

**SISTEM MONITORING SUHU, OKSIGEN TERLARUT DAN PH PADA
TANAMAN HIDROPONIK PAKCOY BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

(Tesis)

Oleh

**DWI PRASETYANINGSIH
2127041006**



**MAGISTER FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

SISTEM MONITORING SUHU, OKSIGEN TERLARUT DAN PH PADA TANAMAN HIDROPONIK PAKCOY BERBASIS *INTERNET OF THINGS*

Oleh

Dwi Prasetyaningsih

Penelitian ini merancang sistem monitoring suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik pakcoy berbasis *Internet of Things*. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem monitoring larutan pada tanaman hidroponik dan menyimpan data sensor di *website* ThingSpeak serta menampilkan data hasil pengukuran sensor di LED *display*. Menganalisis hasil nilai-nilai akurasi dan ralat pada masing-masing sensor dengan menggunakan sensor DS18B20, analog DO dan pH V1.1. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan alat ini dapat menyimpan data hasil pengukuran dan dapat ditampilkan pada *website* ThingSpeak. Alat ini juga dapat mengukur suhu (rendah ke tinggi) dan suhu (tinggi ke rendah) dengan ralat sebesar 0,53 % dan akurasi sebesar 99,46 % dan suhu (tinggi ke rendah) dengan ralat sebesar 0,87 % dan akurasi 99,12 %, kadar oksigen terlarut dengan ralat sebesar 9,25 % dan nilai akurasi sebesar 90,71 % dan pH dengan ralat sebesar 6,25 % dan nilai akurasi sebesar 93,75 %.

Kata Kunci: Sensor DS18B20, Sensor Analog DO, Sensor pH V1.1

ABSTRACT

MONITORING SYSTEM FOR TEMPERATURE, DISSOLVED OXYGEN AND PH IN PAKCOY HYDROPONIC PLANTS BASED ON INTERNET OF THINGS

By

Dwi Prasetyaningsih

This research designs a monitoring system for temperature, dissolved oxygen and pH in pakcoy hydroponic plants based on the Internet of Things. The purpose of this research is to create a solution monitoring system for hydroponic plants and store sensor data on the ThingSpeak website and display sensor measurement data on the LED display. Analyzing the results of accuracy and error values on each sensor using DS18B20, analog DO and pH V1.1 sensors. Based on the results of the research conducted, this tool can store measurement data and can be displayed on the ThingSpeak website. This tool can also measure temperature (low to high) with an error of 0.53% and an accuracy of 99.46% and temperature (high to low) with an error of 0.87% and an accuracy of 99.12%, dissolved oxygen concentration with an error of 9.25% and an accuracy of 90.71% and pH concentration with an error of 6.25% and an accuracy of 93.75%.

Keywords: DS18B20 Sensor, Analog DO Sensor, pH V1.1 Sensor

**SISTEM MONITORING SUHU, OKSIGEN TERLARUT DAN PH PADA
TANAMAN HIDROPONIK PAKCOY BERBASIS
*INTERNET OF THINGS***

Oleh

Dwi Prasetyaningsih

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

MAGISTER SAINS

Pada

**Program Studi Magister Fisika
Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA
JURUSAN FISIKA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2025**

Judul Penelitian : **SISTEM MONITORING SUHU, OKSIGEN TERLARUT DAN PH PADA TANAMAN HIDROPONIK PAKCOY BERBASIS INTERNET OF THINGS**

Nama Mahasiswa : **Dwi Prasetyaningsih**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2127041006

Program Studi : Magister Fisika

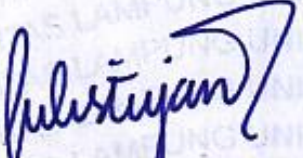
KBK : Instrumentasi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 13 Juni 2025

MENYETUJUI,

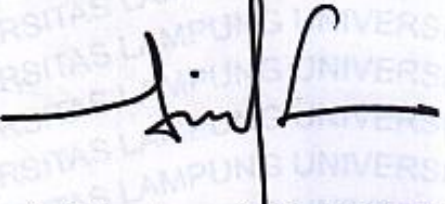
1. Komisi Pembimbing


Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyan, M.T.
NIP. 196510211995122001


Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.
NIP. 198010102005011002

2. Mengetahui,

Ketua Jurusan Fisika


Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng.
NIP. 197109092000121001

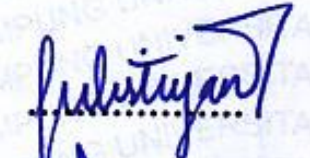
**Ketua Program Studi
Magister Fisika**


Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.
NIP. 197512192000122003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T.



Sekretaris : Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.



Penguji Anggota : 1. Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.



2. Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si.



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
NIP. 197110012005011002

3. Direktur Program Pascasarjana



Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : 13 Juni 2025

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis yang berjudul **“Sistem Monitoring Suhu, Oksigen Terlarut dan pH pada Tanaman Hidroponik Pakcoy Berbasis *Internet Of Things*”** tidak terdapat karya yang sama persis dengan yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar Pustaka, selain itu saya menyatakan pula bahwa tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

dar Lampung, 13 Juni 2025



Dwi Prasetyaningsih
NPM. 2127041006

RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Dwi Prasetyaningsih. Penulis dilahirkan di Tanjung Karang pada 14 Agustus 1997. Penulis merupakan anak kedua dari tiga bersaudara dari pasangan Sadi Atma Saputra dan Neni Haerani. Penulis memulai pendidikan sekolah dasar di SD Muhammadiyah 1 Bandar Lampung pada tahun 2003 – 2009 kemudian melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di MTs Al-Hikmah Bandar Lampung pada tahun 2009 – 2012 dan melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di SMA Negeri 12 Bandar Lampung pada tahun 2012 – 2015. Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di prodi Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Lampung pada tahun 2015 – 2020. Penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Tenaga Nuklir Nasional (BATAN) Yogyakarta, bagian Pengoperasian Generator RF Siklotron Decy-13 MeV dan melaksanakan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Peniangan, Kecamatan Marga Sekampung, Kabupaten Lampung Timur. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di prodi Magister Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur beasiswa pada tahun 2021. Penulis aktif pada kepanitiaan *The 5th International Conference on Social, Humanity, Economics, Education, Law, and Sustainable Development (SHIELD) 2021 ke-5* tentang “*Sustainable Development During and Post Pandemic*”. Selain itu, penulis aktif mengikuti kepanitiaan pada Dies Natalis FMIPA Universitas Lampung.

MOTTO

“Allah SWT tidak mengatakan hidup ini mudah. Tetapi Allah SWT berjanji,
bahwa sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan.”
(QS. Al-Insyirah : 5-6)

“It will pass, everything you’ve gone through it will pass”
(Rachel Vennya)

PERSEMBAHAN

Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah SWT, karya ini dipersembahkan kepada:

Kedua Orang Tuaku

Ayah & Bunda

Terima kasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di Tingkat Universitas sebagai magister

Keluarga Besar & Teman-teman

Terima kasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka

Almamater Tercinta

UNIVERSITAS LAMPUNG

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Sistem Monitoring Suhu, Oksigen Terlarut dan pH pada Tanaman Hidroponik Pakcoy Berbasis *Internet of Things*”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki tesis ini. Semoga tesis ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tetapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 13 Juni 2025

Penulis,

Dwi Prasetyaningsih

SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak. Oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Ratna Sulistiyanti, M.T. selaku pembimbing pertama yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini;
2. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan tesis ini menjadi lebih baik dan Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
3. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku pembahas pertama yang senantiasa memberikan bimbingan selama masa perkuliahan dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini;
4. Ibu Dr. Sri Wahyu Suciwati, S.Si., M.Si. selaku pembahas kedua yang senantiasa mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini;
5. Bapak Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung;
6. Bapak Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung;
7. Dosen, staff dan karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam;
8. Ayah, Bunda, Kakak dan Adik yang telah memberikan dukungan doa semangat, motivasi dan kasih sayang kepada penulis;
9. Sahabat yang telah memberi semangat dan dukungan kepada penulis
10. Teman-teman Magister Fisika yang selalu memberi semangat selama perkuliahan dan penyusunan tesis ini;
11. Diri sendiri yang tidak memilih menyerah dan menyelesaikan berbagai

Kesulitan dari awal perkuliahan hingga tulisan ini dapat terselesaikan.

Semoga Allah SWT membalas dengan yang lebih baik dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti, aamiin.

