

RANCANG BANGUN SISTEM PENGENDALI IRIGASI BERBASIS ANALISIS EVAPOTRANSPIRASI DENGAN KONTROLER PI

*Suwoko¹, Susilo Adi Widyanto²

¹Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

²Dosen Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*E-mail: kokomesin@gmail.com

Abstrak

Pangan merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan sehingga ketersediannya mutlak diperlukan sepanjang masa, sedangkan sumber air semakin menurun dan menjadi langka pada saat musim kemarau. Salah satu cara memenuhi kebutuhan air tanaman secara tepat adalah menghitung evapotranspirasi tanaman dengan persamaan Penman-Monteith. 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 mengalirkan air. Katup yang digunakan yaitu katup linier dan dipasang pula katup *on/off* sebagai pembanding performanya. 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. Jaringan syaraf tiruan yang digunakan struktur *feedforward* dengan *neuron* berjumlah 15. Kontroler yang digunakan untuk masing-masing katup yaitu katup *on/off* dikendalikan dengan kontroler *on/off* dan katup linier dikendalikan dengan kontroler PI dengan konstanta $K_p=1,15$ dan $K_i=0,95$. Hasil pengujian jaringan syaraf tiruan yang dibentuk menunjukkan hasil yang baik dimana error yang timbul adalah 1.13%. Hasil simulasi dari sistem pengendali *on/off* menghasilkan error sebesar 0,68% dan sistem pengendali PI menghasilkan error sebesar 0,02% sedangkan penerapan sistem pengendali *on/off* menghasilkan error sebesar 2,20%, dan sistem kontrol PI menghasilkan error sebesar 1,74%.

Kata kunci: Evapotranspirasi, jaringan syaraf tiruan, katup linier, kontroler PI

Abstract

Food is a basic requirement for life so that the availability is absolutely necessary of all time, while the source of the water decreases and becomes scarce during the dry season. 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 type of valve used is linear and also installed on/off valve for comparison that performance. 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. Artificial neural networks are used feedforward structure with neurons numbered 15. The controller used for each valve is on/off valve is controlled by the controller on/off and linear valves are controlled by a PI controller with constant $K_p = 1.15$ and $K_i = 0.95$. The test results are established neural network showed good results, where the error is 1.13%. The simulation results of the control system on/off produces an error of 0.68% and PI control system generates an error of 0.02%, while the application of control system on/off produces an error of 2.20%, and the PI control system generates an error of 1.74%.

Keywords: Evapotranspiration, artificial neural network, linear valves, PI controller

1. Pendahuluan

Pangan merupakan kebutuhan dasar bagi kehidupan sehingga ketersediannya mutlak diperlukan sepanjang masa. 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 [1]. Untuk mengatasi persoalan tersebut, penerapan sistem otomasi merupakan salah satu usaha yang sangat penting untuk dipertimbangkan.

Dengan sistem otomasi sangat dimungkinkan perubahan positif disemua lini baik pada kualitas, produktifitas, penghematan energi, dan penghematan sumber air bersih. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan sistem pengendali irigasi yang dapat berjalan otomatis secara real-time dengan basis perhitungan evapotranspirasi tanaman. 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 relatif udara, dan radiasi matahari. Untuk mendapatkan hasil kalkulasi yang optimal maka parameter-parameter tersebut diambil langsung dari cuaca lingkungan.

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

Secara garis besar penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, Tahap pertama memodelkan sistem pengendali irigasi secara numerik. Tahap kedua mengkonversikan model tersebut menjadi bahasa pemrograman yang mampu *dcompile* 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. Berikut ini adalah persamaan evapotranspirasi Penman-Monteith [1]:

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

dimana:

R_n= radiasi matahari (MJ/m² hari)

G = kerapatan fluks panas tanah (MJ/m² hari)

T = rata-rata suhu udara harian (° C)

