

SKRIPSI

**SISTEM KONTROL PEMBERIAN NUTRISI UNTUK
TANAMAN HIDROPONIK BAYAM BERBASIS IOT DAN VISI
KOMPUTER**

Disusun dan diajukan oleh:

**JUAN JIMMY DWIANGGA AL
D121 19 1052**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

**SISTEM KONTROL PEMBERIAN NUTRISI UNTUK TANAMAN
HIDROPONIK BAYAM BERBASIS IOT DAN VISI KOMPUTER**

Disusun dan diajukan oleh


JUAN JIMMY DWIANGGA AL
NIM D121 19 1052

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 12 Februari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,


Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


Dr. Eng. Muhammad Niswar, S.T., M.IT.
NIP 197309221999031001


Dr. Eng. Zahir Zainuddin, S.T., M.Sc.
NIP 196404271989101002

Ketua Program Studi,


Prof. Dr. H. Indratyut, S.T., M.T., M.Bus.Sys., IPM., ASEAN. Eng.
NIP 197507162002121004



PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Juan Jimmy Dwiangga AL
NIM : D121191052
Program Studi : Teknik Informatika
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

SISTEM KONTROL PEMBERIAN NUTRISI UNTUK TANAMAN HIDROPONIK BAYAM BERBASIS IOT DAN VISI KOMPUTER

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 12 Februari 2024

Menyatakan



Juan Jimmy Dwiangga AL

Juan Jimmy Dwiangga AL

ABSTRAK

JUAN JIMMY DWIANGGA AL. *Sistem Kontrol Pemberian Nutrisi untuk Tanaman Hidroponik Bayam Berbasis IoT dan Visi Komputer* (dibimbing oleh Muhammad Niswar dan Muhammad Zahir)

Bayam merupakan tanaman yang dapat dikembangbiakkan secara hidroponik yang sesuai dengan SDG (*Sustainment Development Goals*), khususnya pada poin ke-2. Namun, sistem hidroponik memerlukan ketelitian pada keadaan sistemnya, khususnya pada nutrisi dan tingkat keasamannya. Oleh karena itu, sebuah sistem perlu dibangun untuk memonitoring tingkat nutrisi dan keasamannya.

Untuk memonitoring hal tersebut, maka digunakan sensor TDS (*total dissolved solid*), sensor PH (*power of hydrogen*), dan sensor DHT22. Data dari sensor tersebut pun dikirim ke Raspberry Pi, dimana sebuah algoritma visi komputer pun memprediksi tingkat pertumbuhan tanamannya. Sistem pun akan menyesuaikan tingkat nutrisi tanaman sesuai dengan tingkat pertumbuhan tanamannya. Pada akhirnya, hasil pembacaan sensor pun akan ditampilkan pada aplikasi berbasis *desktop* dan *website*.

Hasil proses pelatihan model visi komputer dengan algoritma K-Nearest Neighbor pun mencapai tingkat akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score* sebesar 90,91%, 90,91%, 90,91%, dan 90,91% untuk dataset bayam putih dengan nilai K sebesar 7, 91,35%, 92,82%, 91,35%, dan 91,38% untuk dataset bayam batik dengan nilai K sebesar 2, dan 82,86%, 81,95%, 82,86%, dan 81,91% untuk dataset bayam merah dengan nilai K 12. Selain itu, dibentuk model yang mendeteksi tingkat nutrisi tanaman, dimana akurasi, *precision*, *recall*, dan *F1-score*-nya mencapai 83,33%, 83,34%, 83,33%, dan 83,28% dengan nilai K sebesar 11. Sistem ini pun menggunakan listrik sebesar 0.004 KWH selama 5 menit dan menggunakan *resource* pada Raspberry Pi sekitar 21,01% untuk CPU dan 4,4% untuk RAM.

Kata Kunci: *Internet of Things (IoT), Hidroponik, Visi Komputer, Machine Learning*

ABSTRACT

JUAN JIMMY DWIANGGA AL. *Nutrition Control System for Hydroponic Amaranth Plants Based on IoT and Computer Vision* (supervised by Muhammad Niswar and Muhammad Zahir)

Amaranths are one of the plants that can grow using the hydroponic method, which is a method that is also aligned with SDGs (Sustainment Development Goals), especially on the 2nd point. However, the hydroponics system needs perfect precision, especially in nutrition and acidity control. So, the need for a nutrition monitoring system is needed.

To do it, the TDS (Total Dissolved Solid) sensor, PH (Power of Hydrogen) sensor, and EC (Electrical Conductivity) sensor were used. The data then was sent into a Raspberry Pi, where a computer vision algorithm was created to predict the plant growth level. The system will adjust the nutrition level accordingly, and the sensor data can be viewed by a desktop-based application.

The K-Nearest Neighbor-based computer vision model reaches an accuracy, precision, recall, and F1-score of 90.91%, 90.91%, 90.91%, and 90.91% on the white amaranth plant dataset on the K value of 7, 91.35%, 92.82%, 91.35%, and 91.38% on the green amaranth dataset on the K value of 2, and 82,86%, 81.95%, 82.86%, and 81.91% on red amaranth on K value of 12. A model also detects nutrition level, with the accuracy, precision, recall, and F1-score of 83.33%, 83.34%, 83.33%, and 83.34% on a K value of 11. The system used electricity power for 0.004 KWH for 5 minutes and used Raspberry Pi resources for around 21,01% of CPU and 4,4% for RAM.

Keywords: *Internet of Things (IoT), Hydroponics, Computer Vision, Machine Learning*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL	x
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
KATA PENGANTAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan.....	2
1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan.....	3
1.5 Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	4
2.1 Bayam (<i>Amaranthus sp.</i>).....	4
2.2 Sistem Hidroponik	5
2.3 Visi Komputer.....	7
2.4 K-Nearest Neighbor	7
2.5 Raspberry Pi.....	8
2.6 Arduino Uno	10
2.7 Sensor TDS (<i>Total Dissolved Solid</i>).....	12
2.8 Sensor pH (<i>Power of Hydrogen</i>).....	13
2.9 Sensor DHT22.....	14
2.10 Relay	15
2.11 Protokol MQTT (<i>Message Queueing Telemetry Transport</i>)	16
2.12 <i>Confusion Matrix</i>	17
BAB III METODE PENELITIAN/PERANCANGAN	19
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	19
3.2 Alat dan Bahan Penelitian.....	19
3.3 Rancangan Sistem	21
3.4 Kendali Nutrisi.....	23
3.5 Klasifikasi Tingkat Pertumbuhan Tanaman Bayam (<i>Amaranthus sp.</i>).....	24
3.6 Klasifikasi Tingkat Nutrisi Tanaman Bayam (<i>Amaranthus sp.</i>).....	25
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	27
4.1 Pengumpulan dan Pemrosesan Data Tingkat Pertumbuhan Bayam Putih.....	27
4.2 Pengumpulan dan Pemrosesan Data Tingkat Pertumbuhan Bayam Batik	30
4.3 Pengumpulan dan Pemrosesan Data Tingkat Pertumbuhan Bayam Merah	33
4.4 Hasil Proses Klasifikasi Tingkat Pertumbuhan Bayam	37
4.5 Pengumpulan, Pemrosesan Data, dan Hasil Klasifikasi Tingkat Nutrisi Bayam	39
4.6 Hasil Sistem Monitoring Hidroponik.....	42

