

**Sistem Kinerja Alat Irigasi Curah (*Sprinkler*) Berbasis Mikrokontroler IoT
(*Internet Of Things*)**

Satriyo Yoga Wahyudi¹, Eko Noerhayati¹, Azizah Rachmawati³

- 1) Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang, email :
satriyasevanel@gmail.com
- 2) Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islami Malang, email :
ekonoerhayati@unisma.ac.id
- 3) Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islami Malang, email :
azizah.rachmawati@unisma.ac.id

ABSTRAK

Lahan pertanian yang melimpah di Indonesia memerlukan perencanaan jaringan irigasi yang lebih modern dan berteknologi. Hal tersebut dilakukan guna menunjang sistem irigasi yang baik sehingga mampu menghasilkan kualitas pertanian yang bagus. Irigasi *sprinkler* berbasis *Iot (Internet Of Things)* merupakan rancangan dari jaringan irigasi *sprinkler* yang bisa digunakan secara otomatis dengan kendali jarak jauh. Variabel yang digunakan sebagai acuan kinerja *sprinkler* ada dua yaitu otomatis dan manual dengan masing-masing bukaan kran $90^{\circ} - 45^{\circ}$, percobaan dilakukan sebanyak 10 kali pada 4 *sprinkler* yang terpasang dengan waktu 1 menit. Data pengamatan tersebut meliputi data debit air, jarak sebaran, ketinggian air dan volume air. Hasil pengamatan data akan di analisa untuk mengetahui kinerja *sprinkler* otomatis dan manual sesuai standar ASAE (*Americans Society of Agricultural Engineers*) Dengan indeks keseragaman curahan (CU) 85%. Dari hasil pengamatan di dapatkan nilai volume rata-rata *sprinkler* 1-4 otomatis dan manual $90^{\circ} - 45^{\circ}$: $38,4760 \text{ cm}^3$, data rata-rata debit *sprinkler* 1-4 otomatis dan manual $90^{\circ} - 45^{\circ}$: 0,6413 liter/detik. Hasil nilai CU 84,387 %, nilai DU 75,175 %.

Kata Kunci: Irigasi, IoT (*Internet Of Things*), *Sprinkler*

ABSTRACT

Abundant agricultural land in Indonesia, a more modern and technological irrigation network planning is needed. This was done to support a good irrigation system so as to produce good agricultural quality. Spotler-based irrigation (Internet of Things) is a design of a sprinkler irrigation network that can be used automatically with remote control. There are two variables used as a reference for the performance of the sprinkler, namely automatic and manual with each faucet opening 90° - 45° , the experiment is carried out 10 times on 4 sprinklers installed in 1 minute. The observational data include data on water discharge, distribution distance, water level and water volume. The observations of the data will be analyzed to determine the performance of automatic and manual sprinklers according to the ASAE (Americans Society of Agricultural Engineers) standard with an 85% outflow uniformity index (CU). From the observations, the average volume of automatic and manual sprinklers 1-4 – 90° : 45° : $38,4760 \text{ cm}^3$ is obtained CU value is 84,387%, DU value is 75,175%.

Keywords : Irrigation, IoT (*Internet Of Things*), *Sprinkler*

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan Negara agraris dimana rata-rata dari penduduknya bermata pencaharian pada sektor pertanian. Oleh karena itu pertanian sangat diutamakan pada suatu Negara yang memiliki sumber daya alam yang bermacam-macam, bagi suatu negara agraris profesi petani dan industri pertanian merupakan penyokong utama dalam ketahanan pangan. (Noerhayati dan Suprpto 2020) Maka diperlukan jaringan irigasi yang bisa menghemat air dan lebih berinovasi dari yang sudah ada saat ini.

