

## RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI IRIGASI BERBASIS ANALISIS EVAPOTRANSPIRASI DENGAN KONTROLER *ON/OFF*

\*Guntur Rian Muhammad Nur<sup>1</sup>, Susilo Adi Widyanto<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudharto, SH., Tembalang-Semarang 50275, Telp. +62247460059

\*E-mail: [grian54@gmail.com](mailto:grian54@gmail.com)

### Abstrak

Pangan merupakan kebutuhan dasar dari kehidupan sehingga ketersediannya mutlak diperlukan. Kebutuhan akan pangan juga terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Sedangkan ketersediaan sumber daya air terus menurun dan menjadi langka pada saat musim kemarau. Sehingga tindakan nyata untuk meningkatkan produk pertanian sangat diperlukan. Dengan menghitung analisis evapotranspirasi tanaman menggunakan persamaan *Penman-Monteith* maka dapat diperkirakan kebutuhan air yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh secara optimal. Sedangkan media untuk merealisasikan hasil perhitungan tersebut adalah dengan membuat sistem pengendali irigasi. Sistem pengendali irigasi yang dibuat memiliki input dari cuaca lingkungan yang diperoleh dengan sensor dan memiliki output katup untuk mengatur aliran air. Parameter utama yang dijadikan sebagai input adalah temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif, dan radiasi matahari. Semua parameter diakuisisi secara digital kecuali radiasi matahari, radiasi matahari diakuisisi dari pembentukan korelasi menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan dengan masukan temperatur dan intensitas cahaya matahari. Katup yang digunakan yaitu katup *on/off* menggunakan kontroler *on/off*. Pada penelitian ini dibagi tiga tahapan yang pertama pemodelan dengan *software* matlab. kedua, desain pembuatan perangkat simulasi dengan hasil yang ditampilkan pada perangkat *oscilloscope*. ketiga, desain pembuatan perangkat pengendali. Jaringan syaraf tiruan konstruksi *feedforward* dengan *hidden layer* berjumlah 2, jumlah *layer* pertama berukuran matriks 15x2 dan *layer* kedua berjumlah 1 menghasilkan prediksi yang cukup baik, yakni dengan *error* terbesar 1,13%. Hasil simulasi dari sistem pengendali *on/off* menghasilkan *error* sebesar 1.8% sedangkan penerapan sistem pengendali *on/off* menghasilkan *error* sebesar 2,20%.

**Kata kunci:** Evapotranspirasi, jaringan syaraf tiruan, katup *on/off*

### Abstract

*Food is a basic requirement for life so that the availability is absolutely necessary of all time. The need for food continues to increase along with the growth of population. While the source of the water decreases and becomes scarce during the dry season. So the real action to improve agricultural products is indispensable. One way to meet the water needs of plants properly is to calculate the crop evapotranspiration with Penman-Monteith equation. While the tools to realize the results of these calculations is to create an irrigation controllers system. Irrigation control system that is made has inputs from weather environment obtained with the sensor and has an output valve to drain the water. The main parameters are used as input air temperature, wind speed, relative humidity, and solar radiation. All parameters acquired digitally except solar radiation, solar radiation are acquired from correlation shaping using artificial neural networks algorithm with input temperature and light intensity. The type of valve used is on/off with controller type used is on/off. This study divided into three steps, the first steps is modeling with matlab software. Second, the design of simulation tools with results shown on oscilloscope. Third, the design of the controller device. Artificial neural networks are used feedforward structure with 2 hidden layer. The amount of the first layer size is 15x2 matrix and The amount of the second layer is 1, which produces a fairly good prediction, i.e., with the largest error of 1.13%. The simulation results of the control system on/off produces an error of 1.8% while the application of control system on/off produces an error of 2.20%.*

**Keywords:** Evapotranspiration, artificial neural network, on/off valves

### 1. Pendahuluan

Pangan merupakan kebutuhan dasar dari kehidupan sehingga ketersediannya mutlak diperlukan. Kebutuhan akan pangan juga terus meningkat seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk. Sedangkan ketersediaan sumber daya air