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	46
5.1 Kesimpulan	46
5.2 Saran.....	47
DAFTAR PUSTAKA	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Tampilan Tanaman Bayam Putih (<i>Amaranthus viridis</i>).	4
Gambar 2. Tampilan Tanaman Bayam Merah (<i>Amaranthus gangethicus</i>).	4
Gambar 3. Tampilan Tanaman Bayam Batik (<i>Amaranthus tricolor</i>).	5
Gambar 4. Tampak Media Sistem Hidroponik	6
Gambar 5. Algoritma Klasifikasi K-Nearest Neighbor.....	8
Gambar 6. Hasil Klasifikasi Data Menggunakan K-Nearest Neighbor dengan Nilai K=5, dimana Data Tersebut Lebih Cocok dengan Kelompok Ungu (3 Ungu, 2 Biru).	8
Gambar 7. Hasil Klasifikasi Data Menggunakan K-Nearest Neighbor dengan Nilai K=3, dimana Data Tersebut Lebih Cocok dengan Kelompok Biru (1 Ungu, 2 Biru).	8
Gambar 8. Tampilan Raspberry Pi 4 Model B.....	9
Gambar 9. Tampilan Arduino Uno.	11
Gambar 10. Tampilan Sensor TDS Analog (SEN0244 Gravity Analog TDS Sensor Meter for Arduino).	12
Gambar 11. Tampilan Sensor pH Analog (SEN0161-V2 Gravity Analog pH Sensor Meter Kit V2).	13
Gambar 12. Tampilan Sensor DHT22.	14
Gambar 13. Tampilan Relay 5V 1 Channel.	15
Gambar 14. Tampilan Pompa Air <i>Submersible</i>	16
Gambar 15. Diagram Proses Protokol MQTT.	17
Gambar 16. Format <i>Confusion Matrix</i>	17
Gambar 17. Alur Data Sistem Hidroponik.....	21
Gambar 18. Rancangan Sistem Hidroponik Jika Dilihat dari Depan.....	22
Gambar 19. Rancangan Sistem Hidroponik Jika Dilihat dari Samping.....	22
Gambar 20. Alur Sistem Menentukan Nutrisi pada Tanaman.	23
Gambar 21. Proses Segmentasi Gambar dan Klasifikasi Tingkat Pertumbuhan Tanaman.	24
Gambar 22. Proses Klasifikasi Tingkat Nutrisi pada Tanaman Bayam.....	25
Gambar 23. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Putih pada Minggu ke-2.....	27
Gambar 24. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Putih pada Minggu ke-3.....	27
Gambar 25. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Putih pada Minggu ke-4.....	28
Gambar 26. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-2 pada Tanaman Bayam Putih.	30
Gambar 27. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-3 Tanaman Bayam Putih.	30
Gambar 28. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-4 Tanaman Bayam Putih.	30
Gambar 29. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Batik pada Minggu ke-2.....	31
Gambar 30. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Batik pada Minggu ke-3.....	31
Gambar 31. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Batik pada Minggu ke-4.....	31
Gambar 32. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-2 pada Tanaman Bayam Batik.	33

Gambar 33. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-3 Tanaman Bayam Batik.	33
Gambar 34. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke-4 Tanaman Bayam Batik.	33
Gambar 35. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Merah pada Minggu ke 2.	34
Gambar 36. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Merah pada Minggu ke 3.	34
Gambar 37. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Merah pada Minggu ke 4.	34
Gambar 38. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke 2 Tanaman Bayam Merah.	36
Gambar 39. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke 3 Tanaman Bayam Merah.	37
Gambar 40. Contoh Segmentasi Gambar pada Minggu ke 4 Tanaman Bayam Merah.	37
Gambar 41. <i>Confusion Matrix</i> Hasil Klasifikasi Bayam Putih.	38
Gambar 42. <i>Confusion Matrix</i> Hasil Klasifikasi Bayam Batik.	38
Gambar 43. <i>Confusion Matrix</i> Hasil Klasifikasi Bayam Merah.	39
Gambar 44. Contoh Tampilan Tanaman Bayam dalam Keadaan Normal.	40
Gambar 45. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Merah dalam Keadaan Malnutrisi.	40
Gambar 46. Contoh Tampilan Tanaman Bayam Merah dalam Keadaan Overnutrisi.	40
Gambar 47. Contoh Segmentasi Tanaman Bayam Merah yang Mengalami Overnutrisi.	41
Gambar 48. Contoh Segmentasi Tanaman Bayam Merah yang Mengalami Malnutrisi.	41
Gambar 49. Contoh Segmentasi Tanaman Bayam Merah dengan Tingkat Nutrisi Normal.	41
Gambar 50. <i>Confusion Matrix</i> Hasil Klasifikasi Tingkat Nutrisi Tanaman.	42
Gambar 51. Tampilan Aplikasi Monitoring Hidroponik Berbasis <i>Desktop</i>	43
Gambar 52. Tampilan Aplikasi Monitoring Hidroponik Berbasis <i>Website</i>	43
Gambar 53. Grafik Penggunaan CPU dan RAM selama 30 menit saat <i>idle</i>	44
Gambar 54. Grafik Penggunaan CPU dan RAM selama 30 menit saat proses berjalan.	44

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Penentuan <i>Threshold</i> untuk Range Nilai RGB yang Masuk.....	28
Tabel 2. Penentuan <i>Threshold</i> untuk Range Nilai RGB yang tidak Masuk.....	28
Tabel 3. Penentuan <i>Threshold</i> untuk range Nilai RGB yang Masuk.....	32
Tabel 4. Penentuan <i>Threshold</i> untuk range Nilai RGB yang tidak Masuk.....	32
Tabel 5. Penentuan <i>Threshold</i> untuk Nilai RGB yang Masuk.....	35
Tabel 6. Penentuan <i>Threshold</i> untuk Nilai RGB yang Keluar.....	35
Tabel 7. Penggunaan Listrik pada Sistem.	45

