)

R = Jari – jari lingkaran kertas filter (mm)

r = Jari – jari lingkaran pipa kaca (mm)

Dengan memperhitungkan diameter dalam pipa dengan ketinggian air yang berkurang, maka dapat dihitung jumlah air yang menguap melalui permukaan filter yang terbuka. Diameter dalam pipa yang digunakan adalah 10 mm. Maka penguapan dapat dihitung dengan menghitung volume air yang berkurang yaitu:

$$\Delta V = \pi r^2 \Delta t \quad (4)$$

$$\Delta V = \pi(5 \times 10^{-3})^2 \Delta t$$

Pengurangan ketinggian permukaan air di dalam pipa pada tiga hari pengamatan adalah 2.2 cm pada 27 Januari 2020, 1.7 cm pada 28 Januari 2020, dan 2 cm pada 29 Januari 2020. Dari pengurangan ketinggian permukaan air yang telah diketahui, maka dapat dihitung penguapan yang seharusnya terukur oleh piche evapotransporimeter.

Penguapan pada 27 Januari 2020:

$$\Delta V = \pi \cdot (5 \times 10^{-3})^2 \cdot \Delta t$$

$$\Delta V = \pi \cdot (5 \times 10^{-3})^2 \cdot 2,2 \times 10^{-2}$$

$$\Delta V = 1,72 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$E = \frac{\Delta V}{2\pi \cdot (R^2 - r^2)}$$

$$E = \frac{1,72 \times 10^{-6}}{2\pi \cdot ((3,5 \times 10^{-2})^2 - (1,5 \times 10^{-2})^2)}$$

$$E = 0,000275 \text{ m}$$

$$E = 0,275 \text{ mm}$$

Penguapan pada 28 Januari 2020:

$$\Delta V = \pi. (5 \times 10^{-3})^2. \Delta t$$

$$\Delta V = \pi. (5 \times 10^{-3})^2. 1,7 \times 10^{-2}$$

$$\Delta V = 1,33 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$E = \frac{\Delta V}{2\pi. (R^2 - r^2)}$$

$$E = \frac{1,33 \times 10^{-6}}{2\pi. ((3,5 \times 10^{-2})^2 - (1,5 \times 10^{-2})^2)}$$

$$E = 0,0002125 \text{ m}$$

$$E = 0,2125 \text{ mm}$$

Penguapan pada 29 Januari 2020:

$$\Delta V = \pi. (5 \times 10^{-3})^2. \Delta t$$

$$\Delta V = \pi. (5 \times 10^{-3})^2. 1,9 \times 10^{-2}$$

$$\Delta V = 1,49 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$E = \frac{\Delta V}{2\pi. (R^2 - r^2)}$$

$$E = \frac{1,49 \times 10^{-6}}{2\pi. ((3,5 \times 10^{-2})^2 - (1,5 \times 10^{-2})^2)}$$

$$E = 0,0002375 \text{ m}$$

$$E = 0,2375 \text{ mm}$$

Pada perhitungan diatas, maka didapatkan jumlah penguapan secara matematis yang kemudian dibandingkan dengan hasil pembacaan sensor piche evapotransporimeter yang ditampilkan pada tabel berikut ini:

Tabel 3. Data hasil pengujian operasional

Tanggal	Perhitungan Penguapan		Piche	Koreksi
	Pengurangan	Perhitungan	Evapotransporimeter	
27 Januari 2020	2.2 cm	0.2750 mm	0.27 mm	-0.0050 mm
28 Januari 2020	1.7 cm	0.2125 mm	0.21 mm	-0.0025 mm
29 Januari 2020	1.9 cm	0.2375 mm	0.25 mm	0.0125 mm

Penguapan yang terukur pada piche evapotransporimeter memiliki koreksi yang cukup kecil jika dibandingkan dengan penguapan yang dihitung secara matematis dengan mengukur pengurangan tinggi permukaan air di dalam tabung piche evapotransporimeter. Namun, pengukuran dengan mengukur perubahan ketinggian permukaan air dalam tabung piche juga tidak terlepas dari faktor-faktor yang mungkin terjadi seperti kesalahan pembacaan, kesalahan paralax, maupun kesalahan skala ukur.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian dan perancangan sistem yang telah dibuat oleh penulis, dapat disimpulkan bahwa perancangan piche evaporimeter digital ini berjalan dan diuji dengan baik. Setelah melewati beberapa tahap yang meliputi tahap penelitian, perancangan, implementasi dan pengujian maka didapatkan kesimpulan yang diantaranya adalah:

- Digitasi Piche evaporimeter yang dibuat menggunakan sensor load cell bekerja dengan baik dan dapat mengukur evapotranspirasi dengan baik.
- Sistem piche evaporimeter digital menghasilkan kualitas data yang baik dan teruji setelah dilakukan beberapa pengujian dan perhitungan dengan nilai koreksi maksimal sebesar 0.0125 mm dan resolusi 0.01 mm.
- Jarak komunikasi maksimal antara data logger dan display dapat mencapai jarak 90 m dengan menggunakan modul telemetri nRF24L01+ sebagai media komunikasi.
- Alat ini dapat digunakan untuk menggantikan piche evaporimeter konvensional sehingga mengurangi penggunaan alat konvensional pada stasiun pengamatan BMKG.

REFERENSI (tidak ditulis di draf)