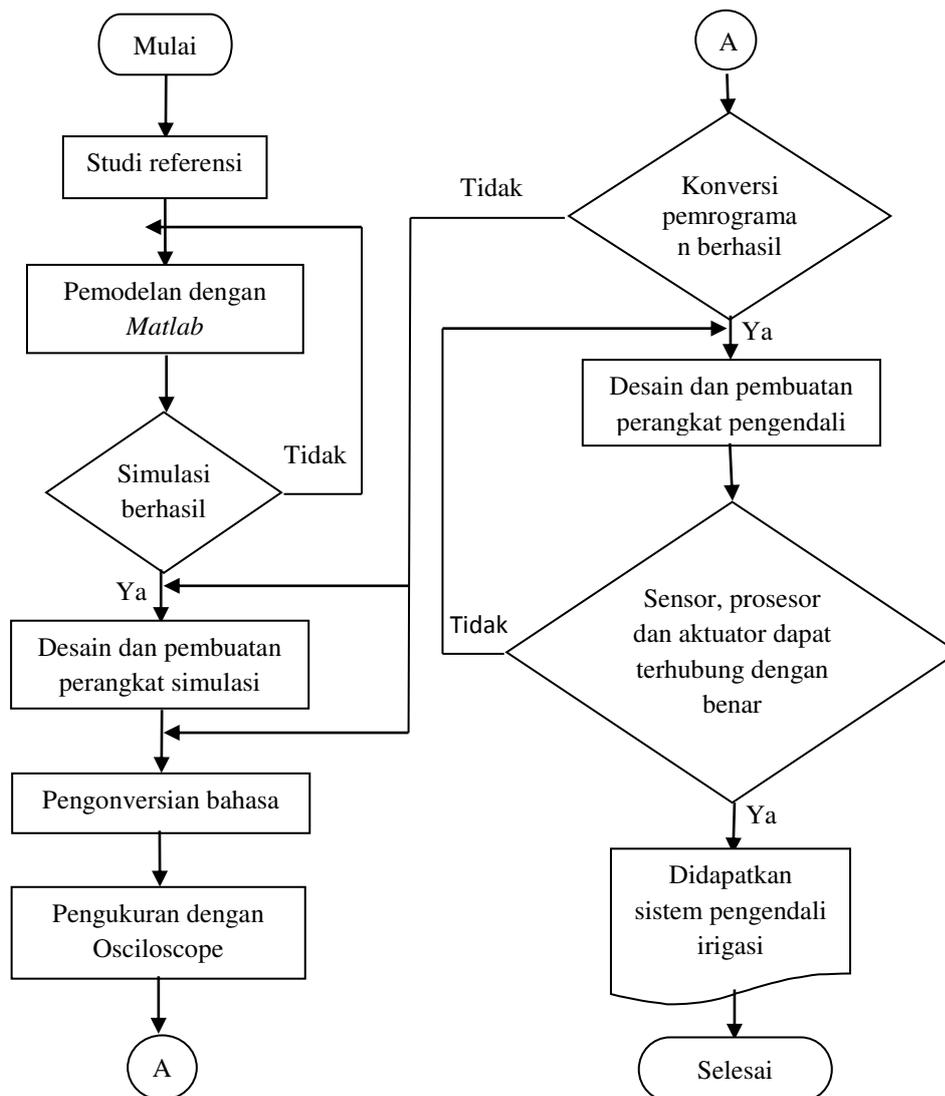
terus menurun dan menjadi langka pada saat musim kemarau. Sehingga tindakan nyata untuk meningkatkan produk pertanian sangat diperlukan. Untuk mengatasi persoalan tersebut, penerapan sistem otomasi merupakan salah satu solusi untuk mengatasi masalah tersebut. Dengan sistem otomasi sangat dimungkinkan perubahan positif disemua lahan ini baik pada kualitas, produktifitas, penghematan energi, dan penghematan sumber air bersih.

Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan sistem irigasi yang dapat berjalan otomatis secara *real-time* yang akan dinamakan sebagai sistem pengendali irigasi berbasis analisis evapotranspirasi. Dengan analisis evapotranspirasi maka dapat diperkirakan kebutuhan air yang diperlukan oleh tanaman untuk tumbuh secara optimal. Analisis evapotranspirasi ini membutuhkan beberapa parameter yang harus diketahui, parameter-parameter tersebut antara lain adalah temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban udara, dan radiasi matahari. Untuk mendapatkan hasil kalkulasi yang optimal maka parameter-parameter tersebut diambil langsung dari cuaca lingkungan. Dengan menggunakan metode ini dapat diprediksi besarnya air mendekati proporsional yang harus dialirkan untuk memenuhi kebutuhan tanaman untuk tumbuh secara optimal. Dengan begitu efisiensi penggunaan sumberdaya air akan meningkat.

Sistem irigasi ini akan dikembangkan dengan teknologi integrasi sistem mekanik, sistem elektronik, dan sistem informatik. Penerapan sistem otomasi dilakukan dengan pengintegrasian sensor cuaca, sistem kendali, dan katup elektronik. Sensor cuaca akan mengambil data cuaca dalam bentuk numerik, selanjutnya data tersebut dikirim menuju sistem kendali. Dalam sistem kendali data cuaca akan dikalkulasi menjadi data jumlah air yang harus di alirkan kedalam lahan, selanjutnya katup elektronik secara otomatis akan terbuka sesuai yang diperlukan.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah mensimulasikan sistem pengendali irigasi, membuat perangkat elektronik untuk sistem pengendali irigasi dan membuat *software* untuk sistem pengendali irigasi, sehingga didapatkan perangkat kontroler yang mendukung satu dengan yang lainnya untuk diterapkan di lapangan.

## 2. Metodologi penelitian



Gambar 1. Flowchart penelitian.

Penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, Tahap pertama memodelkan sistem pengendali irigasi secara numerik. Tahap kedua mengkonversikan model tersebut menjadi bahasa pemrograman yang mampu *compile* dan diproses oleh sistem elektronik. Tahap ketiga adalah menerapkan sistem perangkat lunak tersebut pada perangkat elektronik yang dipakai sebagai pengendali irigasi. Berdasar tahapan yang telah dirancang maka dibuat model *numeric*, perangkat simulasi, dan perangkat pengendali.

Organisasi Pangan dan Pertanian (FAO) Perserikatan Bangsa-Bangsa telah mengusulkan persamaan yang dikenal *Penman-Monteith*, sebagai metode yang paling memadai menghitung evapotranspirasi acuan (*ET<sub>o</sub>*). Kebutuhan air pada tanaman yang disebut dengan evapotranspirasi (*ET<sub>c</sub>*) untuk setiap tanaman dapat dihitung dari persamaan (*ET = K<sub>c</sub> x ET<sub>o</sub>*), dimana nilai tanaman koefisien (*K<sub>c</sub>*) diterapkan untuk tanaman yang berbeda pada tahap tumbuh yang berbeda pula.