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
SDG	<i>Sustainment Development Goals</i>
PPM	<i>Points per Million</i>
MAP	<i>Mean Average Precision</i>
CNN	<i>Convolutional Neural Network</i>
TDS	<i>Total Dissolved Solid</i>
PH	<i>Power of Hydrogen</i>
MQTT	<i>Message Queueing Telemetry Transport</i>
KOH	Kalium Hidroksida
H ₃ PO ₄	Asam Fosfat
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
RAM	<i>Random Access Memory</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Python Notebook untuk Pembuatan Model Machine Learning pada Tingkat Pertumbuhan Bayam Hijau	53
Lampiran 2. Python Notebook untuk Pembuatan Model Machine Learning pada Tingkat Pertumbuhan Bayam Batik.....	59
Lampiran 3. Python Notebook untuk Pembuatan Model Machine Learning pada Tingkat Pertumbuhan Bayam Merah.....	64
Lampiran 4. Python Notebook untuk Pembuatan Model Machine Learning pada Tingkat Nutrisi Bayam	68
Lampiran 5. Arduino Code untuk Pengambilan Data Sensor	76
Lampiran 6. Kode Klasifikasi Tingkat Pertumbuhan Tanaman.....	78
Lampiran 7. Setup Aplikasi Monitoring Data Berbasis Desktop.....	80
Lampiran 8. Bash Script untuk Pengambilan Data Resource Usage	84
Lampiran 9. Python Script untuk Pengambilan Gambar Tanaman.....	85

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, oleh karena berkat dan rahmatNya, karya ilmiah skripsi yang berjudul “Sistem Kontrol Pemberian Nutrisi untuk Tanaman Hidroponik Bayam Berbasis IoT dan Visi Komputer” dapat selesai. Karya ilmiah ini dibentuk dari hasil penelitian strata 1 penulis. Namun, karya ini selesai bukan karena hasil dari diri sendiri. Oleh karena itu, penulis berterima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis, Alm. Ir. Jimmy Allo Linggi dan Dr. Sesilia Rante Pakadang, M.Si., Apt. atas didikannya sejak penulis masih kecil hingga sekarang
2. Dr. Eng. Muhammad Niswar, S.T., M.Info.Tech., dan Dr. Eng. Zahir Zainuddin, S.T., M.Sc. selaku pembimbing 1 dan pembimbing 2 atas bimbingannya sehingga penelitian ini berjalan dengan baik.
3. Saudara dari penulis, Jassy Yudhistira Allolinggi, S.T., dan James Junior Triwijaya Allo Linggi atas perhatian yang diberikan selama penelitian ini berjalan.
4. Riswandi, S.T., M.T. atas kritik dan saran yang diberikan selama penelitian ini berlangsung sehingga segala masalah yang ditemui dapat diselesaikan dengan baik.
5. Shigeru Kashihara, Ph.D., dan Sota Nakajima, atas bantuan dan perhatiannya selama melaksanakan penelitian sebagai *research student* di Osaka Institute of Technology.
6. Pahrul, S.T., Annisa Yusrah, Andi Gigatera Halil Makkasau, Dea Wahsa Saputri, Andi Besse Adya Febryana, dan Arif Putera Wijaya atas kritik dan saran yang diberikan selama penulisan karya ilmiah ini, sehingga karya ilmiah ini pun tertulis dengan baik.
7. Teman-teman laboran, terkhusus A. Muh. Rayyan Eka Putra dan Nurdita Fahira di Laboratorium *Ubiquitous, Cloud Computing, and Networking* (UBICON) atas perhatian dan bantuannya selama menjalankan penelitian.
8. Teman-teman peneliti yang berada dalam satu grup penelitian *smart farming*, yakni William Adam, kak Syahril Saputra, kak Fauzul Ichwan, kak Serwil

Han Yon Pirade, kak Ilham, dan kak Jacklyn Mantong atas bimbingannya selama penelitian ini berlangsung.

9. Teman-teman yang melaksanakan penelitian di bawah bimbingan Dr. Eng. Muhammad Niswar, S.T., M.Info.Tech., khususnya Sayyid Shiddiq Masagena dan Fadhil Khusnul Hakim atas semangatnya dalam menyelesaikan penelitian ini.
10. Teman-teman peneliti selama studi Strata 1, terkhusus kepada Sabda Ansari Bake, Abdul Khalik, Muh. Abib Safaqqillah, Wira Drana, Muh. Zaki Zaim, Yoga Hadhi Triadmojo, Andi Afwan Ali Damopolii, Hafiz Mohammad Iskandar, Ali Baba Asril Makmur, dan Muh. Hijir Ismail atas perhatiannya selama studi Strata 1 penulis berlangsung.
11. Teman-teman peneliti dari SMA, khususnya Nico Arthur, Andrian Samosir, Juan Hardnov Rumbi, Renaldy Kenan Tolayuk, Gunawan Santa Nugraha Ridwan, Paulus Dwi Setyoko, dan Josua Patra Manurung, atas perhatian, kepedulian, dan semangatnya dalam membantu penulis menyelesaikan penelitian ini.
12. Teman-teman KMKT-UH, khususnya Juan Daniel Tambunan, Ahmed Jonesto Rante Allo, dan Angelie Santosa atas perhatiannya selama paruh awal studi Strata 1 penulis berlangsung.
13. Teman-teman sesama KKN Kebangsaan X, khususnya Waldy, Agus, Rizqul, Tasyrif, Juan, Heni, Tayo, Elma, Puput, Shyfa dari Universitas Hasanuddin, beserta teman-teman posko Desa Sidomulyo, Yuli, Adi, Dewi, Doni, Elson, Atun, Livia, Caini, dan Qovif, atas kebersamaannya selama proses KKN penulis.

Pada akhirnya, peneliti menyadari bahwa skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang berarti akan sangat membantu dalam menyempurnakan skripsi ini.

Gowa, 12 Februari 2024



Juan Jimmy Dwiangga AL

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bayam merupakan tanaman yang dijadikan sebagai sayuran sejak abad ke-7 Masehi (Ribera, A., et. al., 2020), karena memiliki kandungan gizi yang tinggi. Penelitian terakhir menemukan bahwa bayam sendiri bertindak sebagai antimikroba (Yong, Y. Y., et. al., 2016), antioksidan (Cao, G., et. al., 1998), dan antikanker (Sani, H. A., et. al., 2004). Pada saat ini, bayam dibudidayakan dengan 2 teknik, yakni teknik geonik dan hidroponik (Khan, Z., et. al., 2021).

Sistem budidaya tanaman hidroponik adalah sistem pembudidayaan tanaman tanpa menggunakan media tanah sama sekali. Sistem ini memiliki berbagai keunggulan, seperti tidak memerlukan lahan yang terlalu besar, dan tanaman hasil budidaya hidroponik lebih baik daripada budidaya konvensional (Khan, Z., et. al., 2021). Sistem ini juga sesuai dengan proses SDGs, khususnya pada poin ke-2, yang mengajak semua orang untuk menghentikan kelaparan di seluruh dunia.