Irigasi curah (*sprinkler irrigation*) disebut juga *overhead irrigation*, merupakan cara pemberian air dari bagian atas tanaman yang menyerupai curahan hujan sehingga selain untuk memenuhi kebutuhan air pada tanaman juga dapat menciptakan iklim mikro disekitar tanaman (Irwandi 2017). Irigasi adalah suatu upaya untuk pengelolaan dan penyediaan air untuk menunjang kebutuhan pertanian (Maarif, Noerhayati, dan Rachmawati 2019) Irigasi *sprinkler* berbasis *IoT* (*Internet Of Things*) dan android merupakan rancangan dari jaringan irigasi *sprinkler* yang bisa digunakan secara otomatis dan jarak jauh. Dengan memanfaatkan *IoT* (*Internet Of Things*) yang dikoneksikan pada android diharapkan bisa memantau kondisi lahan pertanian. (Setiadi dan Muhaemin 2018) Dalam program tersebut nantinya ada irigasi otomatis yang terkoneksi dengan internet sehingga bisa dilakukan pemantauan lahan dengan kondisi jarak yang jauh. Pada kelengkapan fitur android dan mikrokontroler yang akan di rencanakan, dilengkapi dengan sensor *Soil Moisture* untuk mengukur dan memonitoring kelembapan tanah dan juga sensor *ultrasonic*, *water flow* meter juga digunakan untuk mengontrol dan memonitoring debit air yang keluar pada pipa. Dengan suatu konsep yang sedemikian rupa maka diperlukan model prototipe dengan lahan asli, guna mengetahui model kerja daripada sistem irigasi otomatis tersebut. Sehingga adapun hasil yang bisa diperoleh dari penelitian ini bisa dimanfaatkan sebagai solusi pertanian di Indonesia demi mencapai pertanian yang lebih maju, berteknologi dan meningkatkan produksi yang lebih baik lagi.

TINJAUAN PUSTAKA

- Irigasi curah *sprinkler*

Irigasi curah atau *sprinkler irrigation* adalah cara pemberian air kepada tanaman yang dilakukan dari atas tanaman berupa pemencaran dimana pemencaran itu menggunakan tenaga penggerak berupa pompa air. (Rejekiningrum dan Kartiwa 2018). Prinsip yang digunakan sistem ini adalah memberi tekanan pada air dalam pipa dan memancarkan ke udara sehingga menyerupai hujan selanjutnya jatuh pada permukaan tanah. Irigasi ini disebut juga sebagai *overhead irrigation* karena pemberian air dilakukan dari bagian atas tanaman terpancar menyerupai curah hujan. (Luckytasari 2017)

METODE PERENCANAAN

Deskripsi Daerah Penelitian

Penelitian dan perakitan alat dilaksanakan di Laboratorium Enviro-hydro Universitas Islam Malang dengan lahan persawahan yang berlokasi di Jl. Green Tombro, Tasikmadu, Kec. Lowokwaru, Kota Malang. Pada bulan Oktober- November 2019.