Bandar Lampung, 13 Juni 2025

Penulis,

Dwi Prasetyaningsih

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
MENGESAHKAN	v
PERNYATAAN.....	vi
RIWAYAT HIDUP.....	vii
MOTTO	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
SANWACANA.....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xvi
DAFTAR TABEL	xviii

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Masalah	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah.....	4

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait	6
2.2 Hidroponik DFT.....	12
2.3 Sistem pH pada Hidroponik	14
2.4 Modul DS18B20	17
2.5 Modul SEN0237	20
2.6 Modul Analog pH.....	21

2.7	Mikrokontroler Arduino Uno	24
-----	----------------------------------	----

III. METODE PENELITIAN

3.1	Tempat dan Waktu Penelitian.....	28
3.2	Alat dan Bahan Penelitian.....	28
3.2.1	Alat Penelitian	28
3.2.2	Bahan Penelitian	28
3.3	Prosedur Penelitian	29
3.4	Perancangan Perangkat Keras	30
3.4.1	Sensor Suhu DS18B20	32
3.4.2	Sensor pH Meter Kit.....	33
3.4.3	Sensor Analog DO	34
3.5	Perancangan Perangkat Lunak.....	36
3.6	Pengujian.....	37
3.6.1	Pengujian Sensor DS18B20.....	37
3.6.2	Pengujian Sensor analog DO	39
3.6.3	Pengujian Sensor pH meter kit V1.1	40
3.6.4	Perhitungan Nilai Akurasi dan <i>Error</i>	41
3.7	Pengambilan Data	42

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Realisasi Alat.....	43
4.2	Pengujian Perangkat Lunak	44
4.2.1	Pengujian Mikrokontroler.....	44
4.2.2	Pengujian Sensor DS18B20.....	45
4.2.3	Pengujian Sensor Analog pH	48
4.2.4	Pengujian Sensor Oksigen Terlarut.....	49
4.2.5	Pengujian Aktuator	51
4.2.6	Pengujian Modul RTC DS3231	51
4.3	Pengambilan Data Monitoring	52

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	57
5.2 Saran.....	57

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Skema rangkaian sistem kendali	6
Gambar 2.2	(a) Sistem pemantauan pertumbuhan sayuran berkemampuan IoT dipasang di rumah kaca; (b) Tugas pengendalian sistem dan pemrosesan data dilakukan menggunakan papan NVIDIA Jetson; (c) Sensor pH dan EC dihubungkan dengan papan mikrokontroler Arduino Nano untuk data perolehan; (d) Sensor pH dan sensor EC direndam dalam tangki penampung nutrisi untuk melacak perubahan dalam larutan nutrisi	8
Gambar 2.3	Sensor pH	9
Gambar 2.4	Sensor suhu	9
Gambar 2.5	Modul GSM	10
Gambar 2.6	Modul LCD	10
Gambar 2.7	Konfigurasi sistem hidroponik dan blynk	11
Gambar 2.8	Sistem DFT	12
Gambar 2.9	<i>Diagram yang mengilustrasikan beberapa pendekatan untuk mengintegrasikan alat kontrol pH elektrolit dalam unit hidroponik: A) dalam tangki larutan nutrisi; B) di sirkuit larutan nutrisi resirkulasi; C) disuplai ke tangki larutan nutrisi.</i>	15
Gambar 2.10	Arsitektur umum sistem nutrisi tanaman hidroponik otomatis ...	16
Gambar 2.11	Blok diagram penyusunan sistem DS18B20.....	17
Gambar 2.12	(A) Konfigurasi pin DS18B20 dan (B) rangkaian antarmuka AT89C51 dan DS18B20.....	18
Gambar 2.13	Rangkaian antarmuka antara AT89C51 dan serial port.....	19
Gambar 2.14	Rangkaian keseluruhan dan simulasi sistem DS18B20.	20
Gambar 2.15	Sensor DO	21
Gambar 2.16	Sistem diagram blok pengukuran kualitas air	22
Gambar 2.17	NodeMCU ESP8266	23
Gambar 2.18	Diagram berlabel dari Papan Arduino dan IDE	26
Gambar 2.19	Perangkat lunak sketsa Arduino.	27
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian.....	29
Gambar 3.2	Diagram blok penelitian.	30

Gambar 3.3	Rangkaian perangkat keras.	31
Gambar 3.4	Sensor DS18B20.	32
Gambar 3.5	Sensor pH V1.1	33
Gambar 3.6	Sensor DO.	34
Gambar 3.7	Desain keseluruhan penelitian tampak (a) depan (b) atas dan (c) <i>hardware</i>	35
Gambar 3.8	Diagram alir perancangan perangkat lunak (<i>software</i>)	36
Gambar 3.9	Tampilan ThingSpeak.	37
Gambar 3.10	Grafik hasil pengujian persamaan linieritas temperatur pada sensor DS18B20 terhadap Fluke 52 II <i>Thermometer</i>	38
Gambar 3.11	Grafik hasil pengujian persamaan linieritas sensor analog DO terhadap sensor DO meter DO9100	40
Gambar 3.12	Grafik hasil pengujian persamaan linieritas sensor pH meter kit terhadap larutan penyangga	41
Gambar 4.1	Rangkaian pengukuran.....	43
Gambar 4.2	Grafik pengujian persamaan linieritas sensor DS18B20 terhadap Fluke 52 II <i>Thermometer</i>	46
Gambar 4.3	Grafik pengujian persamaan linieritas sensor DS18B20 terhadap Fluke 52 II <i>Thermometer</i>	47
Gambar 4.4	Grafik pengujian persamaan linieritas sensor pH V1.1 terhadap larutan penyangga	49
Gambar 4.5	Grafik pengujian persamaan linieritas sensor DO DFRobot terhadap DO9100	50
Gambar 4.6	Monitoring (a) oksigen, (b) pH dan (c) suhu pada ThingSpeak .	52
Gambar 4.7	Pengukuran rata-rata suhu (a) pagi hari dan (b) malam hari.....	53
Gambar 4.8	Pengukuran rata-rata oksigen (a) pagi hari dan (b) malam hari..	54
Gambar 4.9	Pengukuran rata-rata pH (a) pagi hari dan (b) malam hari	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data pengujian sensor TDS.....	11
Tabel 2.2	Spesifikasi NodeMCU ESP8266.....	23
Tabel 3.1	Sambungan pin Arduino Uno dan komponen penunjang.	32
Tabel 3.2	Pengalamatan DS18B20.....	33
Tabel 3.3	Pengalamatan sensor pH.	33
Tabel 3.4	Pengalamatan sensor DO	34
Tabel 3.5	Hasil pengujian persamaan linieritas temperatur pada DS18B20.....	38
Tabel 3.6	Hasil pengujian tegangan pada sensor analog DO terhadap oksigen terlarut.	39
Tabel 3.7	Hasil pengujian sensor analog DO terhadap DO meter DO9100.....	39
Tabel 3.8	Hasil pengujian tegangan pada sensor analog pH terhadap kadar pH.....	40
Tabel 3.9	Hasil pengujian persamaan linieritas kadar pH pada sensor pH Meter Kit DFRobot.....	41
Tabel 3.10	Hasil pengukuran kualitas air tanaman hidroponik.	42
Tabel 4.1	Pengujian sensor DS18B20 mengukur nilai suhu.	46
Tabel 4.2	Pengujian sensor DS18B20 mengukur nilai suhu.	47
Tabel 4.3	Pengujian sensor analog pH mengukur kadar pH.....	48
Tabel 4.4	Pengujian sensor DO mengukur kadar oksigen terlarut	50

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Badan Pusat Statistik Provinsi Lampung, produksi di Provinsi Lampung pada Tahun 2022 sebanyak 110.459 kuintal dengan luas panen 1.429 hektar sedangkan pada Tahun 2023 sebanyak 114.044 kuintal dengan luas panen 1.397 hektar. Ketahanan pangan telah terancam secara signifikan yang diakibatkan oleh perubahan iklim, kekurangan sumber daya pertanian, krisis energi, peningkatan populasi dan urbanisasi (Oh *et al.*, 2021). Degradasi lahan merupakan masalah yang sangat serius bagi ketahanan pangan yang sangat mempengaruhi kelangkaan lahan subur untuk produksi tanaman (Searchinger *et al.*, 2018).

Budidaya hidroponik adalah metode pertanian di mana nutrisi disediakan secara efisien sebagai larutan nutrisi mineral dengan beberapa keunggulan seperti pengurangan masalah hama, pemberian nutrisi terus menerus jika dibandingkan dengan metode pertanian tradisional, dapat dibudidayakan pada lahan sempit, keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin, perawatan tanaman lebih praktis, penggunaan air dan pupuk lebih efisien karena dapat digunakan kembali, tanaman mati mudah diganti dengan tanaman baru, tidak memerlukan banyak tenaga kerja (Jung *et al.*, 2019; Hermanto *et al.*, 2021). Namun, teknik ini mahal karena investasi energi dibandingkan dengan pertanian tanah konvensional (Gomiero, 2018; Zanella *et al.*, 2018). Sedangkan kelemahan hidroponik diantaranya biaya investasi awal lebih mahal dan sangat dipengaruhi oleh konsentrasi dan komposisi pupuk dan pH (*Potential Hydrogen*) (Hermanto *et al.*, 2021).