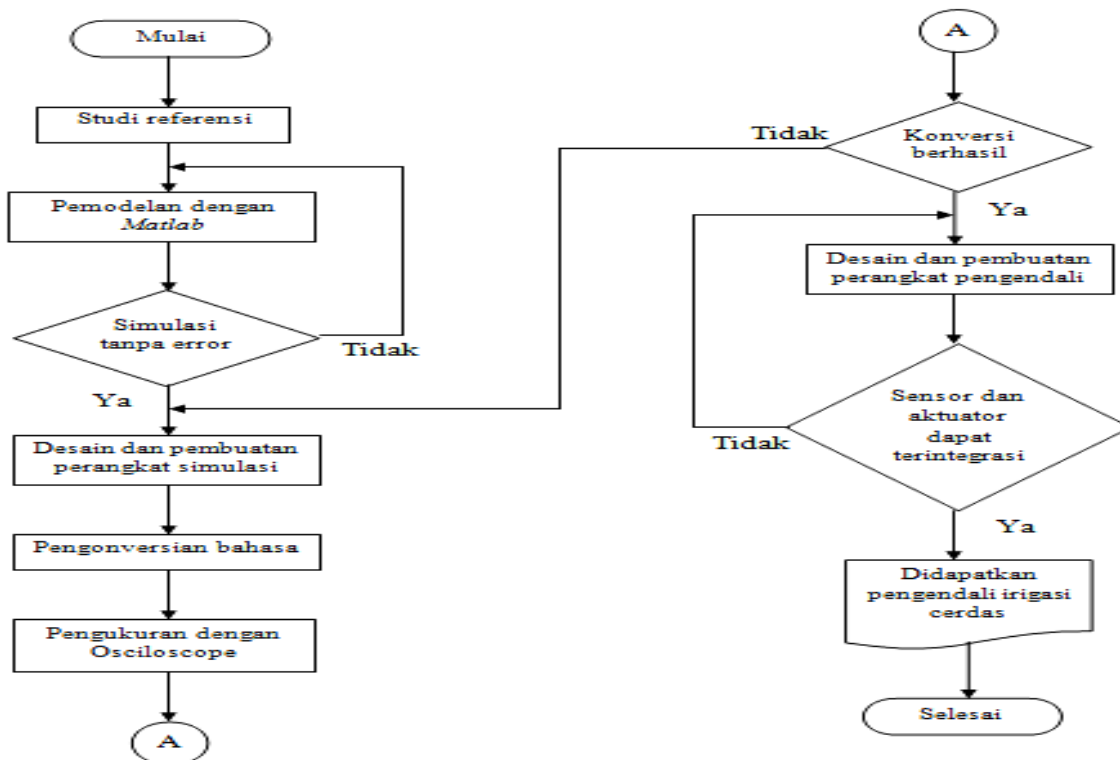
U₂= Kecepatan angin pada ketinggian 2 m (m / s)

e_s = tekanan uap air jenuh (kPa)

e_a= tekanan uap sebenarnya (kPa)

Δ = kemiringan kurva tekanan uap air jenuh (kPa / ° C)

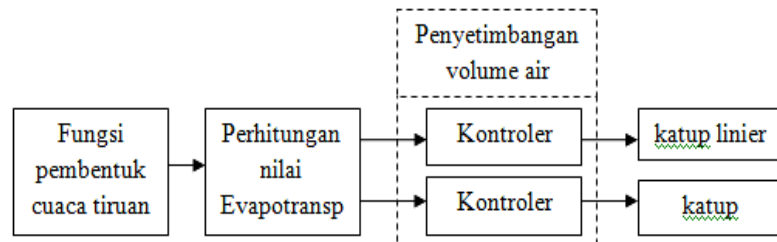
γ = konstanta psychrometric (kPa / ° C).



Gambar 1. Flowchart penelitian

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 kontrol

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

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

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

$$RH = 26 x - \sin(0.2619 x t + (0.2619 x 4)) + 70 \tag{4}$$

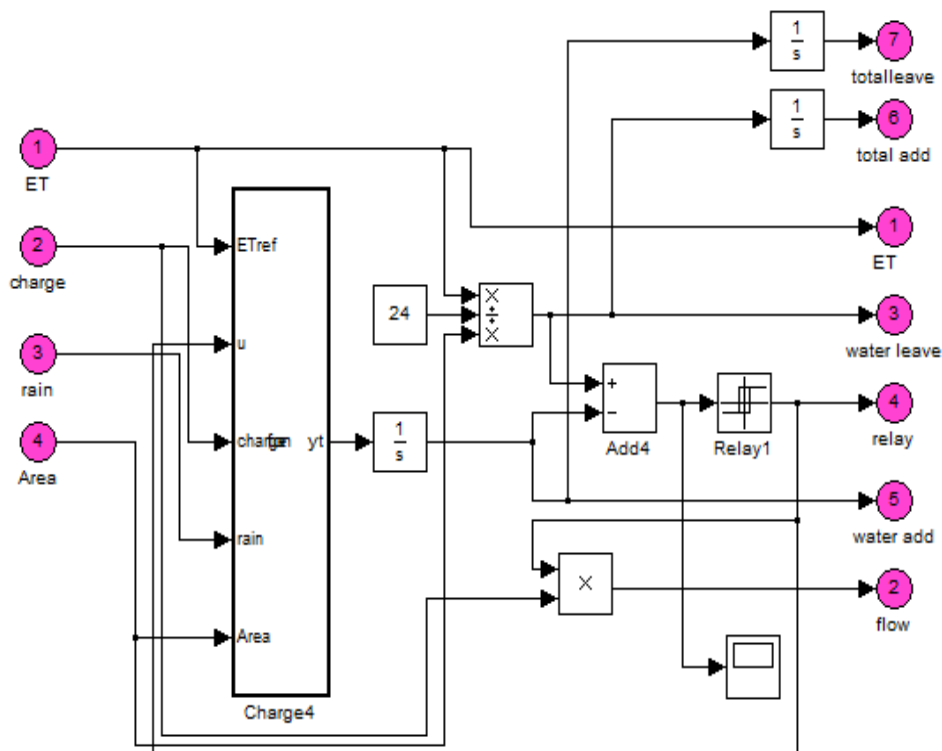
$$Rn = 38 x - \cos(0.2619 x t) + 0 \tag{5}$$

dimana:

- T = Temperatur udara (C)
- U = Kecepatan angin (m/s)
- RH = Kelembaban relatif (%)
- Rn = Radiasi matahari (MJ/m²d)

2.1.1. Desain Kontroler on/off

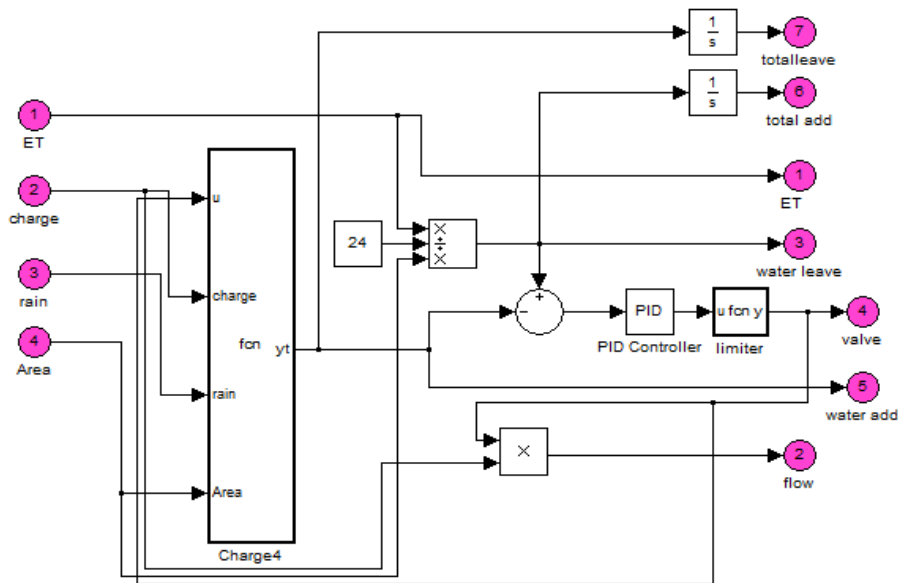
Kontroler *on/off* mengendalikan katub dengan dua posisi yaitu kondisi on atau kondisi off. Kondisi katub tergantung pada besarnya volume air dari irigasi dikurangi volume air evapotranspirasi. Kontroler ini didesain aktif(on) jika selisih volume bernilai -2 dan akan mati(off) jika bernilai 2.



Gambar 3. Skema matlab kontroler on/off

2.1.2. Desain Kontroler PI

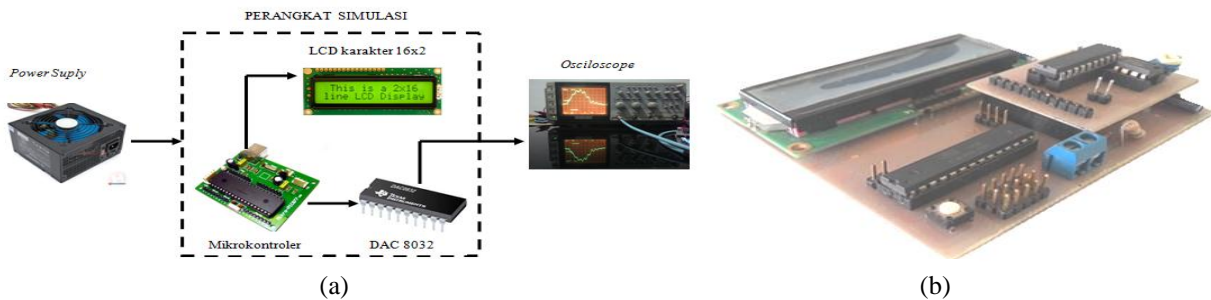
Kontroler PI merupakan kontroler yang memiliki output proporsional, kontroler ini mampu meminimalisir error hingga mendekati nol [2]. Kontroler PI membutuhkan beberapa konstanta yaitu Kp dan Ki. Konstanta yang dipakai dalam penelitian ini adalah konstanta Kp=1,15 dan Ki=0,95.



Gambar 4. Skema matlab kontroler PI

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.