Korelasi terkait untuk memprediksi radiasi matahari, penguapan dari tanah kosong yang berhubungan dengan transpirasi tanaman didasarkan pada keseimbangan air dari lapisan permukaan tanah. Evapotranspirasi acuan (*ET<sub>o</sub>*) ditunjukkan Persamaan *Penman-Monteith* dalam satuan (mm / hari) sebagai Persamaan 2.5 (Penman, 1993) dan (Monteith, 1965):

Berikut ini adalah persamaan evapotranspirasi Penman-Monteith [1]:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 U_2)}$$

(1)

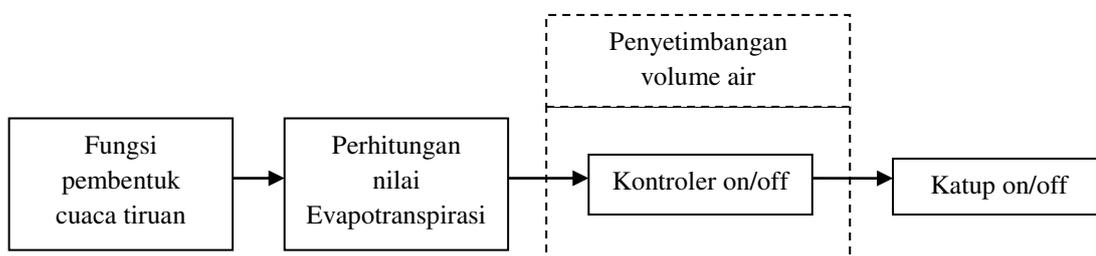
dimana:

- R<sub>n</sub>= radiasi matahari (MJ/m<sup>2</sup> hari)
- G = kerapatan fluks panas tanah (MJ/m<sup>2</sup> hari)
- T = rata-rata suhu udara harian (° C)
- U<sub>2</sub>= Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m / s)
- e<sub>s</sub> = tekanan uap air jenuh (kPa)
- e<sub>a</sub>= tekanan uap sebenarnya (kPa)
- Δ = kemiringan kurva tekanan uap air jenuh (kPa / ° C)
- γ = konstanta psychrometric (kPa / ° C).

Parameter utama adalah radiasi matahari pada permukaan tanaman (*R<sub>n</sub>*), kecepatan angin pada ketinggian 2 m (*U<sub>2</sub>*), suhu udara (*T*), dan kelembaban relatif (*RH*). Namun, beberapa parameter didapat dari penurunan parameter lain yaitu; *Psychrometric constant* (*γ*), *Latent heat of evaporation* (*λ*), *Slope of saturated air vapor pressure curve* (*Δ*), *Saturated air vapor pressure* (*e<sub>s</sub>*), *Actual Vapor Pressure* (*e<sub>a</sub>*), *Soil Heat Flux* (*G*).

## 2.1. Pemodelan Sistem Kontrol

Pemodelan dalam bentuk numerik dibuat terlebih dahulu sebelum pembuatan sistem pengendali irigasi secara riil, hal ini bertujuan untuk efisiensi pengerjaan. Sistem pengendali irigasi dimodelkan menggunakan *software matlab* (*matrix laboratory*) dengan fitur *simulink*. Syarat parameter-parameter aliran tersebut untuk bisa disimulasikan adalah dengan mewakili parameter-parameter tersebut dengan nilai numerik baik konstan maupun berubah terhadap waktu.



Gambar 2. Diagram block pemodelan sistem control.

Parameter utama yang digunakan untuk menghitung evapotranspirasi tanaman adalah temperatur udara, kecepatan angin, kelembaban relatif udara, dan radiasi matahari. Parameter tersebut dimodelkan dengan Persamaan:

$$T = 6.5 x - \sin(0.2619 x t + (0.2619 x 4)) + 27.5 \quad (2)$$

$$U = 1 x - \cos(0.2619 x t x 12 + 0.2619) + 2 \quad (3)$$

$$RH = 26 x - \sin(0.2619 x t + (0.2619 x 4)) + 70 \quad (4)$$

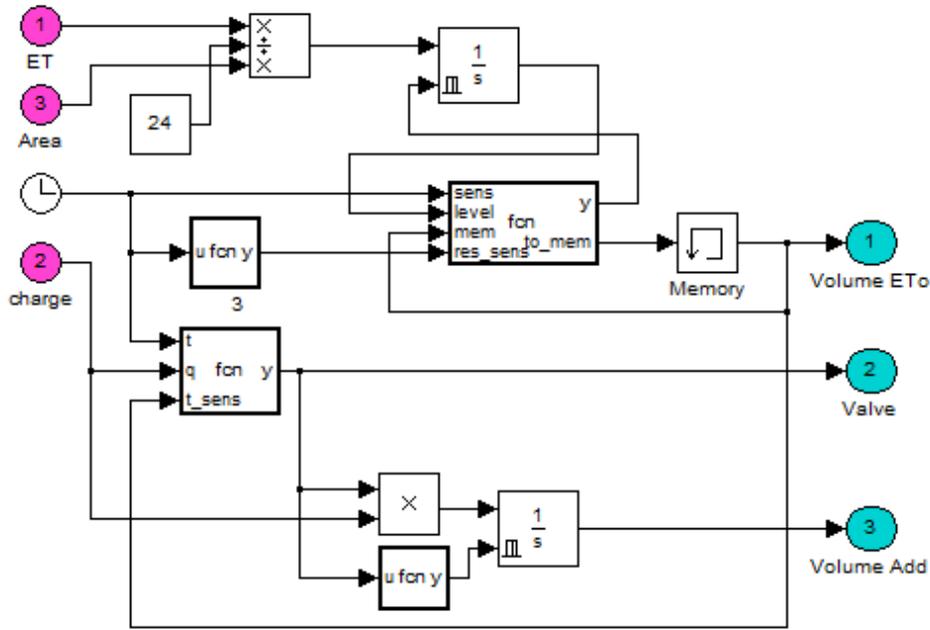
$$R_n = 38 x - \cos(0.2619 x t) + 0 \quad (5)$$

dimana:

- T = Temperatur udara ( C )
- U = Kecepatan angin ( m/s )
- RH = Kelembaban relatif ( % )
- Rn = Radiasi matahari ( MJ/m<sup>2</sup>d )

### 2.1.1. Desain Kontroler on/off

Kontroler *on/off* mengendalikan katub dengan dua posisi yaitu kondisi *on* atau kondisi *off*. Kondisi katub tergantung pada besarnya volume air dari irigasi dikurangi volume air evapotranspirasi.