Sistem ini memiliki tantangan, yaitu perlunya ketelitian khusus dalam menjaga nutrisi dan kadar keasaman dalam sistem agar tanaman dapat hidup. Ketika tanaman diberi nutrisi yang terlalu banyak, maka pertumbuhan tanaman akan terhambat, dan ketika tanaman diberi nutrisi yang kurang, maka pertumbuhan tanaman akan kurang pula, sesuai temuan penelitian sebelumnya (Hidayanti & Kartika, 2019). Penelitian lain menunjukkan bahwa nutrisi pada tanaman lebih mudah larut oleh air pada tingkat keasaman yang cocok, sedangkan apabila airnya terlalu asam atau basa, maka zat-zat yang bersifat racun justru lebih mudah larut dalam air, memberikan bahaya bagi kelangsungan hidup tanaman (Karamina, H., et. al., 2017). Oleh karena itu, diperlukan teknologi terbaru yang mampu mengatur pemberian nutrisi tanaman secara otomatis.

Peneliti sebelumnya telah melakukan *transfer learning* dari arsitektur model MobileNetV3 untuk mendeteksi sayuran yang siap panen secara *realtime*, dimana nilai MAP yang didapatkan sebesar 70% dan akurasi yang didapatkan sebesar 70% (Saputra & Fudholi, 2021). Selanjutnya, sistem dari 3 jenis sensor (sensor

ketinggian air, *EC sensor*, dan sensor suhu dan kelembaban udara) dan 1 jenis aktuator (pompa air), dimana kontrol air dan nutrisi dapat diatur secara otomatis ataupun secara manual. Tingkat pertumbuhan tanaman dari sistem ini terbukti lebih tinggi 1 - 2% daripada teknik pertumbuhan tanaman konvensional. Banyaknya nutrisi yang diberikan pada tanaman bayam berada pada ukuran 1150 - 1470 PPM (Yue, S., et. al., 2020). Sistem yang menggunakan 2 buah sensor (sensor kelembaban dan sensor tingkat ketinggian air) dan 4 buah aktuator (pompa air, *overflow system*, *dehumidifier*, dan sebuah *fogging system*), dimana kontrol nutrisinya menggunakan algoritma *fuzzy logic*, dan pengguna dapat memonitor keadaan sistem via *website*. Sistem ini menunjukkan tingkat penggunaan energi yang lebih rendah serta dampaknya pada lingkungan jauh lebih rendah (Khudoyberdiev, A., et. al., 2020).

Penelitian ini mengembangkan sistem budidaya hidroponik berbasis IoT yang dapat mengontrol nutrisi yang diberikan kepada tanaman bayam, sesuai dengan tingkat pertumbuhannya dengan teknologi visi komputer, dengan harapan dapat membantu petani bayam dalam menjaga kualitas bayamnya.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana membentuk sistem yang dapat mengklasifikasi dan mengontrol pemberian nutrisi tanaman bayam berdasarkan tahap-tahap pertumbuhannya?
2. Berapa jumlah *resource* dan penggunaan listrik yang dipakai selama sistem ini berjalan?
3. Bagaimana menampilkan hasil monitoring tanaman pada aplikasi *desktop*?

1.3 Tujuan Penelitian/Perancangan

1. Membentuk sistem yang dapat mengklasifikasi dan mengontrol pemberian nutrisi tanaman bayam berdasarkan tahap-tahap pertumbuhannya.
2. Mengetahui jumlah *resource* dan penggunaan listrik yang dipakai selama sistem berjalan.
3. Menampilkan hasil monitoring tanaman pada aplikasi *desktop*.

1.4 Manfaat Penelitian/Perancangan

1. Untuk petani, dapat membantu mereka dalam mengelola tanaman mereka menggunakan sistem budidaya hidroponik berbasis IoT.
2. Untuk pemerintah, dapat meningkatkan tingkat keberhasilan panen tanaman melalui sistem hidroponik.
3. Untuk peneliti, dapat meningkatkan pengetahuan peneliti mengenai penggunaan teknologi visi komputer.
4. Untuk universitas, dapat meningkatkan kapasitas universitas dalam mengembangkan inovasi teknologi untuk keberhasilan budidaya tanaman secara hidroponik.

1.5 Batasan Penelitian

1. Tanaman yang akan digunakan untuk pengambilan dataset adalah tanaman bayam, dimana jenis tanamannya adalah *Amaranthus tricolor* (bayam cabut), *Amaranthus viridis* (bayam putih), dan *Amaranthus gangethicus* (bayam merah).
2. Data yang akan diambil berupa foto tanaman bayam yang berkembang selama 3 minggu (minggu ke-2 hingga minggu ke-4) pada sistem hidroponik yang telah dibangun.
3. Uji coba dilakukan di dalam ruangan Lab Ubicon dengan menggunakan modul kamera yang dihubungkan ke Raspberry Pi.
4. Model hidroponik yang digunakan adalah bentuk *Bucket*.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Bayam (*Amaranthus* sp.)

Bayam (*Amaranthus* sp.) adalah tanaman yang pada saat ini dibudidayakan sebagai sayuran bagi manusia. Menurut Ribera, Di Indonesia, ada beberapa macam jenis bayam yang dibudidayakan, yaitu *Amaranthus tricolor* (bayam cabut), *Amaranthus viridis* (bayam putih), serta *Amaranthus gangethicus* (bayam merah). Secara umum, bayam bertumbuh secara generatif melalui biji, dimana bayam bertumbuh hingga siap untuk dipanen dalam waktu 4 minggu (Tintondp, 2016).



Gambar 1. Tampilan Tanaman Bayam Putih (*Amaranthus viridis*).



Gambar 2. Tampilan Tanaman Bayam Merah (*Amaranthus gangethicus*).



Gambar 3. Tampilan Tanaman Bayam Batik (*Amaranthus tricolor*).

Tanaman bayam memiliki ciri khas yang khusus dibandingkan dengan sayuran lainnya, yaitu kandungan zat besi yang sangat tinggi, oleh karena itu bayam sering menjadi rekomendasi bagi para penderita anemia (Tintondp, 2016). Selain kandungan zat besinya yang tinggi, bayam juga memiliki tingkat betacyanin yang tinggi, sehingga dapat menjadi zat antimikroba bagi tubuh (Yong, Y. Y., et. al., 2017). Bayam juga memiliki zat antikanker. Berdasarkan hasil penelitian dari Sani, H. A., et. al., ekstrak air *Amaranthus gangethicus* mampu menghambat proliferasi sel kanker hati (HepG2) dan sel kanker payudara (MCF-7) (Sani, H. A., et. al., 2004).

Tanaman bayam biasanya tumbuh di wilayah tropis, dimana tanaman bayam dapat ditanam di wilayah dataran rendah maupun dataran tinggi akibat daya adaptasinya yang tinggi. Bayam dapat tumbuh dengan baik apabila ditanam pada daerah dengan suhu udara sekitar 17-28°C, kelembaban udara sebesar 50-60%, sinar matahari penuh (Lestari, 2009), serta nilai pH sekitar 6-7 (Rukmana, 1994).