Komposisi nutrisi dan tingkat pH merupakan faktor penting yang harus dipertahankan untuk lingkungan pabrik tanaman yang lebih baik (Wada, 2018). Oleh karena itu, pengawasan pH dan EC (*Electrical Conductivity*) untuk evaluasi status nutrisi adalah praktik umum dalam larutan hidroponik yang digunakan dalam produksi tanaman rumah kaca (Marques *et al.*, 2019). Saat ini terdapat

teknik bercocok tanam baru sehingga petani atau pekebun dapat menanam tanamannya di dalam ruangan dan tanpa kehadiran tanah (Mehra *et al.*, 2018). Metode bercocok tanam modern ini menanam tanaman hanya dengan air yang kaya nutrisi. Kemampuan menanam tanaman di dalam ruangan memiliki keunggulan yaitu tidak akan terpengaruh oleh perubahan iklim di luar ruangan (Chowdhury *et al.*, 2020).

Sistem hidroponik yang biasa digunakan antara lain aeroponik, *Nutrient Film Technique* (NFT), *Ebb-flow system* (EFS), *Float Raft System* (FRS) dan *Deep flow technique* (DFT) (Frasetya *et al.*, 2021; Mohammed dan Sookoo, 2016). DFT adalah metode hidroponik yang menggunakan air sebagai media untuk menyuplai nutrisi ke tanaman melalui kolam (Frasetya *et al.*, 2021). Keunggulan hidroponik sistem DFT adalah pertumbuhan tanaman lebih cepat, seragam, dan apabila terjadi listrik padam maka tanaman masih bisa bertahan dengan adanya sisa air di instalasi (Sharma *et al.*, 2019).

Hidroponik dengan sistem DFT menggunakan dua variabel pH dan EC untuk mengontrol kesuburan tanaman (Phutthisathian *et al.*, 2011). Tingkat pH harus konstan untuk menjaga akar tanaman menyerap nutrisi. Jika akar tanaman terkena pH rendah maka tanaman akan rusak (Spinu, Langhans, *et al.*, 2015; Aini *et al.*, 2019). EC digunakan untuk mengukur konsentrasi larutan nutrisi atau kepadatan nutrisi dalam larutan. EC harus dipantau untuk memastikan nutrisi yang cukup untuk tanaman. Setiap tanaman memiliki nilai pH dan EC masing-masing. Selain pH dan EC, suhu larutan nutrisi juga berperan penting dalam hidroponik. Akar tanaman menyerap nutrisi dengan baik saat terendam dalam suhu 20-25 °C selama minimal 12 jam. Suhu larutan nutrisi lebih dari 25 °C atau kurang dari 15 °C cenderung menurunkan kandungan klorofil dan akan berdampak pada pertumbuhan tanaman (Pramono *et al.*, 2020).

Mengukur pH tanaman pakcoy diperlukan bantuan teknologi *Internet of Things* (IoT) modern (Al Barazanchi *et al.*, 2019; Thiab *et al.*, 2018). Dengan bantuan teknologi IoT memungkinkan untuk memantau parameter pH dari jarak jauh dengan menyediakan aplikasi *mobile* tanpa memerlukan instrumen laboratorium (Chowdhury *et al.*, 2020; Thiab *et al.*, 2018; Kyu *et al.*, 2023). Beberapa alat

pemantauan kualitas air telah dikembangkan di Indonesia seperti *monitoring* hidroponik menggunakan sistem IoT berbasis arduino uno menggunakan parameter TDS (*Total Dissolved Solids*) dan *water level* dengan tampilan *output* berupa LCD (*Liquid Crystal Display*) (Karim *et al.*, 2021), sistem pengendalian kadar pH dan penyiraman tanaman hidroponik model *wick system* dengan sistem pengendalian menggunakan *web platform* yaitu thinger.io (Safiroh W.P *et al.*, 2022), sistem kendali tanaman hidroponik dengan IoT. Sistem kendali menggunakan parameter suhu air, TDS meter, dan pH meter dan data hasil pembacaan sensor dikirimkan ke database dengan memanfaatkan nodeMCU ESP8266 secara *real-time* dan sistem kendali tanaman hidroponik menggunakan perancangan logika fuzzy (Setiawan *et al.*, 2022).

Salah satu tanaman yang sering ditanam di media air dengan menggunakan sistem DFT adalah pakcoy (*Brassica rapa* L.) (Yeni *et al.*, 2023; Hermanto *et al.*, 2021). Pakcoy merupakan tanaman tahunan yang hanya sekali panen pada media tanam tanah. Pakcoy dipanen pada umur 40-60 hari setelah tanam. Tanaman pakcoy dapat tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dengan ketinggian 5-1200 mdpl. Iklim yang baik untuk pertumbuhan pakcoy yaitu daerah yang memiliki suhu 15-30 °C, curah hujan ± 200 mm/bulan, dan sinar matahari antara 10-13 jam. Kelembaban yang dibutuhkan tanaman pakcoy antara 80-90 %. Tanah yang ideal untuk menanam pakcoy adalah tanah gembur yang mengandung humus dan memiliki pH antara 6-7 (Hermanto *et al.*, 2021).

Berdasarkan hal diatas, dilakukan pengembangan sistem monitoring kualitas larutan pada tanaman hidroponik untuk mengukur suhu menggunakan sensor DS18B20, oksigen terlarut menggunakan sensor *dissolved oxygen* (DO) dan pH larutan menggunakan sensor pH V1.1 meter kit. Alat monitoring kualitas air pada tanaman menggunakan mikrokontroler Arduino Uno untuk memproses pembacaan sensor. Sistem monitoring dirancang untuk bekerja dengan sistem nirkabel sehingga dapat melakukan pengukuran jarak jauh secara *real-time* menggunakan NodeMCU ESP8266. Hasil pengukuran yang terbaca akan ditampilkan pada LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 dan ThingSpeak sebagai *database*. Data hasil pengukuran yang tersimpan pada *database* ThingSpeak

diteruskan ke *excel* untuk mengetahui hubungan suhu, oksigen terlarut dan pH larutan pada tanaman sistem hidroponik.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem yang dapat digunakan memonitoring suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik?
2. Bagaimana melakukan pengujian dari sistem monitoring suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik;
2. Melakukan pengujian dari sistem pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik; dan

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah memudahkan petani hidroponik dalam mengetahui suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

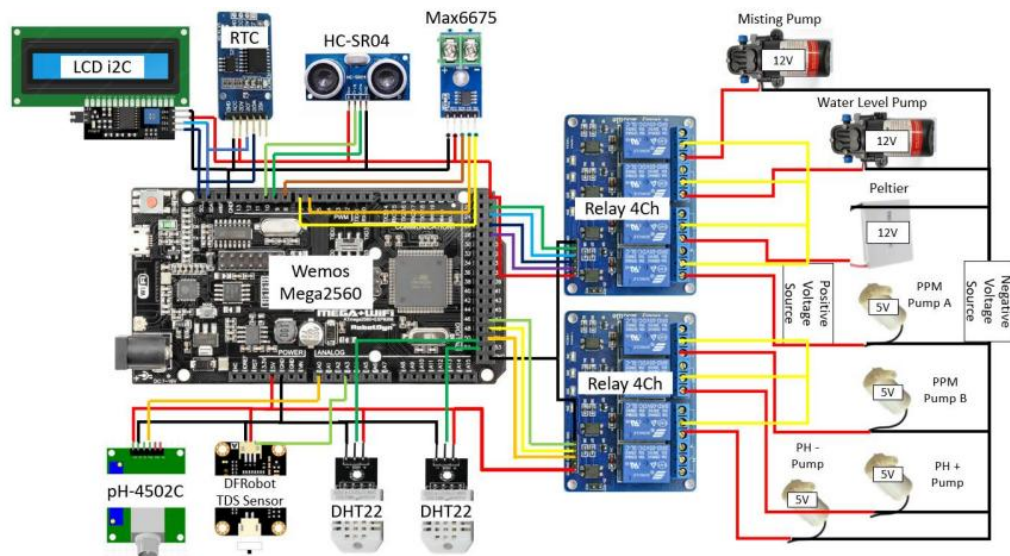
1. Pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH larutan pada tanaman pakcoy;
2. Menggunakan sensor DS18B20 untuk suhu;
3. Menggunakan sensor analog DO untuk oksigen terlarut;
4. Menggunakan sensor pH V1.1 meter kit untuk kadar pH;
5. Menggunakan modul Arduino Uno sebagai mikrokontroler;
6. Menggunakan modul LCD 16 x 2 sebagai penampil data;
7. Parameter kualitas air yang diukur yaitu oksigen terlarut dan pH;
8. Menggunakan *excel* untuk melihat hubungan data hasil pengukuran;