Data Yang Diperlukan

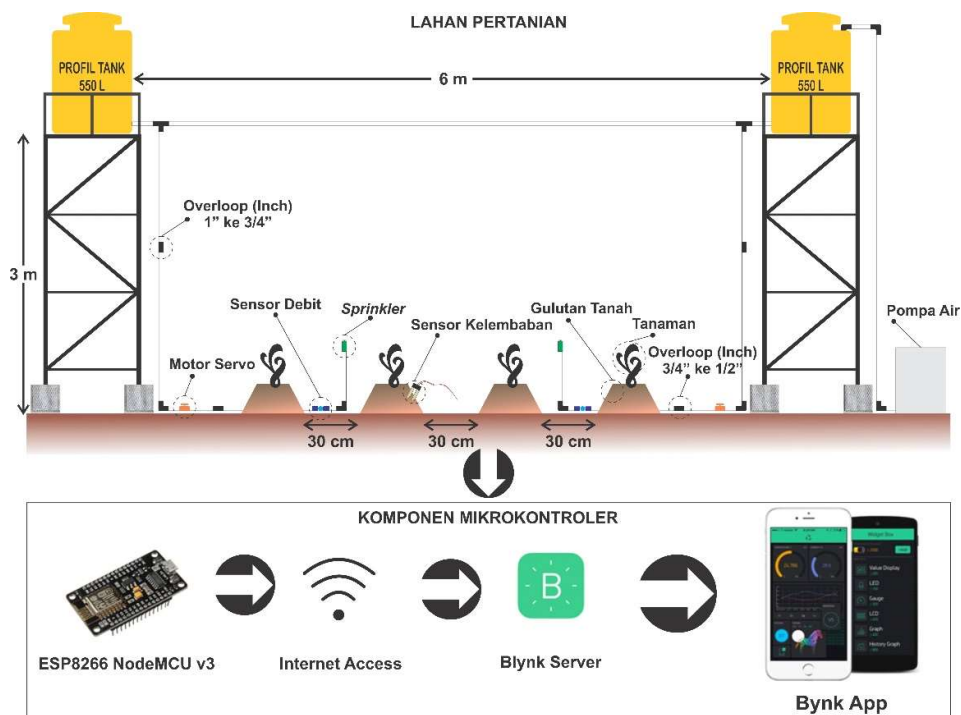
- Data debit
- Data volume
- Ketinggian air pada tandon sebagai acuan
- Data ketinggian air pada bejana
- Percobaan diulang 10 kali setiap *sprinkler* dan ada 4 *sprinkler* yang digunakan
- Nilai Eap (efisiensi penggunaan air)

Langkah Pengambilan Data

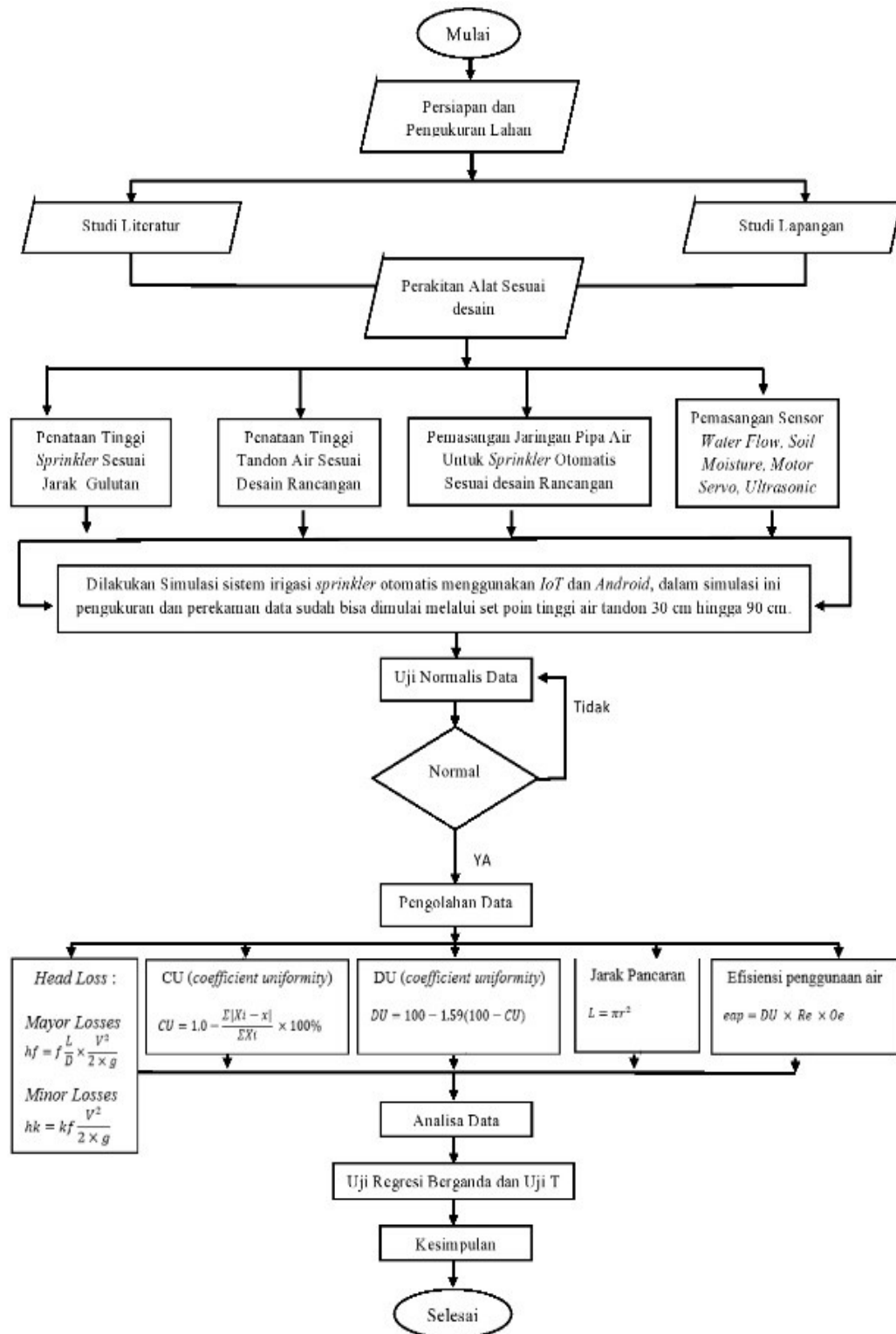
- Pengamatan dan pengukuran langsung di lapangan
- Persiapan alat dan bahan dipasang sesuai perlakuan di laboratorium dengan mengacu desain pada Gambar 3.2.
- Kalibrasi alat sensor dan mikrokontroler
- Pengamatan dan pengukuran langsung di laboratorium.
- Pengoperasian alat irigasi otomatis berbasis mikrokontroler kemudian melakukan pengukuran dengan dua perlakuan bukaan kran otomatis 90^0 dan 45^0 data diamati per 5cm penurunan pada air tandon yang dibaca oleh sensor ultrasonic dengan start titik mulai 90cm data yang dihasilkan