2.2 Sistem Hidroponik

Sistem hidroponik merupakan sistem bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah. Sebagai pengganti media tanah, digunakan media tanam lain seperti kerikil, pasir, sabut kelapa, zat silikat, pecahan batu karang atau batu bata, potongan kayu, ataupun busa (Siswadi, 2006). Karena sistem hidroponik tidak menggunakan media tanah, maka penyerapan air dan nutrisi pada tanaman jauh lebih baik

daripada tanaman pada tanaman yang ditanam menggunakan media tanah (Khan, Z., et. al., 2021).



Gambar 4. Tampak Media Sistem Hidroponik

Dalam menjalankan sistem hidroponik, terdapat beberapa tantangan, yakni kontrol akan lingkungan sistem. Hal ini dapat berupa tingkat keasaman lingkungan hingga kadar nutrisi yang diterima oleh tanaman. Beberapa larutan yang sering digunakan dalam dunia industri sebagai nutrisi bagi tanaman adalah AB Mix (Hidayanti & Kartika, 2019). Larutan nutrisi AB Mix sendiri terdiri dari larutan A yang berisi unsur hara makro dan larutan B yang berisi unsur hara mikro (Nugraha & Susila, 2015). Kadar nutrisi pada sistem hidroponik perlu, karena apabila kadar nutrisinya kurang maka tingkat pertumbuhan tanaman akan kurang pula. Sebaliknya, apabila kadar nutrisi tanaman berlebihan maka pertumbuhan tanaman akan terhambat (Hidayanti & Kartika, 2019).

Terdapat banyak aturan pemberian nutrisi untuk tanaman bayam secara hidroponik. Sebuah penelitian di Yogyakarta melakukan perbandingan pemberian nutrisi sebesar 5mS, 7mS, 9mS, dan 11mS, dimana hasilnya menunjukkan pemberian nutrisi terbaik terdapat pada 5mS (Hartono, 2015). Sebuah penelitian di Malaka, Malaysia membuat sistem pengontrolan tingkat nutrisi tanaman, dimana pengendalian nutrisi diatur pada nilai 1150 PPM hingga 1470 PPM (Yue, S., 2020). Sebuah penelitian di Palembang melakukan perbandingan pertumbuhan tanaman bayam merah hidroponik dengan pemberian nutrisi AB mix sebesar 0 ml, 5 ml, 10

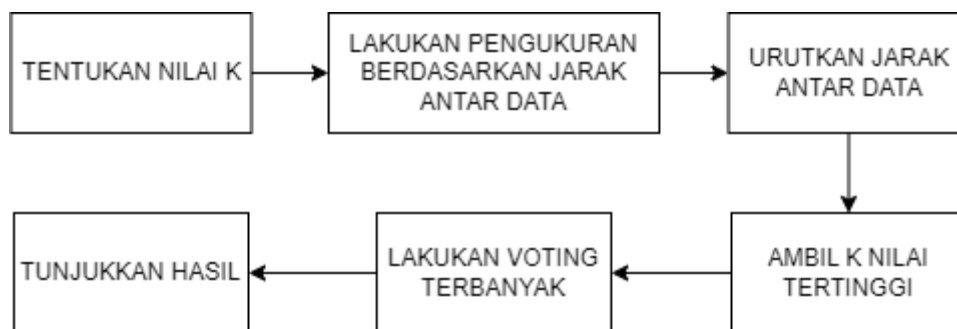
ml, 15 ml, dan 20 ml, dimana pertumbuhan terbaik diperoleh dari pemberian nutrisi AB mix 15 ml (Hidayanti & Kartika, 2019). Hal ini terjadi akibat perbedaan iklim dan kualitas air di berbagai tempat yang berbeda, sehingga kebutuhan nutrisinya juga berbeda.

2.3 Visi Komputer

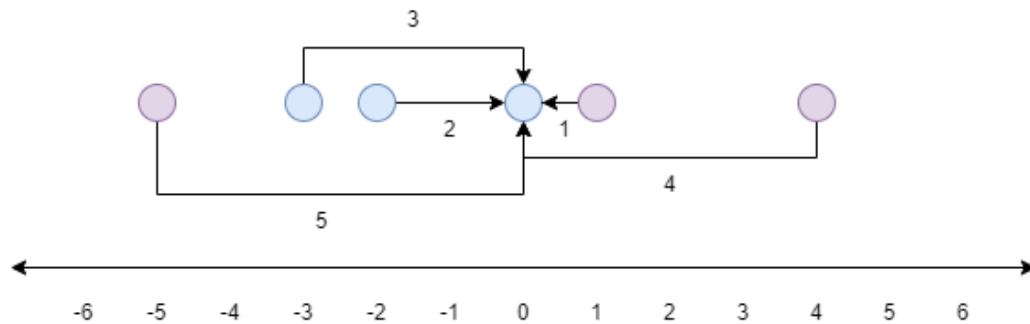
Visi komputer adalah bidang ilmu dari kecerdasan buatan, dimana visi komputer berfokus dalam membuat komputer dapat mengenali dunia secara visual seperti manusia (Bhatt, D., et. al., 2021). Pada saat ini, visi komputer sendiri telah dipakai dalam berbagai bidang industri, seperti asisten pengemudi, manajemen arus lalu lintas, otomasi, serta inspeksi dalam manufaktur benda-benda semikonduktor (Xu, S., et. al., 2020). Terdapat 3 tahap proses umum dalam visi komputer, yakni mengekstrak fitur-fitur penting yang ada pada gambar (contohnya seperti perbedaan warna, tekstur, dan lain-lain), lalu *preprocessing* data (hal ini bisa seperti segmentasi ataupun *tracking*), dan akhirnya penarikan informasi penting dari data yang ada (Forsyth & Ponce, 2002).

2.4 K-Nearest Neighbor

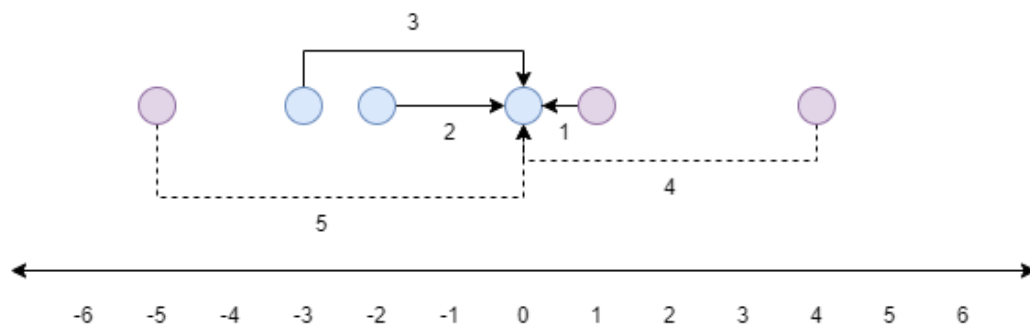
K-Nearest Neighbor merupakan salah satu algoritma *machine learning* yang dibentuk untuk mengklasifikasi suatu data berdasarkan kedekatan data tersebut dengan data yang telah ada di sistem. Algoritma ini dilakukan dengan mengambil K data dengan nilai kedekatan tertinggi, lalu melakukan perbandingan. Dari K data tersebut, dilakukan perbandingan, apabila data tersebut lebih “dekat” dengan kelompok data tertentu dibandingkan dengan kelompok data lainnya, maka data baru itu akan dianggap sama dengan kelompok itu (Mucherino, et al., 2009).