Gambar 3. Skema matlab kontroler on/off

### 2.2. Konversi Program

Perangkat simulasi adalah perangkat hardware elektronik yang didesain khusus untuk mengklarifikasi data hasil konversi dari simulink menjadi *C language*. Sejauh ini belum ada software yang dapat mengkonversi file simulink kedalam *C language* secara instan sehingga konversi data dilakukan secara manual. Dikarenakan program di konversi secara manual maka program hasil konversi perlu diklarifikasi kembali.

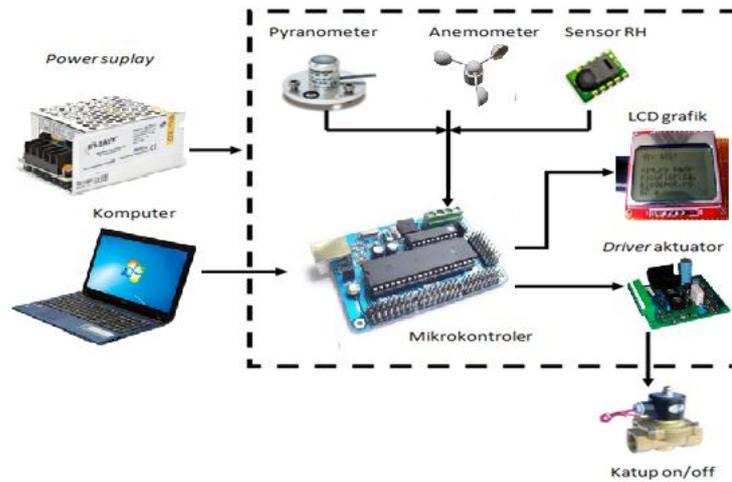


Gambar 4. Desain perangkat simulasi.

### 2.3. Rancangan perangkat pengendali

Perangkat pengendali yaitu perangkat yang akan digunakan dilapangan sebagai pengendali irigasi . Berbeda dari perangkat simulasi, perangkat pengendali ini memiliki *input sensor* dan *output* aktuator. Sensor berfungsi mengenali

kondisi lingkungan dan merubahnya kedalam nilai numerik, selanjutnya nilai numeric tersebut dialih-fungsikan menjadi pengubah kondisi aktuator.



**Gambar 5.** Desain perangkat pengendali.

Gambar 5 menunjukkan bahwa mikrokontroler merupakan otak dari sistem kendali yang bertugas melakukan hampir semua proses kendali seperti mengambil data pengukuran sejumlah sensor cuaca, melakukan proses filtering dan estimasi, perhitungan kendali utama, memberikan sinyal kendali ke actuator, serta mengirimkan data hasil perhitungan melalui perangkat antar muka dan penampil.

Perangkat pengendali terdiri dari berbagai macam komponen, komponen-komponen tersebut memiliki kebutuhan tegangan yang berbeda pula. Tegangan yang diperlukan dibagi menjadi 3 kelompok, dibawah ini merupakan tabel besar tegangan, arah arus listrik, dan penggunaannya.

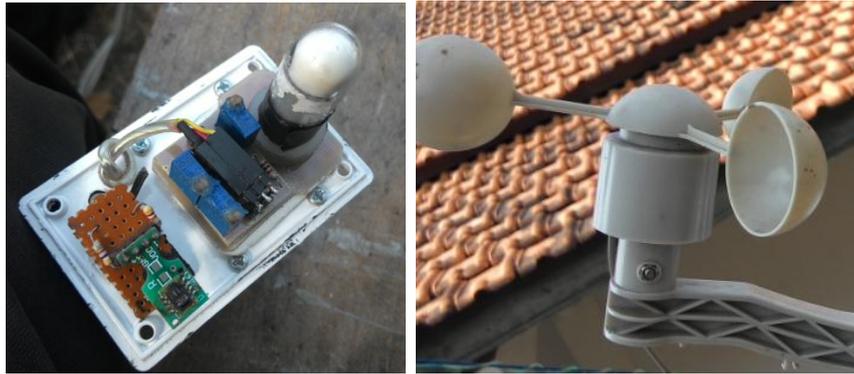
**Tabel 1.** Jenis Tegangan dan Arus Yang Digunakan.

Tegangan(Volt)	Tipe Arus	Arus(Ampere)	Beban
3	DC	0.2	LCD grafik
5	DC	3	Sensor Mikrokontroler
220	AC	2	Katup On/Off

Untuk menghitung kebutuhan air tanaman diperlukan data cuaca dari lingkungan sekitar sehingga diperlukan pemasangan sensor cuaca. Sensor cuaca yang digunakan pada penelitian ini ada 4, yaitu sensor temperatur, sensor kecepatan angin, sensor kelembaban, dan sensor cahaya matahari. Tabel 2 merupakan tabel jenis sensor dan akuisisi data yang dipakai.