meliputi :

- Data debit
 - Data volume
 - Ketinggian air pada tandon sebagai acuan
 - Jarak sebaran *sprinkler* otomatis
 - Data ketinggian air pada bejana
 - Percobaan diulang 10 kali setiap *sprinkler* dan ada 4 *sprinkler* yang digunakan
 - Nilai Eap (efisiensi penggunaan air)
- Prosedur diatas berlaku pada pengujian *sprinkler* manual.



Gambar 1. Rancangan Irigasi Otomatis



Gambar 1. Bagan Alir

PEMBAHASAN

Data volume bukaan kran otomatis dan manual 90°

$$V = \pi r^2 \cdot t$$

$$V = 3,14 \times (15\text{cm})^2 \times 14,1\text{cm (manual)}$$

$$V = 9.962\text{cm}^3$$

Dimana:

$$V = (\text{cm}^3)$$

$$\pi = 3,14$$

$$r = \text{radius (jari-jari lingkaran) cm}$$

$$t = \text{tinggi air pada bejana (cm)}$$

Tabel 1 Data Hasil Volume Bukaan 90° Manual

Tinggi Air pada Tandon (cm)	P1S1M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P2S2M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P3S3M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P4S4M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)
90	9.9617	9.8910	9.8204	9.8204
85	9.8910	9.8204	9.8204	9.7497
80	9.8910	9.7497	9.7497	9.7497
75	9.8204	9.7497	9.6791	9.6791
70	9.7497	9.6791	9.6084	9.6084
65	9.7497	9.6084	9.5378	9.5378
60	9.6791	9.5378	9.5378	9.5378
55	9.6084	9.5378	9.3965	9.3965
50	9.5378	9.3965	9.3258	9.1845
45	9.4671	9.2552	9.2552	9.1845

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 2 Data Hasil Volume Bukaan 45° Manual