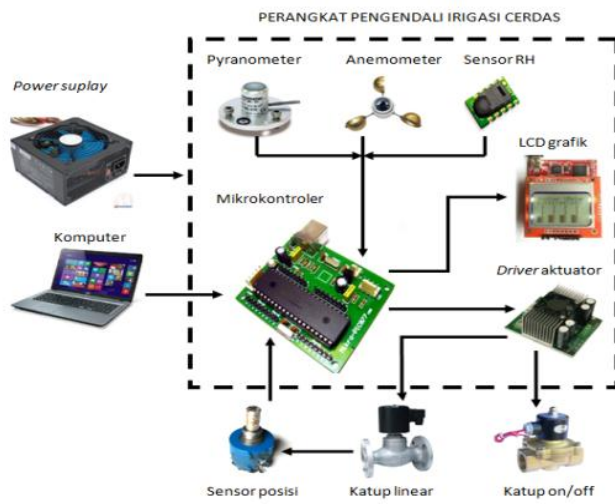
Gambar 5. (a) Desain perangkat simulasi, (b) tampilan fisik perangkat simulasi

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. Aktuator berfungsi untuk merubah kondisi lingkungan yang dianggap sebagai target pengontrolan.

Gambar 7 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 aktuator, 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 4 kelompok, dibawah ini merupakan tabel besar tegangan, arah arus listrik, dan penggunaannya.



(a)

(b)

Gambar 6. (a) Desain perangkat pengendali, (b) tampilan fisik perangkat simulasi pengendali

Tabel 1. Jenis tegangandan arus yang digunakan.

Tegangan(Volt)	Tipe Arus	Arus(Ampere)	Beban
3	DC	0.2	LCD grafik
5	DC	3	Sensor Mikrokontroller
12	DC	10	Driver Motor Katup Linier
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 lima, 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	Anemometer
Radiasi Matahari	Pembentukan korelasi dengan jaringan syaraf tiruan dari parameter temperatur dan sinar matahari	Photodiode
Posisi katub linear	Konversi Analog menjadi Digital (ADC) 10 bit	Potentio



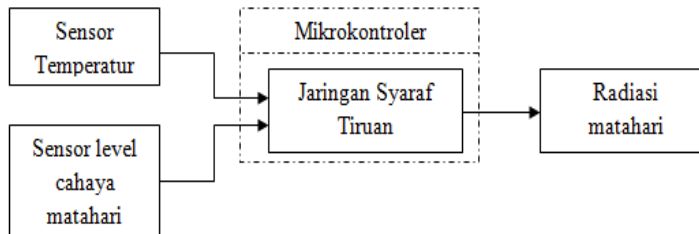
(a)

(b)

Gambar 7. (a) Sensor temperature, RH dan cahaya matahari (b) Sensor kecepatan angina

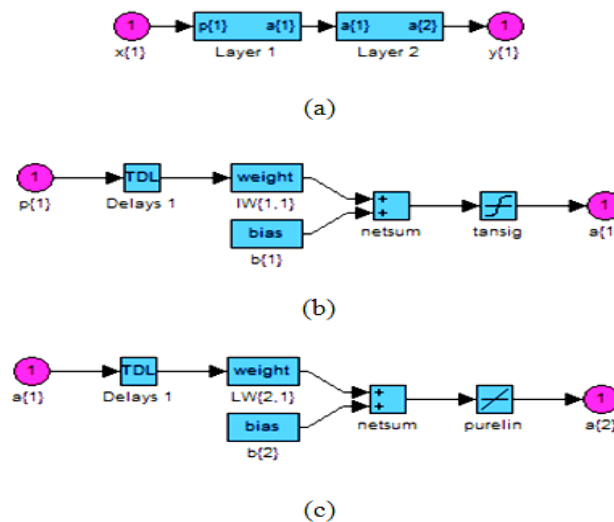
Dewasa ini telah banyak dikembangkan alat ukur radiasi matahari dengan berbagai metode, contohnya adalah *radiometer*, *pyranometer*, dan *Actinograph*. Dalam perancangan irigasi ini pengukuran perubahan radiasi matahari diukur dengan metode pengukuran parameter cahaya dan temperatur.

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 keliniernya. 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 8. 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 seperti yang di pelajari pada bab sebelumnya. Tanpa memasukkan rumus tertentu untuk membentuk suatu korelasi, *neuron* yang telah ditraining akan mampu memberikan suatu konstanta dengan pola yang diinginkan[3]. Jumlah neuron yang digunakan dalam JST ialah 15.