Gambar 5. Algoritma Klasifikasi K-Nearest Neighbor.



Gambar 6. Hasil Klasifikasi Data Menggunakan K-Nearest Neighbor dengan Nilai K=5, dimana Data Tersebut Lebih Cocok dengan Kelompok Ungu (3 Ungu, 2 Biru).



Gambar 7. Hasil Klasifikasi Data Menggunakan K-Nearest Neighbor dengan Nilai K=3, dimana Data Tersebut Lebih Cocok dengan Kelompok Biru (1 Ungu, 2 Biru).

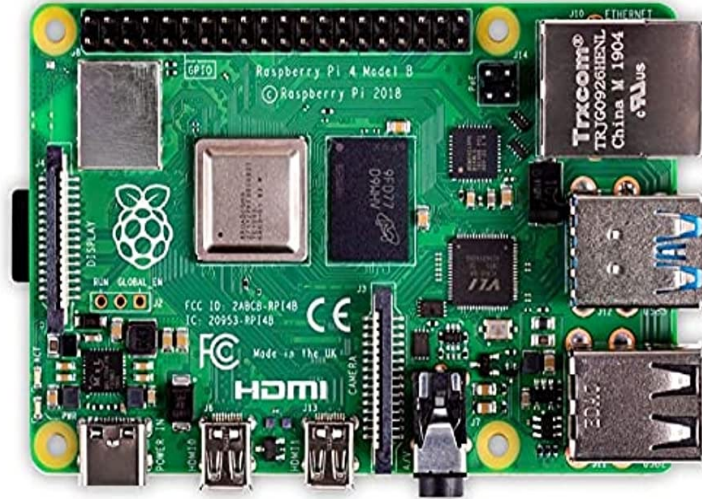
Proses penentuan nilai K pada algoritma K-Nearest Neighbor dilakukan dengan menggunakan *hyperparameter tuning*, salah satunya yaitu Grid Search. Grid Search sendiri merupakan algoritma yang melakukan pengetesan pada semua kemungkinan nilai *hyperparameter*, lalu memilih nilai yang memiliki hasil terbaik (Elgeldawi, 2021).

Algoritma ini dipakai pada beberapa kasus, seperti deteksi abnormalitas data (Himeur, et al., 2021), analisis kebutuhan energi (Wahid dan Kim, 2016), dan deteksi gangguan (Liao dan Vemuri, 2002).

2.5 Raspberry Pi

Raspberry Pi adalah sebuah *single-board computer* seukuran kartu kredit yang dikembangkan oleh Raspberry Pi Foundation di Britania Raya pada 29 Februari 2012 (John, M., 2018). Pada awalnya, Raspberry Pi dibentuk dengan tujuan untuk mengajarkan dasar-dasar dari ilmu komputer di negara berkembang.

Sekarang, Raspberry Pi digunakan dalam berbagai sektor, seperti transportasi cerdas, kesehatan, *smart house*, hingga pertanian cerdas (Hosny, K. M., et. al., 2023).



Gambar 8. Tampilan Raspberry Pi 4 Model B

Keunggulan dari Raspberry Pi sendiri adalah kemampuannya menjalankan berbagai bahasa pemrograman, salah satunya adalah Python (John, M., 2018). Tidak hanya itu, berbagai *add-on* yang digunakan, seperti modul kamera, dapat diprogram dengan mudah menggunakan Python. Tidak hanya itu, Raspberry Pi juga dapat terkoneksi dengan berbagai sensor dan aktuator melalui Arduino Uno (Srinidhi, H., et. al., 2020). Koneksi Raspberry Pi dengan Arduino sendiri dapat dijalankan dengan menghubungkan keduanya melalui sebuah kabel USB (*Universal Serial Bus*). Tidak hanya itu, melalui pin digital yang tersedia, Raspberry Pi pun dapat mengontrol aktuator seperti *relay*.

Spesifikasi Umum (Raspberry Pi (Trading) Ltd., 2019):

1. Hardware:

- a. Quad core 64-bit ARM-Cortex A72 yang berjalan pada 1.5 GHz
- b. RAM LPDDR4 berukuran 1, 2, dan 4 GB
- c. H.265 (HEVC) hardware decode (up to 4Kp60)
- d. H.264 (HEVC) hardware decode (up to 1080p60)
- e. VideoCore VI 3D Graphics
- f. Support dual HDMI display output up to 4Kp60

2. Software:

- a. Set Instruksi ARMv8
- b. Mature linux software stack
- c. Linux kernel support terbaru
- d. Berbagai Driver yang di-Upstream
- e. Userland yang stabil dan ter-support
- f. Tersedianya berbagai fungsi GPU menggunakan berbagai API standar

3. Interface:

- a. 802.11 b/g/n/ac Wireless LAN
- b. Bluetooth 5.0 dengan BLE
- c. 1x SD Card
- d. 2x Port Micro-HDMI mendukung dual display dengan resolusi hingga 4Kp60
- e. 2x Port USB2
- f. 2x Port USB3
- g. 1x Port Gigabit Ethernet
- h. 1x Port Raspberry Pi Camera
- i. 1x Port Raspberry Pi Driver
- j. 28x Port GPIO

2.6 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan salah satu mikrokontroler yang terdiri dari CPU AVR ATmega 328P *microprocessor*, yang dioperasikan pada 16 MHz (Irawan, Y., et. al., 2021). Arduino Uno memiliki 14 pin digital, 6 pin analog. Mikrokontroler ini cocok untuk berbagai proyek IoT, khususnya dalam bidang pertanian cerdas.



Gambar 9. Tampilan Arduino Uno.

Terdapat beberapa sensor yang sering dikontrol menggunakan Arduino Uno, khususnya dalam bidang pertanian cerdas, seperti sensor TDS dan sensor pH.