Tinggi Air pada Tandon (cm)	P1S1M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P2S2M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P3S3M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P4S4M Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)
90	10.1030	10.2443	10.3149	9.8910
85	9.6791	9.8204	9.7497	9.6791
80	9.6084	9.7497	9.7497	9.6084
75	9.6084	9.6791	9.6791	9.5378
70	9.5378	9.6084	9.6084	9.4671
65	9.4671	9.5378	9.5378	9.3965
60	9.3965	9.4671	9.4671	9.1845
55	9.1845	9.3965	9.4671	9.0432
50	9.1845	9.1845	9.1845	8.9726
45	9.0432	9.0432	8.8313	8.8313

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 3 Data Hasil Volume Bukaan 90° Otomatis

Tinggi Air pada Tandon (cm)	P1S1A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P2S2A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P3S3A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)	P4S4A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm³)
90	10.2443	10.0323	9.8204	9.8910
85	9.8910	9.9617	9.7497	9.7497
80	9.8910	9.8204	9.6791	9.6791
75	9.8204	9.7497	9.6084	9.6084
70	9.7497	9.6791	9.6084	9.5378
65	9.6791	9.6084	9.5378	9.4671
60	9.6791	9.5378	9.4671	9.3258
55	9.6084	9.4671	9.3965	9.2552
50	9.5378	9.3965	9.1845	9.1845
45	9.4671	9.3965	8.9726	9.11385

Sumber : Hasil Penelitian

Tabel 4 Data Hasil Volume Bukaan 45⁰ Otomatis

Tinggi Air pada Tandon (cm)	P1S1A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm ³)	P2S2A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm ³)	P3S3A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm ³)	P4S4A Hasil Volume Air Dalam bejana (cm ³)
90	9.8910	10.1030	10.3856	10.1030
85	9.6791	9.8204	10.3149	9.6791
80	9.6084	9.7497	10.2443	9.6084
75	9.5378	9.6791	9.8204	9.5378
70	9.5378	9.6084	9.7497	9.3965
65	9.4671	9.5378	9.6084	9.3258
60	9.3258	9.4671	9.5378	9.1845
55	9.2552	9.3258	9.4671	9.0432
50	9.1139	9.1139	9.3258	8.8313
45	8.8313	9.0432	9.0432	8.6900

Sumber : Hasil Penelitian

Data Debit Rata-Rata

$$Q = V/T$$

Dimana:

$$Q = \text{Debit (liter/detik)}$$

$$V = \text{volume (liter)}$$

$$t = \text{waktu (detik)}$$

- Berikut perhitungan debit untuk *sprinkler* 1 percobaan 1 perhitungan manual.

$$Q = V/T$$

$$Q = 9,9617\text{cm}^3/(60 \text{ detik})$$

$$Q = 9,9617\text{liter}/(60 \text{ detik})$$

$$Q = 0.1660 \text{ liter/detik (metode perhitungan manual)}$$

$$Q = V/T$$

$$Q = 10,244\text{cm}^3/(60 \text{ detik})$$

$$Q = 10,244\text{cm}^3/(60 \text{ detik})$$

$$Q = 0.1707 \text{ liter/detik (metode perhitungan water flow)}$$

- Untuk perhitungan debit rata-rata menggunakan persamaan:

$$Q_r = \Sigma q / \Sigma n$$

$$Q_r = (97.56765 \text{ liter/detik})/10$$

$$Q_r = 0,0009756765 \text{ m}^3 / \text{detik}$$

Tabel 5 Data Hasil Rata-rata Debit 90⁰ - 45⁰ Manual

NO	Nama	Debit total liter/detik	Debit rata-rata (m ³ /detik)
1	P1S1M 90°	1.622595	0.00016226
2	P1S2M 90°	1.603755	0.00016038
3	P1S3M 90°	1.595513	0.000159551
4	P1S4M 90°	1.590803	0.00015908

NO	Nama	Debit total liter/detik	Debit rata-rata (m ³ /detik)
1	P1S1M 45°	1.580205	0.000158021
2	P1S2M 45°	1.595513	0.000159551
3	P1S3M 45°	1.593158	0.000159316
4	P1S4M 45°	1.560188	0.000156019