9. Menggunakan modul NoduMCU ESP8266 V3 Lua CH340 *Wi-Fi* sebagai dan penghubung internet untuk mengirim data dari sistem ke web; dan
10. Menggunakan teknologi IoT (*Internet of Things*) untuk komunikasi data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Penelitian terkait pertama dilakukan oleh Praptodiyono dkk. (2024) mengenai perancangan sistem kendali otomatis pada parameter pabrik pakcoy di media hidroponik NFT (*Nutrient Film Technique*). Desain sebuah sistem menggunakan mikrokontroler WEMOS Mega 2560 sebagai pusat kendali. Sensor *input* berupa sensor DHT22 sebagai sensor suhu udara atau suhu ruangan, sensor MAX6675 untuk mendeteksi suhu air, sensor ultrasonik HC-SR04 untuk mengukur jarak, sensor PH-4502C untuk mengukur tingkat asam dan basa suatu larutan, sensor analog TDS untuk mendeteksi kualitas nutrisi pada larutan dan modul RTC DS3231 (*Real Time Clock*) untuk menyimpan data hitungan waktu jam/clock. Mikrokontroler dihubungkan ke LCD I2C sebagai tampilan *output*. Desain sebuah sistem dapat dilihat pada **Gambar 2.1**.



Gambar 2.1 Skema rangkaian sistem kendali (Praptodiyono dkk., 2024).

Penggunaan *relay* 4Ch pada Arduino untuk mengontrol nutrisi pada pompa A, pompa B, pompa level air, pompa PH, pompa kabut, dan peltier apabila nilai parameter suhu ruangan, ketinggian air, suhu air, pH air dan unsur hara tanaman berada di luar batas yang ditetapkan.

Penelitian terkait kedua dilakukan oleh Sanaba *et al.* (2024) mengenai suhu nutrisi dan sistem kontrol TDS dengan logika fuzzy pada hidroponik pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*). Desain sebuah sistem monitoring hidroponik menggunakan mikrokontroller Arduino Mega 2560 dengan sensor *input* berupa sensor ultrasonik untuk level air, sensor analog TDS untuk mendeteksi kualitas nutrisi, sensor DS18B20 untuk mendeteksi suhu dan sensor DHT22 untuk kelembaban udara di sekitar sistem hidroponik. Mikrokontroler dihubungkan ke LCD 20x4 sebagai tampilan *output* dan ESP32 sebagai modul *Wi-Fi* untuk mengirim data ke *website* IoT. Penggunaan *relay* pada Arduino untuk mengontrol nutrisi pada pompa A, pompa B, pompa air dan pompa keluaran sedangkan penggunaan peltier untuk menjaga air suhu pada *set point* yang ditentukan dan motor DC L298N digunakan untuk pengadukan atau agitasi nutrisi. Pengontrolan pada pompa dilakukan menggunakan logika fuzzy. Metode sugeno pada logika fuzzy diproses dalam mikrokontroler menggunakan *input* nilai *error* dan *delta error* yang berasal dari pembacaan sensor TDS terhadap *set point* yang ditentukan. Semua *input* diproses melalui fuzzifikasi kemudian dilanjutkan dengan inferensi dan defuzzifikasi untuk menghasilkan keputusan. *Output* yang dihasilkan dari proses fuzzy adalah waktu pengaktifan pompa air dan pompa nutrisi hingga mencapai nilai *set point*. Sistem ini dapat mengontrol nutrisi suhu pada 28,05 °C dalam waktu 44 menit. Kontrol fuzzy dapat mencapai *set point* 1200 ppm dalam 45 detik. Tanaman pakcoy yang ditanam dengan menggunakan kontrol menunjukkan laju pertumbuhan yang lebih cepat yaitu 0,42 cm/hari sedangkan tanaman tanpa kontrol menghasilkan laju pertumbuhan sebesar 0,232 cm/hari. Data yang dibaca oleh sensor berhasil dikirim ke *dasbor* ThingSpeak setiap 15 detik.

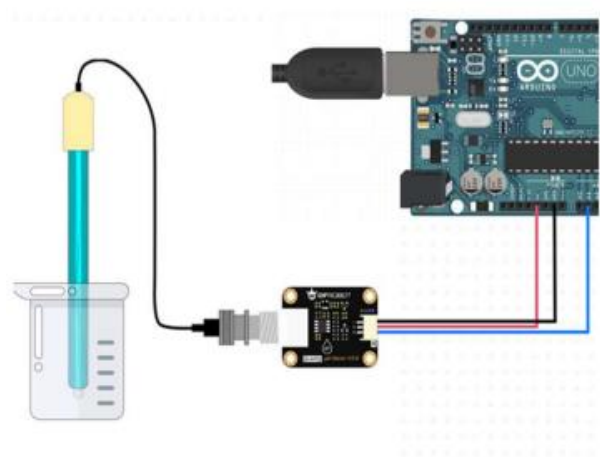
Penelitian terkait ketiga dilakukan oleh Kang *et al.* (2024) mengenai pemantauan pertumbuhan pakcoy menggunakan teknologi IoT dan model segmentasi berulang. Desain sebuah sistem menggunakan kamera stereo ZED X mini untuk mengamati fenologi pengembangan pakcoy. ZED X mini dikonfigurasi untuk menangkap resolusi tinggi gambar berwarna dan data *point cloud* pada resolusi 1920x1200 piksel, mencakup bidang dengan kedalaman 15 cm sampai dengan 12 m. Kontrol sistem dan pemrosesan data dilakukan dengan menggunakan Kit

pengembangan NVIDIA Jetson Orin Nano. Sistem Operasi Robot (ROS) memfasilitasi proses pengambilan dan penyimpanan gambar. ZED ROS berfungsi sebagai antarmuka untuk sistem. Skrip Python dijalankan untuk menangkap gambar berwarna dan data *point cloud* dengan interval enam jam setiap hari. Saat terhubung ke jaringan *Wi-Fi*, papan Jetson menggunakan Rclone, alat berbasis baris perintah untuk menyinkronkan file dan direktori di berbagai layanan penyimpanan *cloud*, untuk mentransfer secara sistematis akumulasi data ke akun Google Drive yang dipakai. Sistem ini menggunakan dua sensor yaitu pH dan EC (*Electrical Conductivity*). Sensor EC digunakan untuk mendeteksi jumlah garam yang terlarut dalam larutan nutrisi sistem hidroponik. Pengaplikasian perangkat dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.



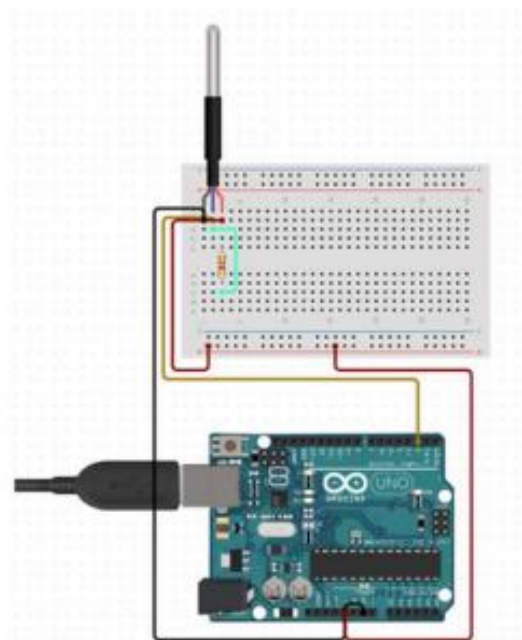
Gambar 2.2 (a) Sistem pemantauan pertumbuhan sayuran berkemampuan IoT dipasang di rumah kaca; (b) Tugas pengendalian sistem dan pemrosesan data dilakukan menggunakan papan NVIDIA Jetson; (c) Sensor pH dan EC dihubungkan dengan papan mikrokontroler Arduino Nano untuk data perolehan; (d) Sensor pH dan sensor EC direndam dalam tangki penampung nutrisi untuk melacak perubahan dalam larutan nutrisi (Kang, *et al.*, 2024).