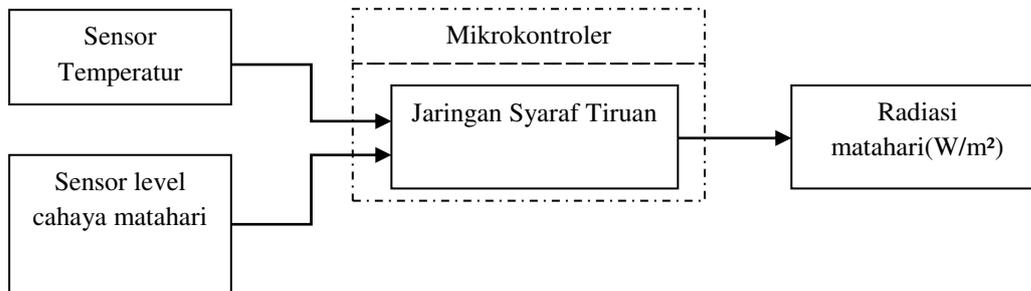
**Tabel 2.** Jenis Sensor Yang Digunakan.

Sensor	Akuisisi data	Device
Temperatur	Digital	SHT11
Humidity	Digital	SHT11
Kecepatan angin	Digital	Anemomet er
Radiasi Matahari	Pembentukan korelasi dengan jaringan syaraf tiruan dari parameter temperatur dan sinar matahari	Photodiode



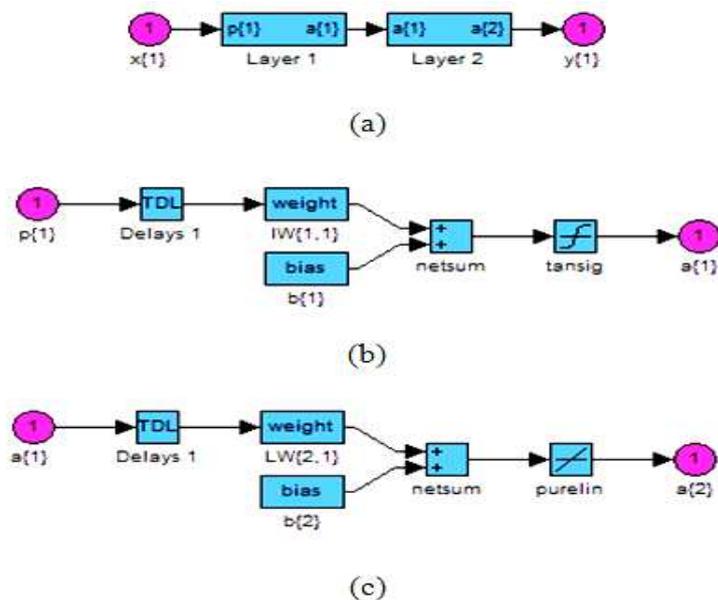
**Gambar 6.** (a) Sensor (temperature, RH dan cahaya matahari) (b) Sensor kecepatan angin

Dalam perancangan irigasi ini pengukuran perubahan radiasi matahari di ukur dengan metode pengukuran parameter cahaya dan temperatur. Sensor radiasi matahari, temperatur, dan intensitas cahaya di uji dalam waktu dan kondisi yang sama dan di catat nilainya. Nilai yang dihasilkan dari pengujian tersebut selanjutnya dibandingkan kelinierannya. Untuk menghasilkan pengukuran radiasi matahari menggunakan parameter temperatur dan intensitas cahaya maka diperlukan pembentuk korelasi antara parameter-parameter tersebut. Dalam penelitian ini korelasi tersebut dibentuk dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan (JST).



**Gambar 7.** Diagram *block* akuisisi radiasi matahari

Pada pembentukan korelasi antara temperatur, cahaya matahari dan radiasi matahari, jaringan syaraf tiruan membutuhkan proses training untuk mendapatkan factor bobot masing-masing *neuron*, dimana factor bobot tersebut adalah factor pengali, bias, dan fungsi aktivasi. Tanpa memasukkan rumus tertentu untuk membentuk suatu korelasi, *neuron* yang telah ditraining akan mampu memberikan suatu konstanta dengan pola yang diinginkan[2]. Jumlah neuron yang digunakan dalam JST adalah 15.