Tabel 6 Data Hasil Rata-rata Debit 90⁰ - 45⁰ Otomatis

NO	Nama	Debit total liter/detik	Debit rata-rata (m ³ /detik)
1	P1S1A 90°	1.626128	0.000162613
2	P1S2A 90°	1.610820	0.000161082
3	P1S3A 90°	1.583738	0.000158374
4	P1S4A 90°	1.580205	0.000158021

NO	Nama	Debit total liter/detik	Debit rata-rata (m ³ /detik)
1	P1S1A 45°	1.570785	0.000157079
2	P1S2A 45°	1.590803	0.000159080
3	P1S3A 45°	1.624950	0.000162495
4	P1S4A 45°	1.556655	0.000155666

Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai performansi CU (Koefisien Keseragaman)

Tingkat keseragaman penyebaran air dinilai dengan menggunakan indeks CU (*coefficient uniformity*) atau koefisien keseragaman. Berikut adalah perolehan hasil perhitungan percobaan 1 – 10 dengan masing – masing kombinasi perlakuan yang berbeda.

Tabel 7 Hasil Perhitungan CU 90° – 45° Manual

NO	Nama Percobaan	Perlakuan	CU%
1	Percobaan 1	P1S1M 90°	87%
2	percobaan 2	P2S2M 90°	84%
3	percobaan 3	P3S3M 90°	84%
4	percobaan 4	P4S4M 90°	82%

NO	Nama Percobaan	Perlakuan	CU%
1	percobaan 5	P1S1M 45°	77%
2	percobaan 6	P2S2M 45°	75%
3	percobaan 7	P3S3M 45°	74%
4	percobaan 8	P4S4M 45°	72%

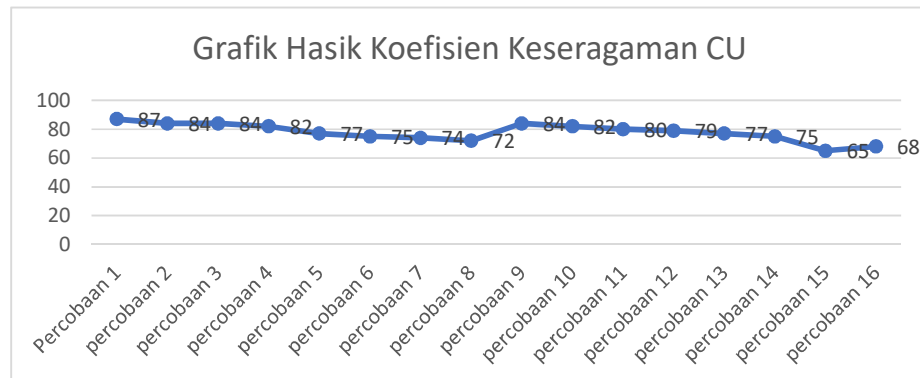
Tabel 8 Hasil Perhitungan CU 90° – 45° Manual

NO	Nama Percobaan	Perlakuan	CU%
1	percobaan 9	P1S1A 90°	84%
2	percobaan 10	P2S2A 90 °	82%
3	percobaan 11	P3S3A 90°	80%
4	percobaan 12	P4S4A 90°	79%

NO	Nama Percobaan	Perlakuan	CU%
1	percobaan 13	P1S1A 45°	77%
2	percobaan 14	P2S2A 45°	75%
3	percobaan 15	P3S3A 45°	65%
4	percobaan 16	P3S3A 45°	68%

Sumber : Hasil Perhitungan

Grafik 1 Hasil Koefisien Keseragaman CU



Sumber : Hasil Perhitungan

Uji T Dua Variabel

Uji T atau uji parsial digunakan untuk mengetahui apakah terdapat pengaruh antara variabel independen (bebas) dengan variabel dependen (terikat) secara individu. Dari hasil uji T ini bisa di simpulkan apakah hasil debit manual dan otomatis sudah sesuai dan tidak terdapat perbedaan yang nyata, pengujian ini akan digunakan pada variabel yang lainnya. hal ini guna menjadi acuan dalam analisa kinerja alat irigasi *sprinkler* otomatis berbasis mikrokontroler (Sinaga, Noerhayati, dan Suprpto 2019)