Penelitian terkait keempat dilakukan oleh Wibisono dan Jayadi (2023) mengenai pengembangan arsitektur perancangan kontrol dan monitoring pengukuran pH. Desain sebuah sistem menggunakan sensor TDS, sensor DS18B20, modul GSM, modul LCD I2C 16x2 dan modul pompa air. Sensor TDS untuk mendeteksi kualitas nutrisi pada larutan. Modul sensor TDS dapat dilihat pada **Gambar 2.3**.



Gambar 2.3 Sensor pH (Wibisono dan Jayadi, 2023).

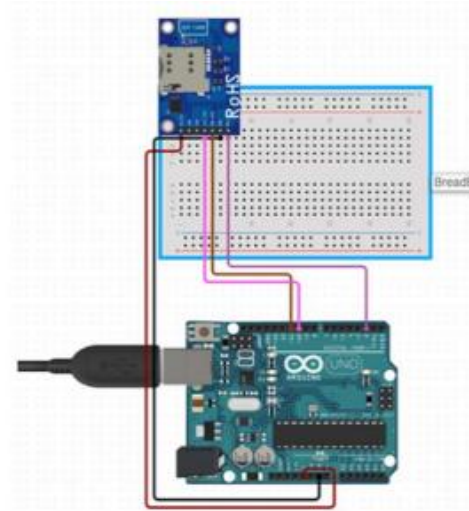
Sensor pH pada **Gambar 2.3** dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno. Sensor pH ditempatkan pada air kolam dan akan membaca kadar pH pada air kolam. Data yang terbaca oleh sensor akan di proses oleh mikrokontroler sebelum dikirim ke database dan menampilkannya pada aplikasi. Sensor ini harus dikalibrasi terlebih dahulu untuk menghasilkan nilai pH yang akurat. Sensor DS18B20 untuk mendeteksi suhu. Modul DS18B20 dapat dilihat pada **Gambar 2.4**.



Gambar 2.4 Sensor suhu (Wibisono dan Jayadi, 2023).

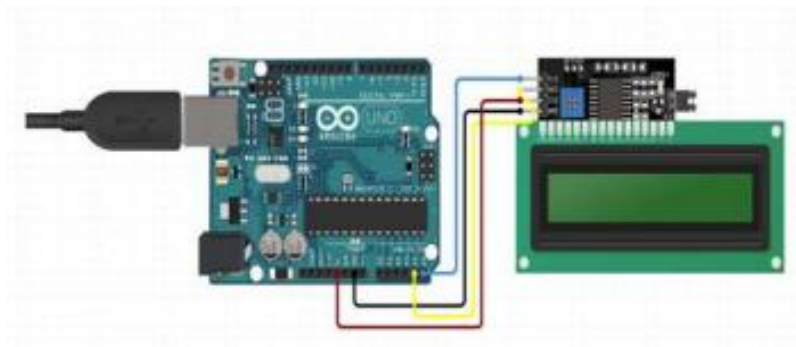
Sensor pH pada **Gambar 2.4**, dihubungkan dengan mikrokontroler. Sensor DS18B20 menggunakan resistor 4,75K untuk menghindari korsleting sirkuit pada

sistem. Modul GSM untuk membantu menyimpan kartu SIM. Modul GSM dapat dilihat pada **Gambar 2.5**.



Gambar 2.5 Modul GSM (Wibisono dan Jayadi, 2023).

Modul GSM pada **Gambar 2.5**, dihubungkan dengan mikrokontroler. Modul GSM juga dapat digunakan untuk mengirim pesan. Modul LCD I2C 16x2 untuk menampilkan data pengukuran. Modul LCD dapat dilihat pada **Gambar 2.6**.

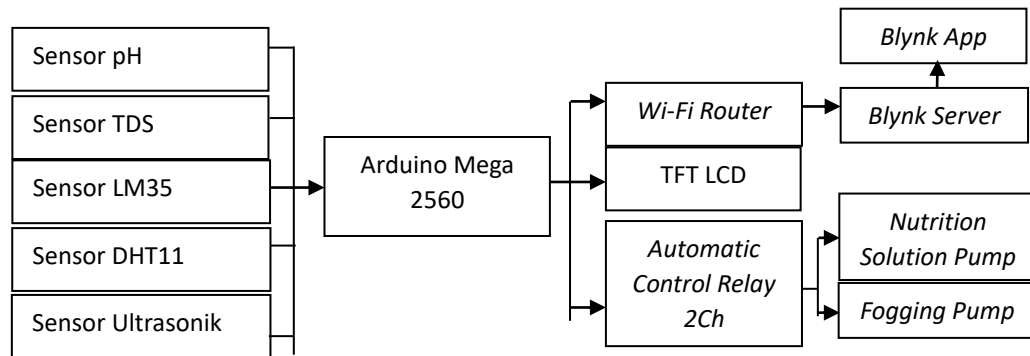


Gambar 2.6 Modul LCD (Wibisono dan Jayadi, 2023).

Modul LCD pada **Gambar 2.6**, dihubungkan dengan mikrokontroler untuk mengolah data sebelum data ditampilkan. LCD digunakan untuk menampilkan nilai pH dan suhu yang di deteksi oleh sensor. LCD ditempatkan di dekat kolam ikan untuk membantu pengecekan saat peternak lele berada di area kolam lele. Pompa air untuk memompa air nutrisi pada kolam ikan serta memastikan sirkulasi air berjalan lancar.

Penelitian terkait kelima dilakukan oleh Pramono *et al.* (2020) mengenai perancangan sistem monitoring hidroponik dengan DFT. Sistem menggunakan

berbagai jenis sensor yang terdiri dari sensor pH, sensor TDS, sensor DHT11, sensor ultrasonik dan sensor suhu LM35. Selanjutnya data yang dihasilkan dari sensor akan diolah oleh mikrokontroler Arduino Mega 2560. Komponen lain yang juga digunakan adalah *relay* untuk mengontrol pompa larutan dan sistem *fogging*. Konfigurasi sistemnya ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.



Gambar 2.7 Konfigurasi sistem hidroponik dan blynk (Pramono *et al.*, 2020).

Data yang telah diolah tersebut akan ditampilkan menggunakan TFT LCD 2.4” dan dikirimkan ke aplikasi Blynk. Selain ditampilkan pada aplikasi Blynk, data akan disimpan pada MicroSD. Pengujian sensor TDS dilakukan dengan cara membandingkan hasil percobaan sensor dengan TDS konvensional. Berdasarkan pengujian rata-rata kesalahan pembacaan sensor relatif kecil sebesar 6,74%. Data pengujian sensor TDS ditunjukkan pada **Tabel 2.1**.

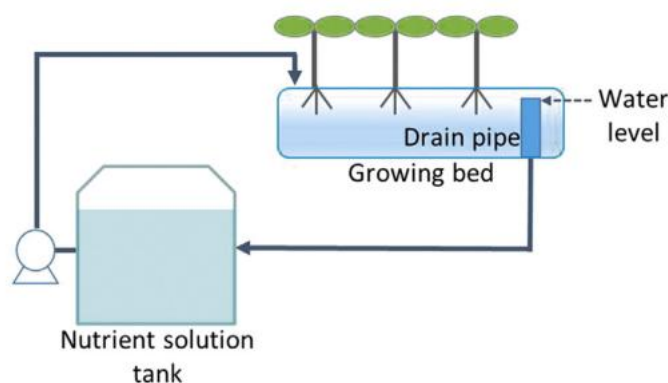
Tabel 2.1 Data pengujian sensor TDS

Time	Prototipe (ppm)	TDS meter (ppm)	Error (%)
7:00	1458,81	1371	6,40
8:00	1458,81	1363	7,03
9:00	1466,61	1472	0,37
10:00	1462,71	1375	6,38
11:00	1462,71	1304	12,17
12:00	1412,71	1367	3,35
13:00	1454,92	1352	7,61
14:00	1409,00	1348	4,53
15:00	1451,05	1325	9,51
16:00	1451,05	1318	10,09
Rata-rata			6,74

2.2 Hidroponik DFT

Hidroponik adalah metode bercocok tanam dengan pemberian nutrisi melalui larutan air tanpa tanah (Sharma *et al.*, 2019). Sistem hidroponik adalah metode menanam tanaman dengan menggunakan larutan nutrisi mineral dalam air. Sistem hidroponik yang umumnya digunakan untuk menanam sayuran adalah sistem NFT dan DFT (Son *et al.*, 2020). Keuntungan dari sistem DFT konvensional, yang secara terus menerus menyediakan larutan nutrisi bagi tanaman, sistem ini diadaptasi dalam saluran pertumbuhan berbentuk tabung. Struktur DFT dipasang pada kemiringan nol (Gomes *et al.*, 2023).