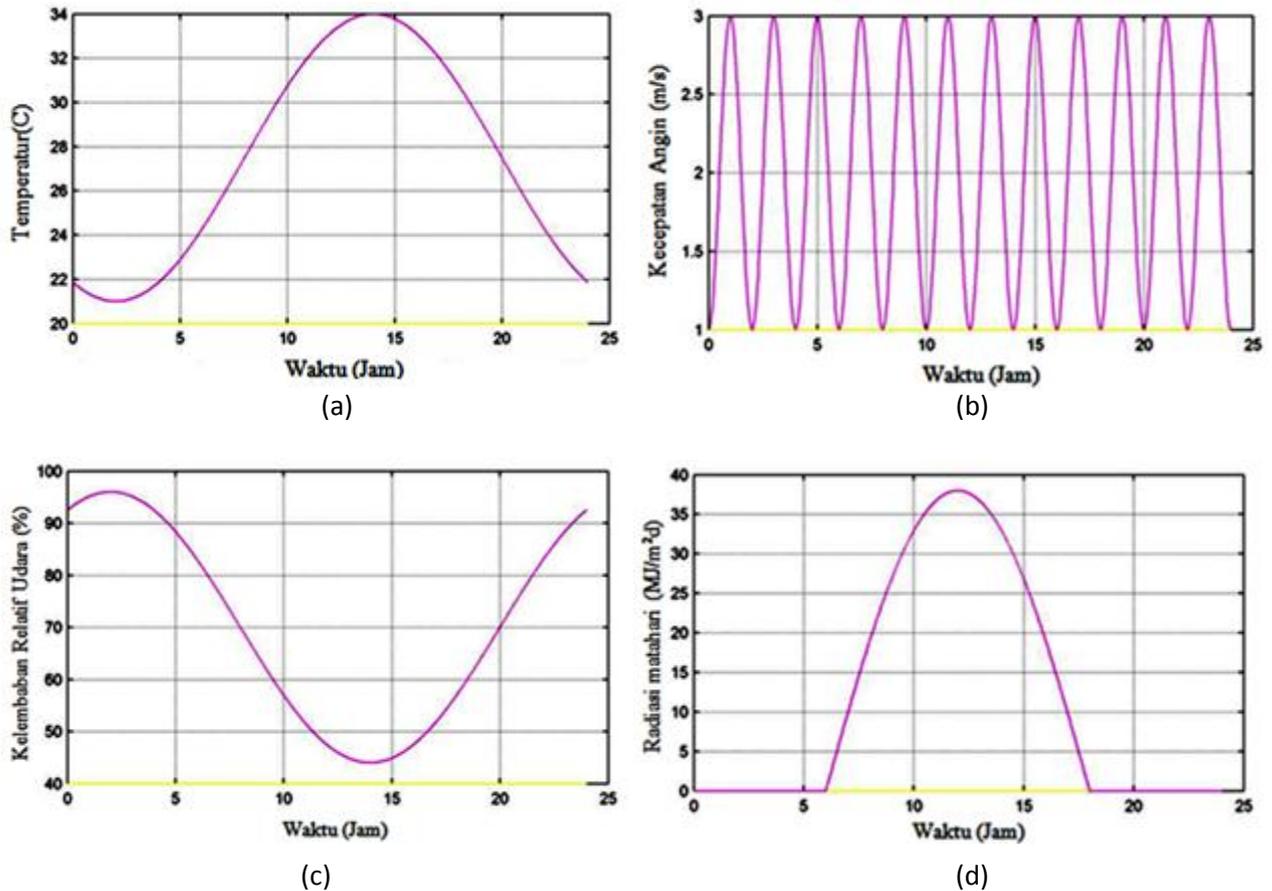


**Gambar 8.** (a) Struktur jaringan syaraf tiruan, (b) layer 1, (c) layer 2

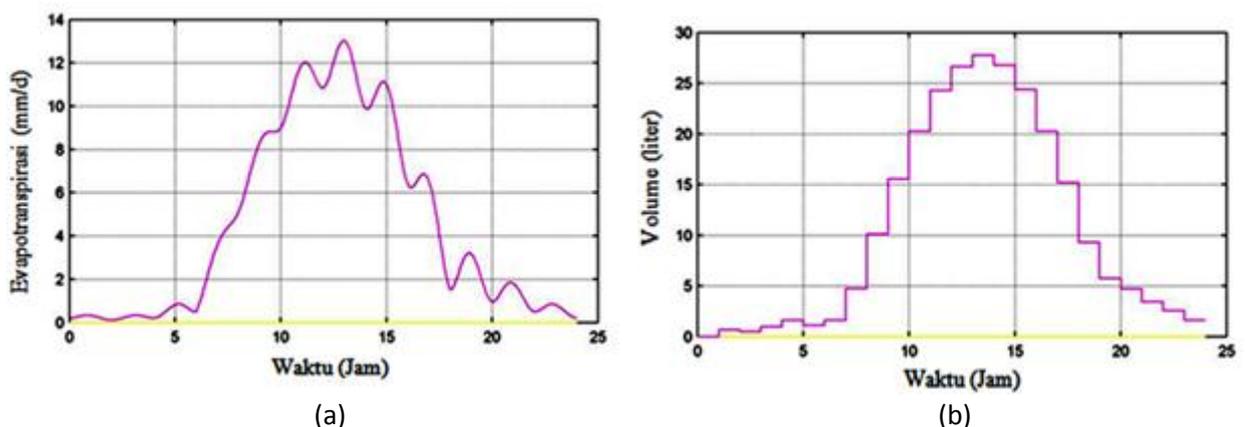
### 3. Hasil dan pembahasan

#### 3.1. Hasil pengujian Model

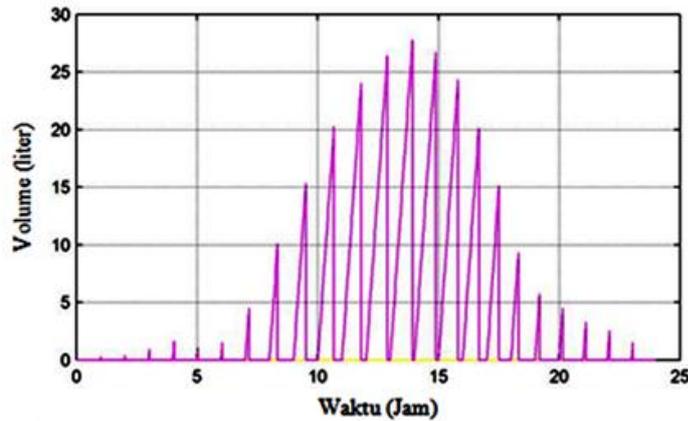
Berdasarkan pemodelan matematis yang dirancang dalam Bab 2.1 untuk mewakili parameter cuaca maka didapatkan Gambar 9 sebagai acuan penentu besarnya evapotranspirasi yang di *plot* terhadap waktu. Sedangkan Gambar 11 adalah besarnya volume air yang dievapotranspirasikan dari lahan seluas 56 m<sup>2</sup>.



**Gambar 9.** Tampilan empat parameter cuaca, (a)Temperatur, (b) Kecepatan Angin, (c) Kelembaban Udara, (d) Radiasi Matahari.