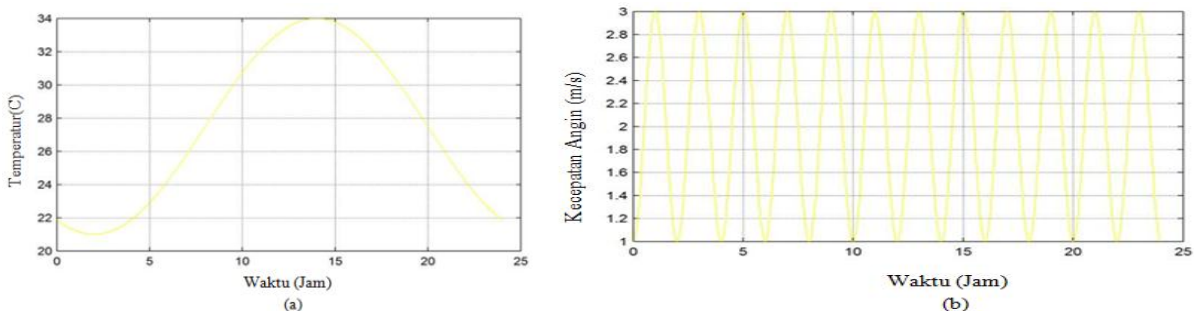


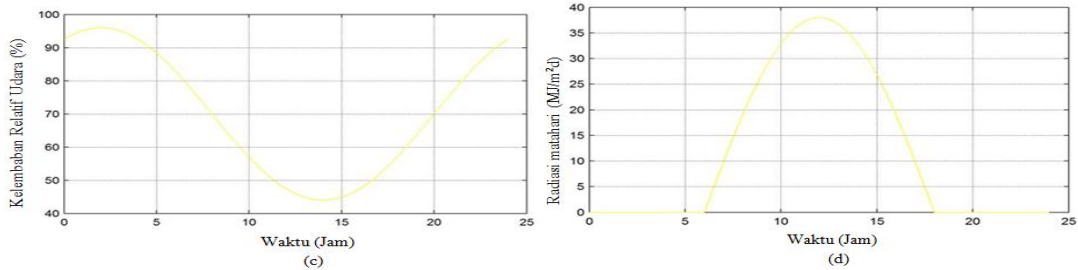
Gambar 9. (a) Struktur jaringan syaraf tiruan, (b) layer 1, (c) layer 2

3. Hasil dan pembahasan

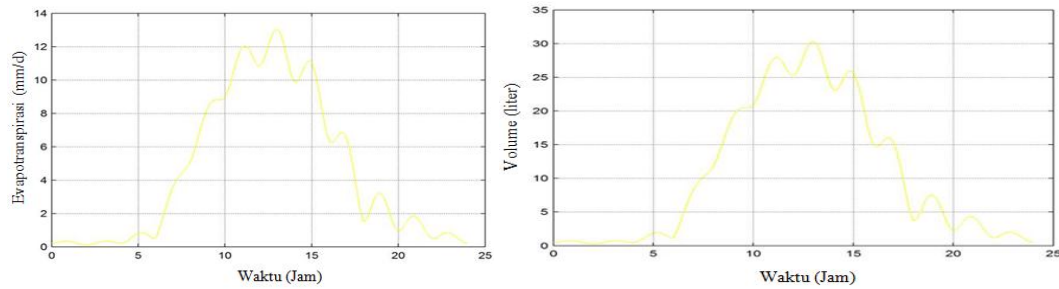
3.1. Hasil pengujian Model

Berdasarkan pemodelan matematis yang dirancang dalam Bab 2.1 untuk mewakili parameter cuaca maka didapatkan Gambar 14 sebagai acuan penentu besarnya evapotranspirasi yang di *plot* terhadap waktu. Sedangkan Gambar 16 adalah besarnya volume air yang dievapotranspirasikan dari lahan seluas 56 m².

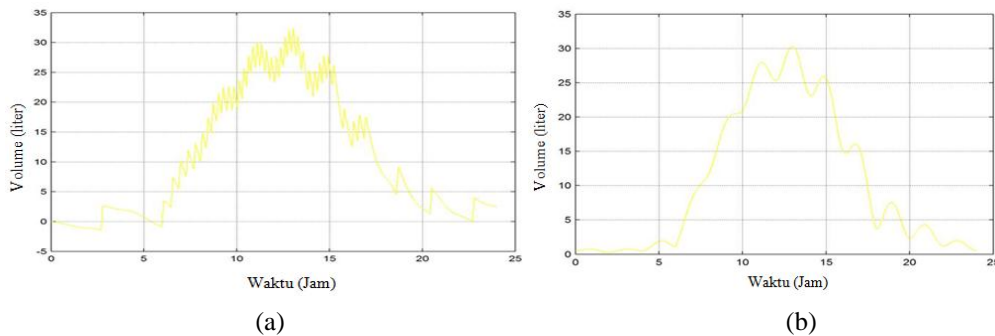




Gambar 10. Tampilan empat parameter cuaca, (a) Temperatur, (b) Kecepatan Angin, (c) Kelembaban Udara, (d) Radiasi Matahari.