Larutan nutrisi pada sistem DFT disuplai ke tanaman setiap kali tingkat air di hamparan kultur menjadi lebih rendah dari nilai yang ditetapkan dan disirkulasi ulang untuk disuplai ke akar tanaman pada interval waktu yang konstan. Prinsip DFT adalah mensirkulasikan kembali lapisan tipis larutan nutrisi melewati akar tanaman yang menyediakan nutrisi dan oksigen (Saraswathi *et al.*, 2018). Akar tanaman akan menyerap nutrisi dalam larutan saat bersentuhan dengan air. Metode ini akan memastikan bahwa akar tanaman mengkonsumsi nutrisi dalam larutan air untuk tumbuh dengan baik dan memiliki keuntungan, termasuk pertumbuhan yang lebih cepat, produktivitas yang tinggi, kemudahan penanganan dan efisiensi penggunaan air yang lebih tinggi (Eridani *et al.*, 2017). Sistem DFT ditunjukkan pada **Gambar 2.8** (Son *et al.*, 2020).



Gambar 2.8 Sistem DFT (Son *et al.*, 2020).

Resirkulasi larutan nutrisi pada sistem DFT seperti **Gambar 2.8**, yang tidak terserap oleh tanaman kembali ke tangki nutrisi. Penyerapan air dan nutrisi oleh tanaman dapat dengan mudah diperkirakan dengan mengukur hilangnya larutan

nutrisi di dalam tangki. Faktor yang secara langsung mempengaruhi pertumbuhan tanaman yang tumbuh secara hidroponik diantaranya konsentrasi nutrisi, pH, oksigen terlarut, dan suhu (Son *et al.*, 2020).

Parameter nilai pH, EC dan suhu merupakan parameter penting pada sistem hidroponik yang perlu diperhatikan dan dikontrol karena mempengaruhi kemampuan tanaman dalam menyerap semua unsur hara untuk menjamin pertumbuhan tanaman (Griffiths, 2014). Tanaman dapat lebih mudah menyerap nutrisi dari larutan dengan menjaga pH pada tingkat optimal. pH dapat memiliki efek buruk pada pertumbuhan tanaman, terutama pada tanaman yang dibudidayakan dalam kultur hidroponik (Singh *et al.*, 2019). Sirkulasi larutan nutrisi dapat mempertahankan kadar oksigen terlarut untuk pertumbuhan dan perkembangan tanaman (Gillani *et al.*, 2023). Selain itu, suhu larutan nutrisi juga mempengaruhi penyerapan air dan nutrisi secara berbeda oleh tanaman (Sihombing *et al.*, 2018). Penting untuk memeriksa pH, oksigen terlarut, dan suhu larutan nutrisi secara teratur, sebaiknya setiap hari karena hal tersebut berdampak besar pada jumlah nutrisi yang dapat diserap tanaman. Oleh karena itu, pH, nilai EC dan suhu dianggap sebagai faktor penentu hasil dan kualitas tanaman yang paling penting (Mokhtar dan Kamal, 2023).

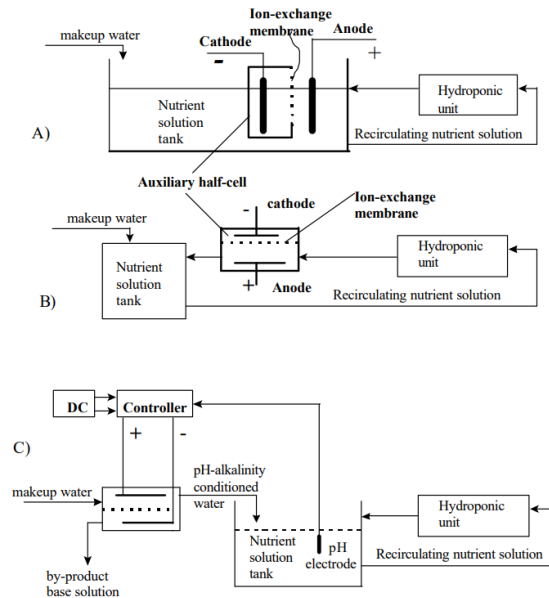
Salah satu tanaman yang sering ditanam pada media tanam hidroponik adalah pakcoy (*Brassica rapa L.*) dimana tanaman sendiri sangat mudah tumbuh, perawatannya cukup mudah dan tidak memakan waktu lama untuk panen. Pakcoy merupakan tanaman tahunan yang hanya sekali panen. Pakcoy dipanen pada umur 40-60 hari setelah tanam. Tanaman pakcoy dapat tumbuh di dataran rendah maupun dataran tinggi dengan ketinggian 5-1200 mdpl. Namun tanaman pakcoy tumbuh dengan baik di dataran tinggi yang berhawa sejuk. Iklim yang baik untuk pertumbuhan pakcoy yaitu daerah yang memiliki suhu 15-30°C, curah hujan ± 200 mm/bulan, dan sinar matahari antara 10-13 jam. Kelembaban yang dibutuhkan pakcoy antara 80-90%. Tanah yang ideal untuk penanaman pakcoy adalah tanah gembur yang mengandung humus dan memiliki pH antara 6-7, tanaman pakcoy tidak menyukai genangan air sehingga harus memiliki *drainase* yang baik (Hermanto *et al.*, 2021).

2.3 Sistem pH pada Hidroponik

pH akar tanaman merupakan faktor penting yang mempengaruhi penyerapan banyak nutrisi. Kisaran optimal untuk banyak tanaman terletak antara 4,5 dan 6,0 mendekati kondisi netralitas. Air yang digunakan untuk produksi tanaman hidroponik harus terlebih dahulu dibawa ke kisaran pH yang tepat. Ini terutama melibatkan penggunaan asam untuk mengolah kandungan bikarbonat. Setelah penyesuaian pH awal air sumber ke dalam kisaran yang tepat, aktivitas akar tanaman terus mengubah pH larutan nutrisi dari sistem produksi tanaman hidroponik. Tindakan yang paling mencolok adalah pelepasan ion OH^- untuk setiap ion nitrat (NO_3^-) yang diambil (untuk menjaga netralitas muatan di dalam pabrik). Peningkatan pH larutan nutrisi secara terus-menerus yang dihasilkan harus dilawan dengan penambahan asam secara terus-menerus (atau sering). Injeksi asam membutuhkan kehati-hatian dan pengaturan waktu dan larutan harus dicampur secara menyeluruh untuk menacegah konsentrasi lokal dari larutan asam kuat. Jika akar tanaman terkena pH rendah (misalnya, pH 2-3) hanya beberapa detik, kerusakan langsung dapat terjadi (Spinu *et al*, 2015).

Diagram pada **Gambar 2.9** mengilustrasikan beberapa kemungkinan pengaturan untuk kontrol elektrolit pH dalam larutan nutrisi hidroponik. Elektroda penghasil H^+/OH^- utama dapat direndam langsung ke dalam larutan nutrisi (**Gambar 2.9.A**), sirkuit larutan nutrisi resirkulasi (**Gambar 2.9.B**), atau air yang disuplai ke tangki larutan nutrisi (**Gambar 2.9.C**) (Spinu *et al.*, 2015). **Gambar 2.9.C**, menghasilkan jumlah ion H^+ yang diperlukan secara elektrolitik dalam air yang disuplai ke tangki larutan nutrisi (**Gambar 2.9.C**) dengan mengkonsumsi lebih banyak energi listrik karena konduktivitas listrik (EC) air lebih rendah dibandingkan dengan EC larutan nutrisi hidroponik yang umum digunakan. Pendekatan paling cocok untuk aplikasi hidroponik karena tidak ada potensi dampak yang merugikan dari proses elektrolisis pada konsentrasi nutrisi dalam sistem hidroponik. Selanjutnya, selain mengendalikan pH dan tingkat alkalinitas, perbaikan tambahan dalam kualitas suplai air dapat dicapai seperti mengurangi konsentrasi mineral terlarut dalam air (TDS); secara selektif menghilangkan natrium sebagai unsur yang tidak diinginkan dalam sumber air; menjenuhkan air dengan oksigen; desinfeksi air, penghilangan polutan anorganik dan organik

tertentu. CO₂ dalam jumlah yang signifikan terus diproduksi sebagai produk sampingan dalam proses dealkalisasi air, yang merupakan faktor penting bagi pertumbuhan tanaman. Pendekatan elektrokimia untuk kontrol pH dan alkalinitas memungkinkan produksi tanaman hidroponik yang sukses di daerah dengan tingkat alkalinitas tinggi di perairan alami dan situasi di mana penambahan asam mungkin sangat mahal (Spinu *et al.*, 2015).