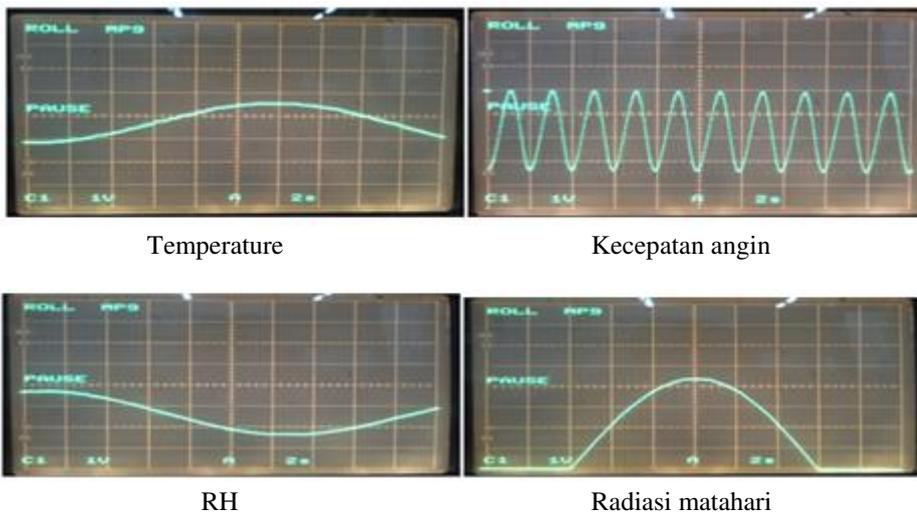
**Gambar 10.** (a) Nilai evapotranspirasi dari cuaca tiruan, (b) Volume air yang hilang akibat evapotranspirasi



Gambar 11. Volume air hasil kontroler on/off

### 3.2. Hasil Perangkat Simulasi

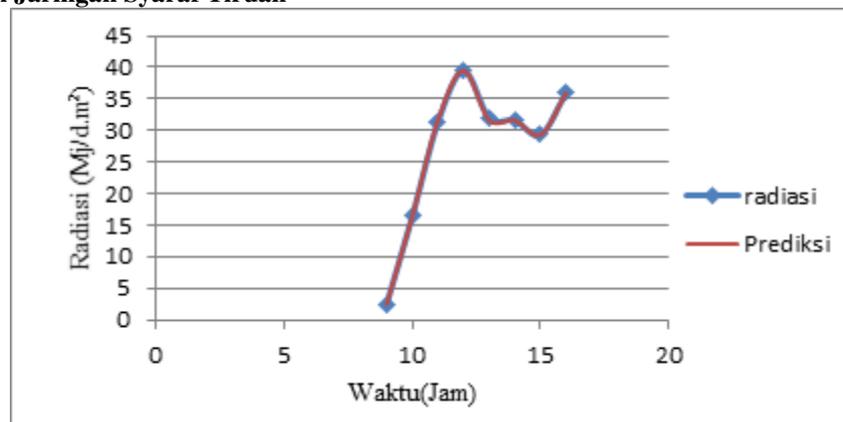
Perangkat simulasi diuji dengan menggunakan *oscilloscope*, dimana *oscilloscope* diatur pada mode tegangan 1 volt per *grid* untuk sumbu Y dan periode 2 detik per *grid* untuk sumbu X. Nilai *variable* yang disimulaikan memiliki batas dengan *range* antara 0 sampai 255 karena *hardware* elektronik yang dipakai sebagai perangkat simulasi memiliki spesifikasi sistem operasi 8 bit, pengaplikasian *range* tersebut akan menghasilkan tegangan *output* perangkat simulasi dengan *range* sebesar 0 volt sampai 5 volt. Dengan keterbatasan nilai *variable* dan level *grid ploter* maka nilai variabel bebas yang akan diukur harus berkisar antara 0 sampai 255, jika *variable* bebas yang akan diukur memiliki nilai diluar batas tersebut maka *variable* tersebut perlu di skala terlebih dahulu.



Gambar 12. Pemodelan cuaca menggunakan perangkat simulasi

### 3.3. Hasil Pengujian perangkat Pengendali

#### 3.3.1. Hasil Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan



Gambar 13. Hasil pengujian akuisisi data radiasi matahari.

Jaringan syaraf tiruan dirancang dengan konstruksi *feedforward 1 layer input, 2 layer* tersembunyi, dan 1 *layer output*. Untuk layer tersembunyi sendiri memiliki jumlah *neuron* yang berbeda didalamnya. *Layer* pertama memiliki jumlah *neuron* sebanyak 15 *neuron*, sedangkan *layer* kedua memiliki 1 *neuron*. Hasil jaringan syaraf tiruan yang dirancang dibandingkan dengan data radiasi matahari dari BMKG(Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika).

### 3.3.2. Hasil Pengujian Katub

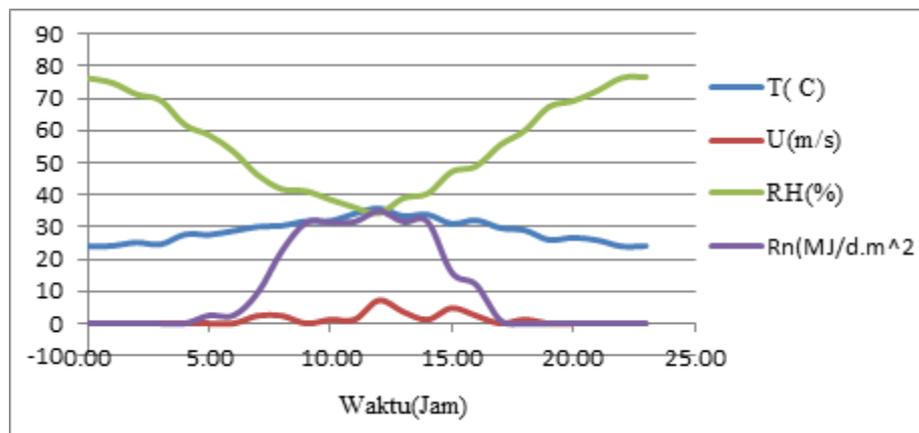
Katup *on/off* hanya memiliki dua posisi yaitu tutup penuh dan buka penuh, kondisi ini diwakili dengan level bukaan 0 dan 1. Hasil pengujian debit pada katup *on/off* menunjukkan debit 0 ml/s pada kondisi tutup, dan 125.16 ml/s pada bukaan penuh.