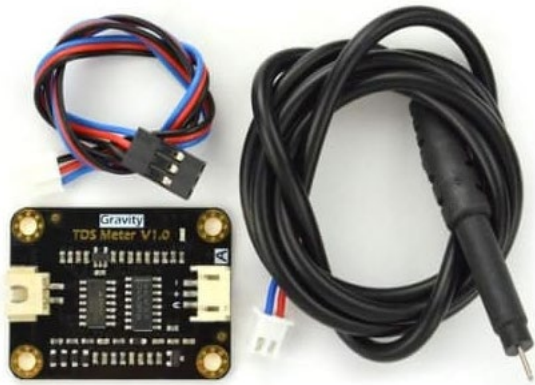
Spesifikasi Umum (Arduino, 2023):

1. Processor: ATmega328P
2. Memory:
 - a. AVR CPU hingga 16 MHz
 - b. 32KB Flash
 - c. 2KB SRAM
 - d. 1KB EEPROM
3. Keamanan:
 - a. *Power on Reset* (POR)
 - b. *Brown Out Detection* (BOD)
4. Periferal:
 - a. 2x 8-bit Timer/Counter dengan sebuah *period register* dan *channel* untuk dibandingkan
 - b. 1x 16-bit Timer/Counter dengan sebuah *period register* dan *channel* untuk dibandingkan
 - c. 1x USART dengan *fractional baud rate generator* dan deteksi *start-of-frame*
 - d. 1x Controller/Serial Peripheral Interface (SPI) yang bersifat periferal
 - e. 1x Analog Comparator (AC) dengan reference input yang terukur
 - f. 6 channel PWM

- g. Interrupt and wake-up saat pin diganti
5. Tegangan: 2.7 -5.5 V

2.7 Sensor TDS (*Total Dissolved Solid*)

Sensor TDS adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur banyaknya partikel di dalam air, dimana hasil pengukurannya berada pada satuan ppm (*parts per million*) (Eridani, D., et. al., 2017). Metode pengukuran yang dipakai untuk sensor ini mirip dengan sensor EC, namun sensor TDS menghitung banyaknya partikel yang menghalangi aliran listrik antar *probe*.



Gambar 10. Tampilan Sensor TDS Analog (SEN0244 Gravity Analog TDS Sensor Meter for Arduino).

Spesifikasi Umum (DFRobot, 2020):

1. Modul Konversi Sinyal

- a. Tegangan Input: 3.3 – 5.5 V
- b. Tegangan Output: 0 – 2.3 V
- c. Arus Saat Pemakaian: 3 – 6 mA
- d. Jarak Pengukuran Sensor: 0 – 1000 ppm
- e. Akurasi Pengukuran Sensor: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
- f. Ukuran Model: 42 * 32 mm
- g. Penghubung Modul: PH2.0-3P
- h. Penghubung Elektroda: XH2.54-2P

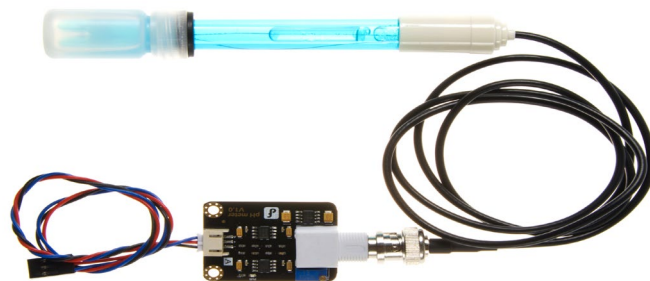
2. Probe Sensor

- a. Jumlah Jarum: 2
- b. Total Panjang: 83 cm

- c. Antarmuka Koneksi: PH2.0-3P
- d. Warna: Hitam
- e. Lain-lain: Probe Tahan Air.

2.8 Sensor pH (*Power of Hydrogen*)

Sensor pH adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur tingkat keasaman air, dimana metode pengukurannya dilakukan dengan menghitung perbedaan potensi electro-chemical antara larutan dalam sensor dengan larutan yang ada diluar sensor (Irawan, Y., et. al., 2021). Satuan yang dipakai pada sensor ini adalah satuan pH.



Gambar 11. Tampilan Sensor pH Analog (SEN0161-V2 Gravity Analog pH Sensor Meter Kit V2).

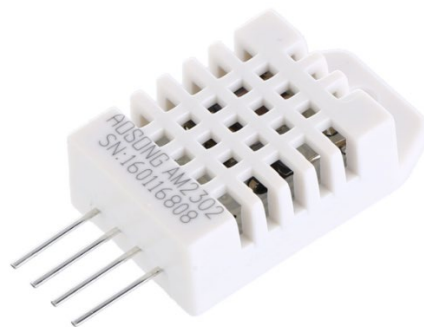
Spesifikasi Umum (DFRobot, 2018):

1. Modul Konversi Sinyal V2
 - a. Tegangan Input: 3.3 – 5.5 V
 - b. Tegangan Output: 0 – 3.0 V
 - c. Penghubung Probe: BNC
 - d. Penghubung Sinyal: PH2.0-3P
 - e. Akurasi Pengukuran Sensor: $\pm 0.1\%$ F.S. @ 25 °C
 - f. Ukuran Model: 42 mm *32 mm/1.66 in *1.26 in
2. pH Probe
 - a. Tipe Probe: Kualitas Laboratorium
 - b. Jarak Pengukuran Sensor: 0 – 14
 - c. Jarak Suhu: 5 - 60°C
 - d. Zero Point: 7 ± 0.5
 - e. Waktu Respon: < 2 min

- f. Hambatan Listrik Internal: $< 250 \text{ M}\Omega$
- g. Umur Probe: > 0.5 tahun (tergantung pada penggunaan)
- h. Ukuran Kabel: 100 cm

2.9 Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor yang memiliki 2 fungsi, yakni untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Sensor DHT22 memiliki keunggulan dibandingkan dengan sensor suhu dan kelembaban udara lainnya, yakni jarak pengukuran suhu dan kelembaban udara yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan sensor lain. Tidak hanya itu, sensor ini juga memiliki tingkat keakuratan yang lebih baik dalam pengukuran suhu udara (Ahmad, Y., et. al., 2021).



Gambar 12. Tampilan Sensor DHT22.

Spesifikasi Umum (Aosong Electronics Co. Ltd., 2015):

1. Tegangan Input: 3.3V to 6V
2. Sinyal Output: Sinyal Digital via single-bus
3. Elemen Utama Sensor: Kapasitor dari Polimer
4. Jarak Pengukuran
 - a. Kelembaban Udara: 0 – 100% RH
 - b. Suhu: $-40 - 80^{\circ}\text{C}$
5. Akurasi Sensor
 - a. Kelembaban Udara: 2 – 5% RH
 - b. Suhu: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$
6. Sensitivitas Sensor
 - a. Kelembaban Udara: 0,1% RH
 - b. Suhu: $0,1^{\circ}\text{C}$

7. Pengulangan

- a. Kelembaban Udara: $\pm 1\%$ RH
- b. Suhu: $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$

8. Kesalahan Akibat Histeresis: $\pm 0,3\%$ RH

9. Stabilitas Jangka Panjang: $\pm 0,5\%$ RH/year

10. Jarak Waktu Antar Pengukuran

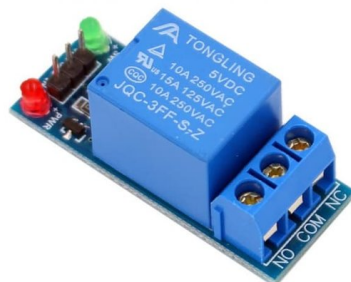
- a. Rata-rata: 2s

11. Ukuran Model

- a. Ukuran Kecil: 14 x 18 x 5.5 mm
- b. Ukuran Besar: 22 x 28 x 5 mm

2.10 Relay

Relay adalah komponen elektromekanikal yang terdiri dari komponen elektromagnet (*coil*) dan komponen mekanikal (saklar). Relay sendiri bergerak menggunakan *coil* nya untuk menggerakkan saklar, sehingga dapat menghantarkan listrik yang berukuran besar hanya dengan tenaga rendah (Amalia, F., 2020). Relay dapat dihubungkan dengan beberapa komponen listrik, salah satunya mesin pompa air.