Tabel 9 Hasil Uji T dua Variabel Minitab18

Nama Percobaan	Debit Manual 90°	Debit <i>Water flow</i> 90°
Percobaan 1 sprinkler 1	9.9617	10.2443
Percobaan 1 sprinkler 1	9.8910	9.8910
Percobaan 1 sprinkler 1	9.8910	9.8910
Percobaan 1 sprinkler 1	9.8204	9.8204
Percobaan 1 sprinkler 1	9.7497	9.7497
Percobaan 1 sprinkler 1	9.7497	9.6791
Percobaan 1 sprinkler 1	9.6791	9.6791
Percobaan 1 sprinkler 1	9.6084	9.6084
Percobaan 1 sprinkler 1	9.5378	9.5378
Percobaan 1 sprinkler 1	9.4671	9.4671

Sumber : Hasil Perhitungan

Nilai T hitung < T – tabel berarti H_0 diterima (tidak terdapat perbedaan yang nyata) dari percobaan hasil debit *sprinkler* satu baik itu manual dan otomatis menggunakan sensor *water flow* didapatkan hasil uji T dengan analisa tidak ada perbedaan yang nyata yang artinya kedua percobaan tersebut hampir sama hasilnya.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan pada penelitian irigasi *sprinkler* berbasis *IoT* (*Internet Of Things*) menghasilkan poin kesimpulan sebagai berikut :

1. Debit dan volume
 - Hasil debit percobaan manual bukaan kran 90° *sprinkler* 1 sampai 4 = 0,6413 liter/detik
 - Hasil debit percobaan manual bukaan kran 45° *sprinkler* 1 sampai 4 = 0,6329 liter/detik
 - Hasil debit percobaan otomatis bukaan kran 90° *sprinkler* 1 sampai 4 = 0,6401 liter/detik
 - Hasil debit percobaan otomatis bukaan kran 45° *sprinkler* 1 sampai 4 = 0,6343 liter/detik
 - Hasil volume percobaan manual bukaan kran 90° *sprinkler* 1 sampai 4 = 38,4760 cm³ konversi liter yaitu 38,4760 liter
 - Hasil volume percobaan manual bukaan kran 45° *sprinkler* 1 sampai 4 = 37,9744 cm³ konversi liter 37,9744 liter.
 - Hasil volume percobaan otomatis bukaan kran 90° *sprinkler* 1 sampai 4 = 38,4053 cm³ konversi liter 38,4053 liter
 - Hasil volume percobaan otomatis bukaan kran 45° *sprinkler* 1 sampai 4 = 38,0592 cm³ konversi liter 38,0592 liter.

Dari hasil percobaan 1-10 debit dan volume baik itu manual dan otomatis tidak terdapat perbedaan yang nyata, hasil ini di dukung setelah pengujian statistik menggunakan uji T, hasil tersebut menyatakan T hitung -0,24 sehingga T hitung < T-tabel H_0 diterima (tidak terdapat perbedaan yang nyata). Dapat disimpulkan bahwa irigasi *sprinkler* otomatis ini bisa diterapkan dilapangan.

2. Nilai rata- rata keseragaman curahan (CU) pada *sprinkler* 1 sampai 4 manual dan otomatis berbasis mikrokontroler sebagai berikut :
 - Percobaan manual bukaan 90° : 84,387 %

- Percobaan manual bukaan 45^0 : 74,672 %
 - Percobaan otomatis bukaan 90^0 : 81,066 %
 - Percobaan otomatis bukaan 45^0 : 70,998 %
3. Hasil perhitungan nilai rata-rata (DU)
- Percobaan manual bukaan 90^0 : 75,175 %
 - Percobaan manual bukaan 45^0 : 59,729 %
 - Percobaan otomatis bukaan 90^0 : 69,895 %
 - Percobaan otomatis bukaan 45^0 : 53,887 %

Dari hasil pengujian keseragaman curahan *sprinkler* (CU) performansi terbaik didapatkan saat percobaan pertama 90^0 bukaan kran manual, hal ini terjadi karena faktor kinerja motor servo tidak sepenuhnya maksimal hal ini dikarenakan faktor kalibrasi alat. Namun selisih hasil tidak jauh berbeda.