**Tabel 3.** Tabel Pengukuran Debit Katup *On/Off*.

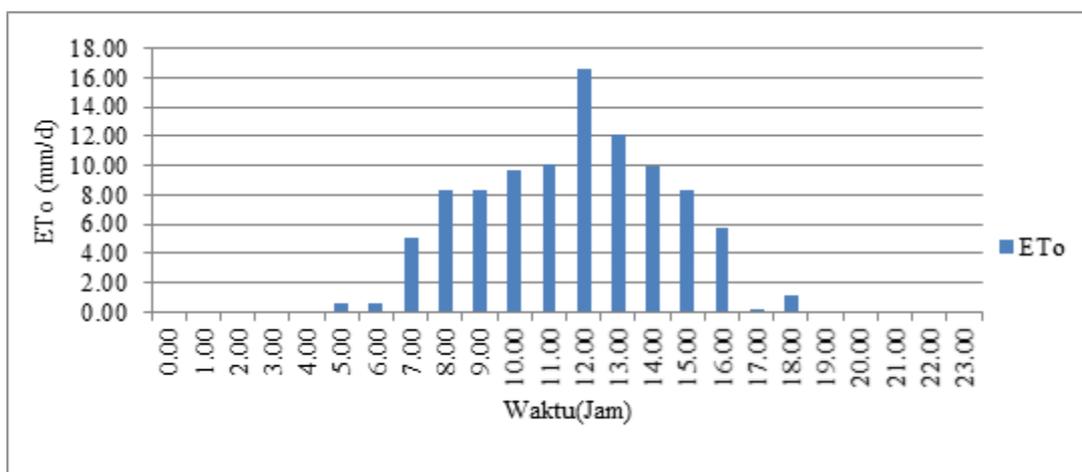
Bukaan	Waktu 1(s)	Waktu 2(s)	Waktu 3(s)	Rata-rata	Debit(mL/s)
0	-	-	-	-	0
1	127.6	128.1	127.8	127.83	125.16

### 3.3.3. Hasil Pemantauan Cuaca

Pengujian akuisisi data sensor diuji selama 24 jam dengan interval 1 jam, parameter-parameter yang diuji adalah temperatur udara (T), kecepatan angin (U), kelembaban relatif (RH), dan radiasi matahari (Rn). Gambar 14 merupakan hasil pemantauan cuaca yang dilakukan pada tanggal 23 September 2014. Sedangkan Gambar 15 merupakan kalkulasi *ETo* dari data cuaca yang diperoleh.



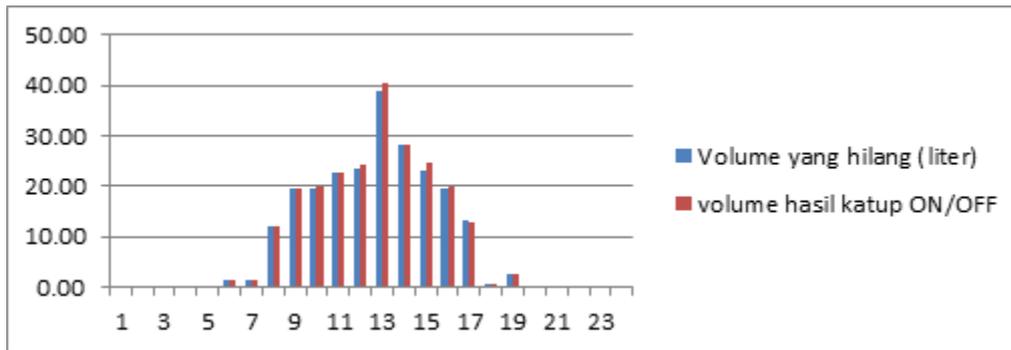
**Gambar 14.** Hasil pemantauan cuaca menggunakan perangkat pengendali.



**Gambar 15.** Hasil perhitungan evapotranspirasi.

### 3.3.4. Hasil Pengendalian katub

Rata-rata Error yang dihasilkan pada katup *on/off* adalah 0.68% berikut ini ditunjukkan gravik besarnya.



Gambar 16. Penyetimbangan volume.

Dalam Gambar 16 dapat dilihat besarnya *error* yang di timbul baik dari dari katup *on/off* . *Error* rata-rata dari katub *on/off* 2,20% .

## 5. Kesimpulan

- Melakukan simulasi sebelum pembuatan *project* secara *real* memberikan hasil yang optimal karena sistem dapat ditinjau secara numerik maupun grafik.
- Konversi program dari *Matlab* menjadi bahasa C untuk mikrokontroler berhasil dilakukan dengan dengan metode konversi manual dan dibandingkan secara visual.
- Jaringan syaraf tiruan konstruksi *feedforward* dengan *hidden layer* berjumlah 2, jumlah *layer* pertama berukuran matriks 15x2 dan *layer* kedua berjumlah 1 menghasilkan prediksi yang cukup baik, yakni dengan *error* terbesar 1,13%.
- Simulasi pada metode control *on/off* menunjukkan *error* dari sistem tersebut sebesar 1,8%.
- Penerapan pada metode kontrol *on/off* menunjukkan *error* dari sistem tersebut sebesar 2,20%.

## 6. Daftar pustaka

- [1] Smith, M. (2006). "Guidelines for computing crop water requirements"FAO, Water Resources, Development and Management Service Rome, Italy
- [2] Krogh, A. 2008. *What are artificial neural networks?*. Nature Publishing Group, Desember, 2, 2013.