Gambar 13. Tampilan Relay 5V 1 Channel.

Spesifikasi Umum (Future Electronics Corporation, 2019):

1. Listrik Sebesar 10A and 250V AC or 30V DC
2. Tiap Channel Memiliki Lampu LED Indikator Tersendiri
3. Tegangan Kumparan 12V per channel
4. Tegangan Input 5 – 12V
5. Sinyal Input 3 – 5V untuk tiap Channel

6. 3 Pin untuk normally open dan normally closed untuk tiap Channel

Pompa air adalah mesin yang bergerak dengan menggunakan energi sentrifugal untuk memindahkan air dari satu tempat ke tempat lain. Ketika mesin menyala, *impeller* pada mesin bergerak, menciptakan tekanan udara untuk menarik air. Air yang telah ditarik pun didorong oleh *impeller*, sehingga airnya pun keluar dari mesin (Nuswantoro, A., 2015).

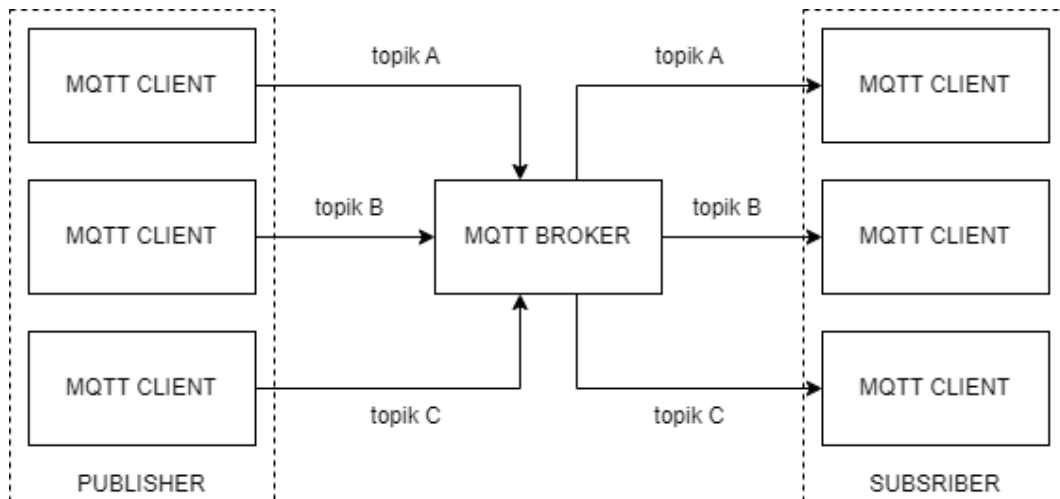


Gambar 14. Tampilan Pompa Air *Submersible*.

2.11 Protokol MQTT (*Message Queueing Telemetry Transport*)

Protokol MQTT adalah protokol pengiriman pesan antar mesin, khususnya untuk peralatan IoT, karena dibandingkan dengan protokol lain yang berbentuk *request* dan *response*, protokol MQTT tidak memerlukan pengiriman *request*, sehingga menghemat *bandwidth* yang diperlukan (Alqinsi, P., et. al., 2018), pada akhirnya cocok untuk mesin bertenaga rendah (Soni dan Makwana, 2017).

Pada protokol ini terdapat 2 komponen utama, yakni *client* yang bertugas untuk *publish* data ke *user* yang tertarik atau *subscribe* pada topik yang diinginkan untuk menerima pesan, dan *broker* yang bertugas untuk memproses berbagai *request* yang ada dari *client* (Soni dan Makwana, 2017).



Gambar 15. Diagram Proses Protokol MQTT.

2.12 Confusion Matrix

Confusion matrix adalah tabel matriks yang memberikan perbandingan hasil klasifikasi sebuah model. *Confusion matrix* berguna untuk menggambarkan kinerja model klasifikasi pada serangkaian data *testing* (Nugroho, 2019).

	1	0	
1	TP (True Positive)	FN (False Negative)	NILAI SEBENARNYA
0	FP (False Positive)	TN (True Negative)	
	NILAI PREDIKSI		

Gambar 16. Format *Confusion Matrix*.

Gambar 16 menunjukkan *confusion matrix* yang terdiri atas 4 hasil klasifikasi pada *confusion matrix*, yakni *True Positive* (TP), *False Positive* (FP), *False Negative* (FN), dan *True Negative* (TN). *True Positive* (TP) menandakan banyaknya data positif yang diprediksi benar. *True Negative* (TN) menandakan banyaknya data negatif yang diprediksi salah. *False Positive* (FP) atau error tipe 1 menandakan banyaknya data negatif yang diprediksi benar. *False Negative* (FN)

atau error tipe 2 menandakan banyaknya data positif yang diprediksi salah (Saputri, 2024).

Confusion matrix digunakan untuk menentukan performa model, khususnya nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *F1-Score* dari suatu model. Nilai *accuracy* menjelaskan akurasi suatu model dalam mengklasifikasi suatu data dengan benar. Hal ini dapat berarti nilai *accuracy* juga menunjukkan tingkat kedekatan nilai prediksi dengan nilai sebenarnya. Nilai *accuracy* dapat diperoleh dengan persamaan (1) (Saputri, 2024).

$$Accuracy (\%) = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\% \quad (1)$$

Nilai *precision* menjelaskan kemampuan model dalam menunjukkan tingkat keakuratan antara data yang diminta dengan hasil prediksi yang ada dalam model. Nilai *precision* dapat diperoleh dengan persamaan (2).

$$Precision (\%) = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (2)$$

Nilai *recall* menjelaskan kemampuan model dalam menunjukkan tingkat keberhasilan model dalam menemukan kembali sebuah informasi. Nilai *recall* dapat diperoleh dengan persamaan (3).

$$Recall (\%) = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (3)$$

Nilai *F1-Score* menjelaskan kemampuan model untuk mengklasifikasi suatu data dengan benar, khususnya untuk model yang dilatih menggunakan dataset yang tidak berimbang. Nilai *F1-Score* dapat diperoleh dengan persamaan (4).

$$F1 = \frac{2 \times Precision \times Recall}{Recall + Precision} \times 100\% \quad (4)$$