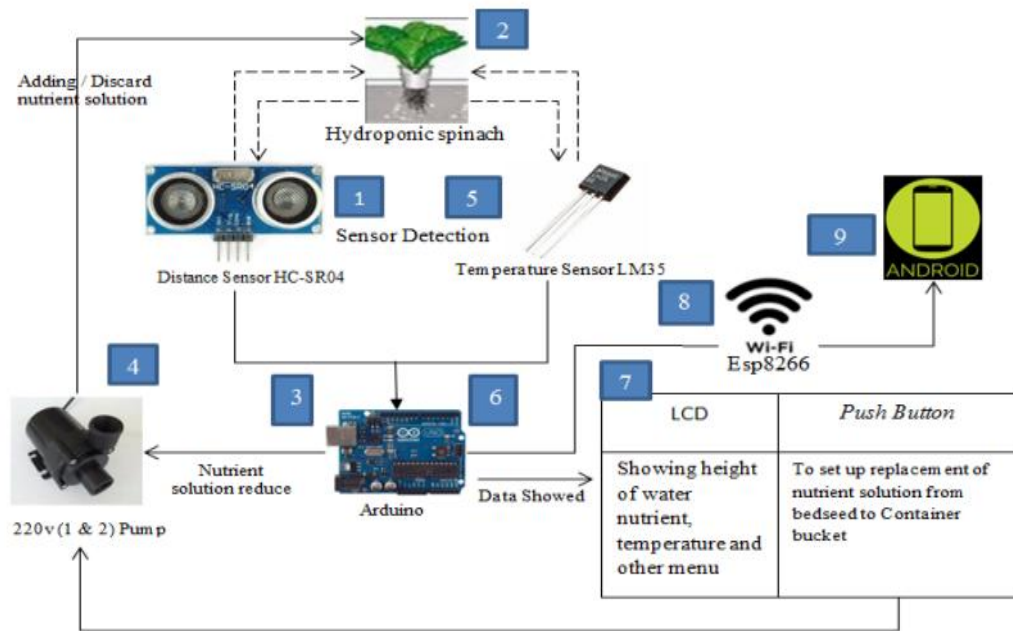


Gambar 2.9 Diagram yang mengilustrasikan beberapa pendekatan untuk mengintegrasikan alat kontrol pH elektrolit dalam unit hidroponik: A) dalam tangki larutan nutrisi; B) di sirkuit larutan nutrisi resirkulasi; C) disuplai ke tangki larutan nutrisi (Spinu *et al.*, 2015).

Elektroda yang berlawanan pada **Gambar 2.9**, harus direndam dalam ruang terpisah (setengah sel) dengan menggunakan larutan elektrolit menggunakan kontak listrik dengan larutan nutrisi melalui diafragma atau membran penukar ion. Dengan menggunakan membran penukar kation, lintasan ion melalui membran dapat dibatasi untuk semua atau hanya kation monovalen. Membran penukar anion Cu/CuSO₄ dapat digunakan untuk mengontrol pH (Spinu, *et al.*, 2015).

Pertumbuhan tanaman hidroponik sebagian besar dipengaruhi oleh tingkat keasaman sehingga penyesuaian pH elektrolit akan mempengaruhi transfer kation (K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, dll.) dari larutan nutrisi melalui membran penukar kation ke dalam bejana elektrolisis tambahan dengan proses transfer listrik. Dalam kasus dengan bejana elektrolisis bebas Cu/CuSO₄ dan membran penukar anion sebagai

dinding partisi, ion SO_4^{2-} akan ditransfer melalui membran ke dalam larutan nutrisi. Jumlah nutrisi yang ditransfer oleh migrasi listrik melalui membran akan sebanding dengan jumlah ion H^+ yang dibutuhkan untuk mempertahankan tingkat pH yang diinginkan di lingkungan zona akar (Spinu, *et al.*, 2015). Arsitektur umum sistem nutrisi tanaman hidroponik otomatis ditunjukkan pada **Gambar 2.10** (Sihombing *et al.*, 2018).



Gambar 2.10 Arsitektur Umum Sistem Nutrisi Tanaman Hidroponik Otomatis (Sihombing *et al.*, 2018).

Mekanisme sistem nutrisi pada **Gambar 2.10** terdiri dari sensor ultrasonik (HC-SR04) untuk mendeteksi nilai tinggi larutan nutrisi pada tanaman hidroponik dengan parameter tinggi air dalam satuan cm dan sensor suhu LM-35 untuk mendeteksi suhu larutan dalam satuan $^{\circ}\text{C}$. Sensor ultrasonik akan mengukur jarak air berdasarkan gelombang ultrasonik. Jarak antara waktu pancar dan waktu terima menjadi representasi dari jarak perairan. Sistem mulai bekerja dengan menggunakan sensor yang terhubung ke elektroda. Keluaran dari elektroda ini akan diteruskan ke mikrokontroler sebagai *entry point* untuk diproses oleh otak sistem Mikrokontroler Arduino Uno. Mikrokontroler menerima tegangan ini dan membandingkannya dengan nilai sebelumnya dan membuat keputusan berdasarkan *input* tersebut. Berdasarkan *input* ini keputusan dibuat oleh mikrokontroler apakah akan mengalirkan air di pompa atau tidak. Semua perintah

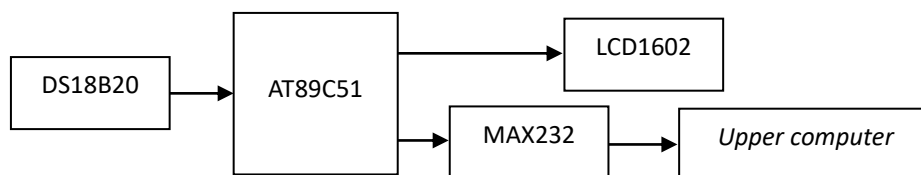
pada mikrokontroler Arduino Uno dapat dikontrol dari smartphone berbasis Android (Sihombing *et al.*, 2018).

2.4 Modul DS18B20

Modul DS18B20 merupakan sensor suhu dimana nilai suhu dan akurasi kecepatan pengukuran memiliki kestabilan yang baik (Kartika *et al.*, 2019). Sensor DS18B20 memiliki kemampuan tahan air. Sensor DS18B20 adalah sensor digital yang memiliki ADC 12 bit internal. Sangat presisi karena jika tegangan referensinya adalah 5 Volt, maka karena perubahan suhu, dapat dirasakan perbedaan kecil sebesar 0,0012 Volt. Pada rentang suhu -10° hingga $+85^{\circ}$ Celcius, sensor ini memiliki akurasi kurang lebih 0,5 derajat. Sensor ini menggunakan protokol komunikasi 1 kabel (*one wire*). Standar deviasi digunakan bila data bersifat ekstensif dan memiliki nilai rata-rata yang tersebar sehingga nilai S_x akan signifikan. Namun, jika data memiliki distribusi nilai rata-rata yang dangkal, nilai standar deviasi akan rendah (Mina, 2023).

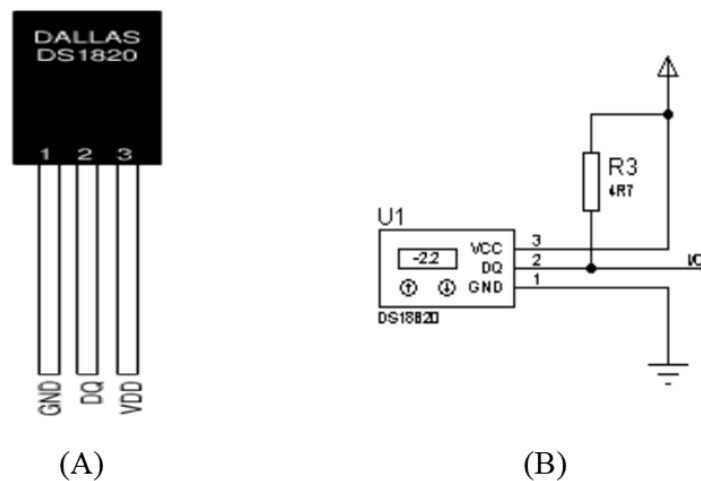
Modul DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang dapat dihubungkan dengan mikrokontroler lewat antarmuka *1-wire* dan dapat mengukur suhu dari rentang -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$ dengan akurasi $\pm 5\%$. Protokol *1-wire* hanya membutuhkan 1 pin I/O untuk mentransmisikan data. Data yang diterima berkisar antara 9 bit hingga 12 bit karena DS18B20 mengikuti protokol *1-wire*. DS18B20 dilengkapi dengan kode serial 64 bit sehingga dapat mengontrol atau mengendalikan sensor melalui satu pin mikrokontroler (Fezari dan Dahoud, 2019).