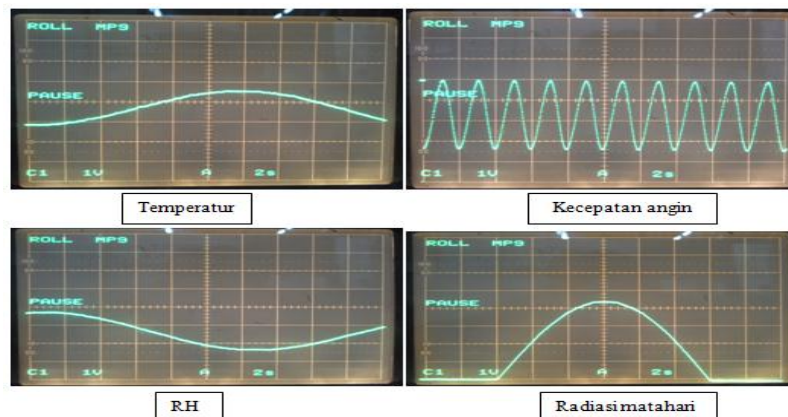
Gambar 11. (a) Nilai evapotranspirasi dari cuaca tiruan, (b) Volume air yang hilang akibat evapotranspirasi



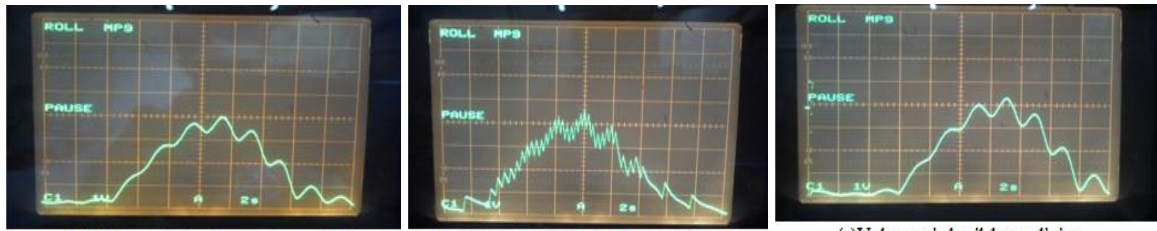
Gambar 12. (a) Volume air hasil kontroler on/off, (b) Volume air hasil kontroler PI

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 13. Pemodelan cuaca menggunakan perangkat simulasi

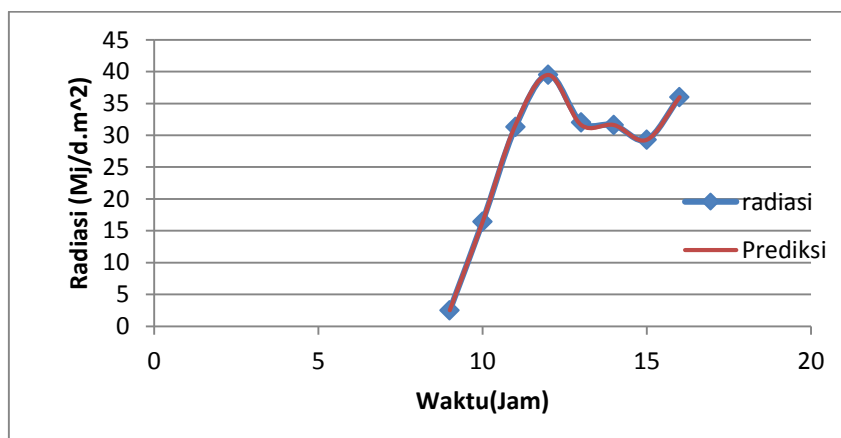


(a) Volume air hasil evapotranspirasi (b) Volume air hasil katup on/of (c) Volume air hasil katup linier
Gambar 14. Pemodelan pengontrolan air menggunakan perangkat simulasi

3.3. Hasil Pengujian perangkat Pengendali

3.3.1. Hasil Pengujian Jaringan Syaraf Tiruan

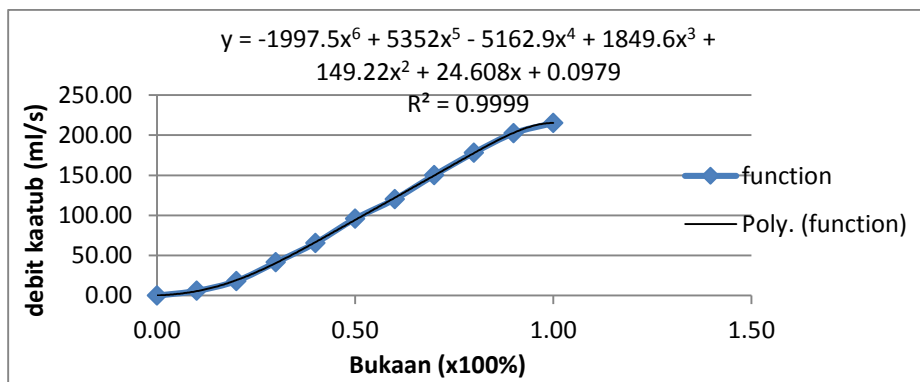
Jaringan syaraf tiruan dirancang dengan konstruksi *feedforward* 1 layer input, 2 layer tersembunyi, dan 1 layer output. Untuk layer tersembunyi sendiri memiliki jumlah *neuron* yang berbeda didalamnya. Layer pertama memiliki jumlah *neuron* sebanyak 15 *neuron*, sedangkan layer kedua memiliki 1 *neuron*.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