Saran

Dari hasil pengamatan pada penelitian ini maka ada beberapa saran yang disampaikan perihal analisa Kinerja Irigasi *Sprinkler* Berbasis Mikrokontroler dan *IoT* (*Internet Of Things*).

- 1) Penelitian ini masih berskala laboratorium dengan lahan yang tidak terlalu besar sehingga tidak memperhitungkan faktor cuaca dan iklim. Untuk selanjutnya bisa diterapkan dengan lahan persawahan yang lebih luas.
- 2) Pada penelitian ini hanya menggunakan satu jenis *sprinkler* dan ketinggian yang sama, untuk selanjutnya bisa diterapkan berbeda *sprinkler* dengan penyesuaian tinggi yang berbeda sesuai tinggi tanaman.
- 3) Penelitian ini sudah menggunakan mikrokontroler dan sudah terkoneksi pada android. Namun perlu penyempurnaan lagi, sehingga penelitian selanjutnya bisa disempurnakan lagi.
- 4) Pengamatan dilakukan dengan 10 kali pengamatan pada *sprinkler* untuk selanjutnya bisa dilakukan lebih dari 10 dengan berbeda – beda variabel pengamatan.
- 5) Perlu percobaan dengan beda posisi tandon air
- 6) Perlu percobaan dengan beda luasan lahan

DAFTAR PUSTAKA

- Bambang Triatmodjo. 1996. Hidrolika I, Beta Offset, Yogyakarta
- Irwandi, Doni. 2017. “Perancangan dan Pembuatan Alat Pengatur Pintu Air Irigasi Induk Secara Otomatis Berbasis Mikrokontroller ATMega 16.” Universitas Negeri Padang.
- Luckytasari, Dona Dwi. 2017. “Perencanaan Jaringan Irigasi Pancar (*Sprinkler Irrigation*) Pada Tanaman Cabai (*Capsium annum L.*) Di Desa Sumberkima Kecamatan Gerokgak Kabupaten Buleleng Provinsi Bali.” Universitas Brawijaya.
- Maarif, Samsul, Eko Noerhayati, dan Azizah Rachmawati. 2019. “Studi Alternatif Perencanaan Jaringan Irigasi Curah (*Sprinkler Irrigation*) Berbasis Gravitasi Di Desa Poncokusumo.” *Jurnal Rekayasa Sipil* 7 (1): 43–52.
- Noerhayati, Eko, dan Bambang Suprpto. 2020. “REHABILITASI SALURAN TERSIER DESA SUKOANYAR PAKIS KABUPATEN MALANG.” *Jurnal Abdi Masyarakat* 3 (2).
- Rejekiingrum, Popi, dan Budi Kartiwa. 2018. “Pengembangan sistem irigasi pompa tenaga surya hemat air dan energi untukantisipasi perubahan iklim di Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.” *Jurnal Tanah dan Iklim* 41 (2): 159–71.

- Setiadi, David, dan Muhamad Nurdin Abdul Muhaemin. 2018. "Penerapan Internet Of Things (IoT) Pada Sistem Monitoring Irigasi (Smart Irigasi)." *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi dan Elektronika* 3 (2): 95–102.
- Sinaga, Fachrul Amri, Eko Noerhayati, dan Bambang Suprpto. 2019. "Kajian Bukaan Pintu Air Otomatis Berbasis Mikrokontroler Uno Arduino Terhadap Bilangan Froude Saluran Terbuka Segiempat." *Jurnal Rekayasa Sipil* 7 (1): 23–32.