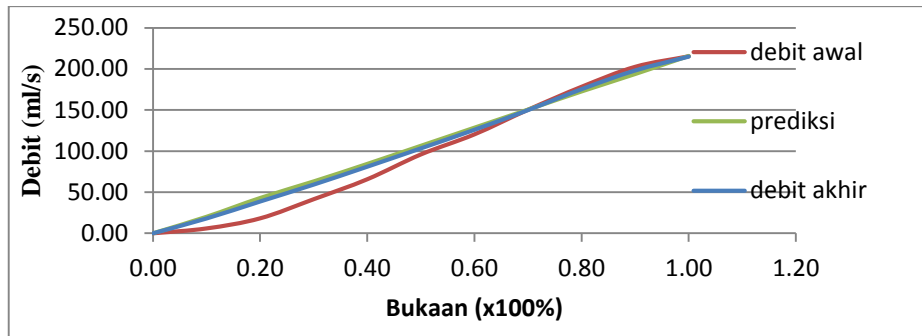
Gambar 15. Hasil pengujian akuisisi data radiasi matahari

3.3.2. Hasil Pengujian Katub

Pengendalian katub *on/off* menunjukkan hasil tutup penuh sebesar 0 ml/s dan buka penuh sebesar 125.16 ml/s. Pengendalian katub linier menunjukkan hasil yang tidak linier, tetapi memiliki grafik nonlinier. Dibandingkan dengan grafik linier yang seharusnya dicapai, debit dari katub linier memiliki error maximal pada bukaan 0.1 yaitu mencapai 72%. Error dapat dikurangi dengan cara mencari fungsi nonlinier dari grafik debit yang dihasilkan. Selanjutnya fungsi nonlinier tersebut digunakan untuk iterasi input hingga mendekati fungsi linier. Pendekatan grafik nonlinier didekati dengan fungsi *polynomial* yang diperoleh dari *software Microsoft excel*.



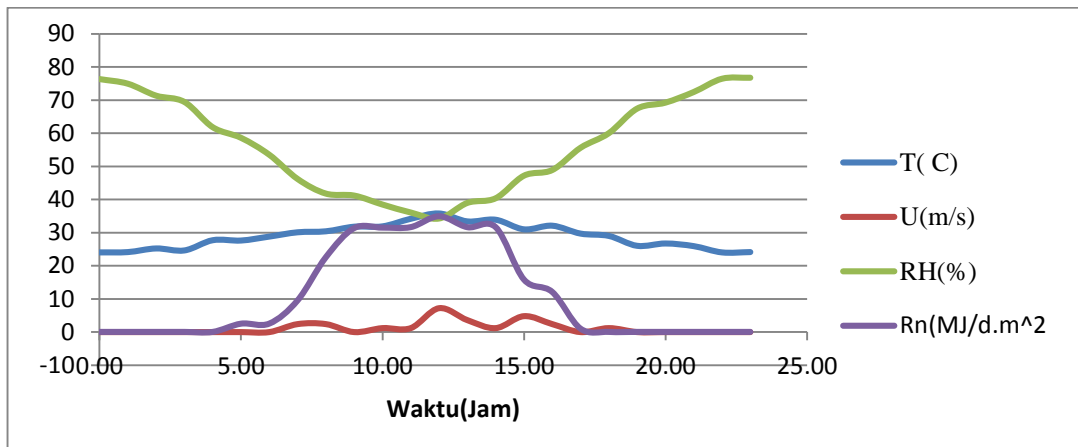
Gambar 16. Perolehan fungsi polinomial



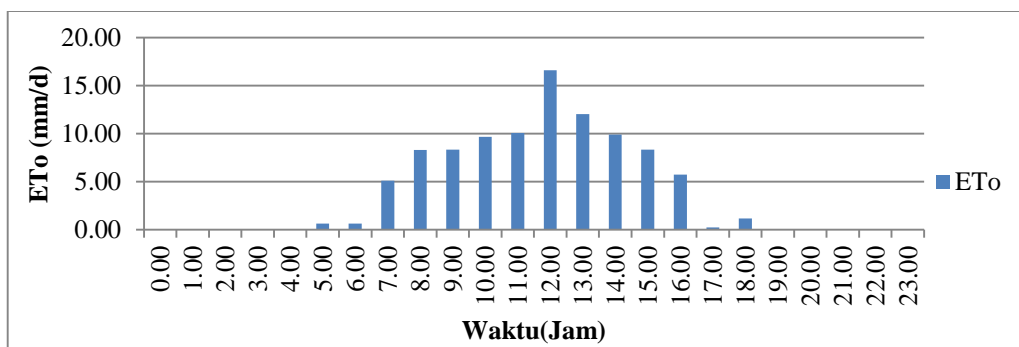
Gambar 17. Perbandingan debit hasil linearisasi katub

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 24 merupakan hasil pemantauan cuaca yang dilakukan pada tanggal 23 September 2014. Sedangkan Gambar 25 merupakan kalkulasi ETo dari data cuaca yang diperoleh.



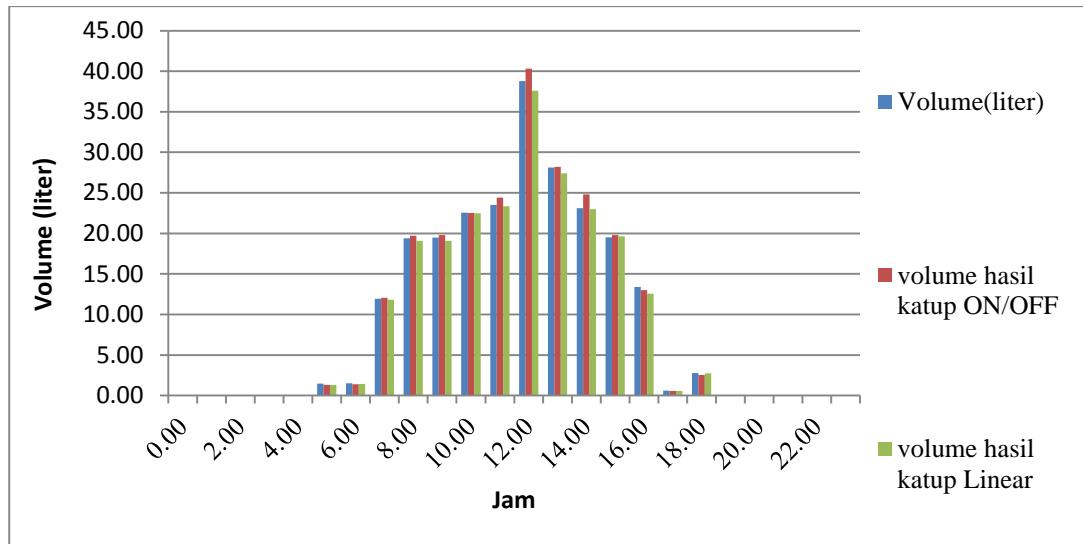
Gambar 18. Hasil pemantauan cuaca menggunakan perangkat pengendali



Gambar 19. Hasil perhitungan evapotranspirasi

3.3.4. Hasil Pengendalian katub

Kinerja perangkat pengendali terhadap pengontrolan katub diuji dengan cara membandingkan volume yang hilang akibat evapotranspirasi, volume penyetimbangan dari kontroler *on/off*, dan volume penyetimbangan dari kontroler linier.



Gambar 20. Penyetimbangan volume

Dalam Gambar 19 dapat dilihat besarnya *error* yang di timbul baik dari dari katup *on/off* maupun katub linier. *Error* rata-rata dari katub *on/off* dibandingkan dengan *error* dari katup linier adalah 2.20%:1.74%. kondisi tersebut membuktikan bahwa katup linier dengan kontroler *PI* lebih akurat dibanding katup *on/off* dengan controller linier.

5. Kesimpulan

- Simulasi menggunakan matlab sebelum pembuatan *project* secara riil memberikan hasil yang optimal, karena sistem dapat ditinjau secara numerik maupun grafik.
- Simulasi pengontrolan volume pada sistem pengendali irigasi dengan metode kontroler *on/off* menunjukkan *error* mencapai 0.68%, sedangkan metode kontroler *PI* dengan konstanta $P=1.15$ dan $I=0.95$ adalah 0.02%.
- Jaringan syaraf tiruan konstruksi *feedforward* dengan *hidden layer* berjumlah 2, jumlah *layer* pertama berukuran matrix 15×2 dan *layer* kedua berjumlah 1 menghasilkan prediksi yang cukup baik, yakni dengan *error* 1.13%.
- Konversi program dari *Matlab* menjadi bahasa C untuk mikrokontroler berhasil dilakukan dengan dengan metode konversi manual dan dibandingkan secara visual.
- Pengujian debit pada katup linier dari pasaran menunjukkan hasil yang tidak linier, sehingga data bukaan yang dikirim dari mikrokontroler menuju katup linier harus dilinierisasi dengan pendekatan fungsi matematis terlebih dahulu.
- Bukaan katup hasil linierisasi jauh lebih baik jika dibandingkan bukaan katup tanpa proses linierisasi, perbandingan *error*nya yaitu 16% : 72%.
- Error* dari katub *on/off* dibandingkan dengan *error* rata-rata dari katup linier adalah 2.20%:1.74%.

6. Daftar pustaka

- Smith, M. (2006). "guidelines for computing crop water requirements"FAO, Water Resources, Development and Management Service Rome, Italy
- Ogata, K. (2009). *Modern Control Engineering*. (D. Sandin, Ed.) Upper Saddle River, New Jersey, United States of America: Prentice Hall.
- Krogh, A. (2008). *What are artificial neural networks?*. Nature Publishing Group.