Sistem pendeteksi suhu berdasarkan DS18B20 berisi tiga modul diantaranya modul pendeteksi dan pemrosesan termometer, modul penampil LCD, dan modul komunikasi serial. Penyusun sistem DS18B20 ditunjukkan pada **Gambar 2.11** (Wu *et al.*, 2011).



Gambar 2.11 Blok diagram penyusunan sistem DS18B20 (Wu *et al.*, 2011).

Modul pendeteksian dan pemrosesan pada **Gambar 2.11** diimplementasikan oleh termometer digital 1-kawat DS18B20 dan komputer mikro chip tunggal AT89C51. Setelah diproses oleh AT89C51, data termal ditampilkan pada LCD1602 dan dikirim ke komputer bagian atas untuk pemantauan jarak jauh melalui bus serial RS232. Modul deteksi dan pemrosesan didasarkan pada deskripsi DS18B20 dan AT89C51. Pin DS18B20 diberikan pada **Gambar 2.12.A**. Pin ini memiliki tiga pin: pin *ground* (GND), pin daya opsional VDD, dan pin *input/output* data DQ. Itu dapat didukung dari jalur data yang disebut sebagai "kekuatan parasit" atau dari catu daya eksternal 3-5.5V. Antarmuka 1 kabel yang unik hanya memerlukan satu pin port (DQ) untuk komunikasi dan tidak ada komponen eksternal. Rangkaian antarmukanya dan AT89C51 ditunjukkan pada **Gambar 2.12.B** (Wu *et al.*, 2011).



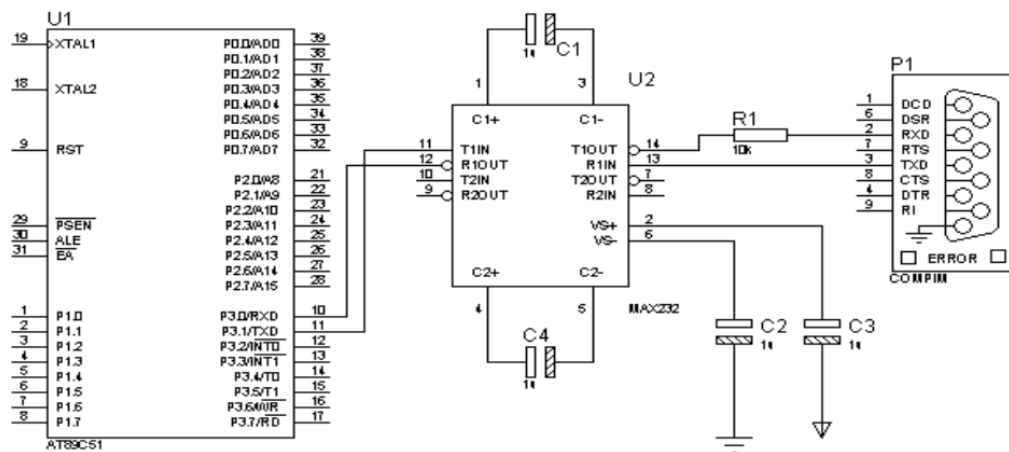
Gambar 2.12 (A) Konfigurasi pin DS18B20 dan (B) Rangkaian antarmuka AT89C51 dan DS18B20 (Wu *et al.*, 2011).

Komponen inti dari DS18B20 adalah sensor suhu *direct-to-digital* yang menyediakan pembacaan suhu 9 hingga 12-bit (dapat dikonfigurasi) yang menunjukkan suhu perangkat. Secara default, resolusinya adalah 12-bit dengan rentang suhu dari -55°C hingga $+125^{\circ}\text{C}$. Karena setiap DS18B20 berisi nomor seri silikon yang unik, beberapa DS18B20 dapat dilampirkan ke 1-wire yang sama, fitur semacam itu sangat berguna untuk membangun jaringan sensor untuk pendeteksian suhu terdistribusi dan pemantauan proses (Wu *et al.*, 2011).

Modul layar LCD menggunakan LCD1602 untuk memfasilitasi tampilan titik data suhu. RS, RW dan E dari LCD1602 masing-masing terhubung ke P2.0, P2.1 dan P2.2 dari AT89C51. Dengan menyeting "1" atau "0" ke ketiga pin ini, kita dapat

mencapai pembacaan dan penulisan LCD. Bus data dupleks 8-bit (D0-D7) LCD1602 terhubung ke P0 (P0.0-P0.7) AT89C51 untuk pengiriman data (Wu *et al.*, 2011).

Modul antarmuka salah satu aliran data akan mengalir melalui komunikasi serial RS232 ke komputer bagian atas untuk pemantauan jarak jauh. Titik kunci di sini adalah konversi level listrik karena AT89C51 menerapkan level TTL saat komputer dikonfigurasi dengan antarmuka serial standar RS232. Kami menggunakan chip MAX232 dari MAXIM Company sebagai perangkat konversi level. Rangkaian antarmuka antara keduanya ditunjukkan pada **Gambar 2.13** (Wu *et al.*, 2011).

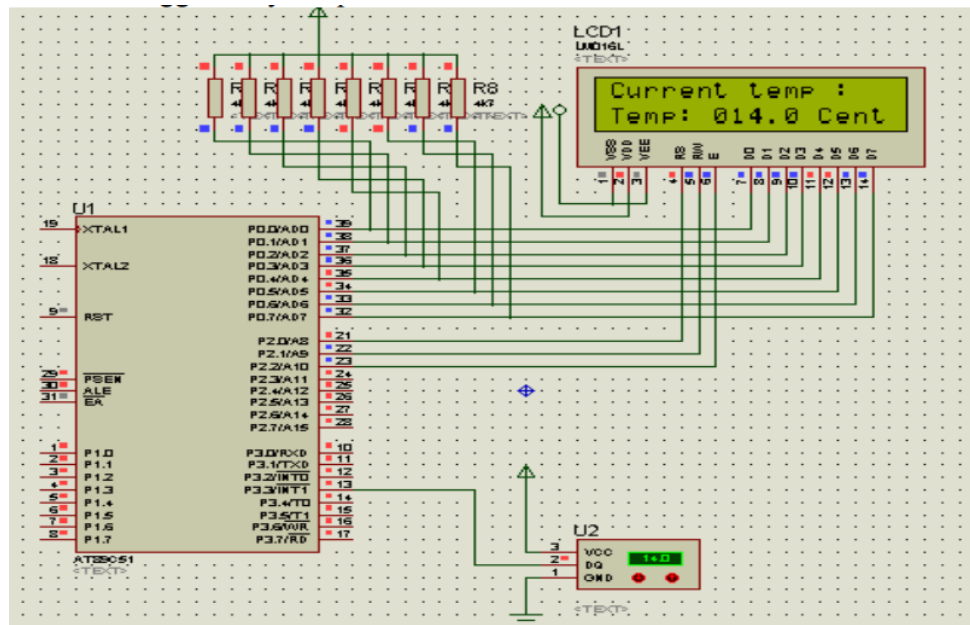


Gambar 2.13 Rangkaian antarmuka antara AT89C51 dan serial port (Wu *et al.*, 2011).

Rangkaian pompa muatan yang terdiri dari 1-6 pin dan empat kapasitor digunakan untuk menghasilkan daya +12V dan -12V untuk antarmuka RS232. Data TTL/CMOS dari AT89C51 dikirim ke konektor DB9 melalui satu set saluran data MAX232. Memanfaatkan komunikasi serial Active X Mscmm, data suhu ditampilkan dalam bingkai teks yang merupakan salah satu kontrol umum perangkat lunak Visual Basic 6.0 setelah diterima dari antarmuka serial (Wu *et al.*, 2011).

Rangkaian keseluruhan Sistem dan simulasi digambarkan pada **Gambar 2.14**, kerangka kerja perangkat keras dan simulasi secara keseluruhan terdiri dari deteksi, tampilan langsung dan modul pemantauan jarak jauh. Simulasi dilakukan di bawah perangkat lunak PROTEUS. File HEX dari prosedur perangkat lunak

berhasil dikompilasi dalam perangkat lunak pemrograman Uvision3 kemudian disematkan di AT89C51. Data suhu yang terdeteksi oleh DS18B20 ditampilkan pada LCD1602, akan diperbarui dengan perubahan suhu luar yang dipicu oleh nilai parameter DS18B20 dalam simulasi ini (Wu *et al.*, 2011).



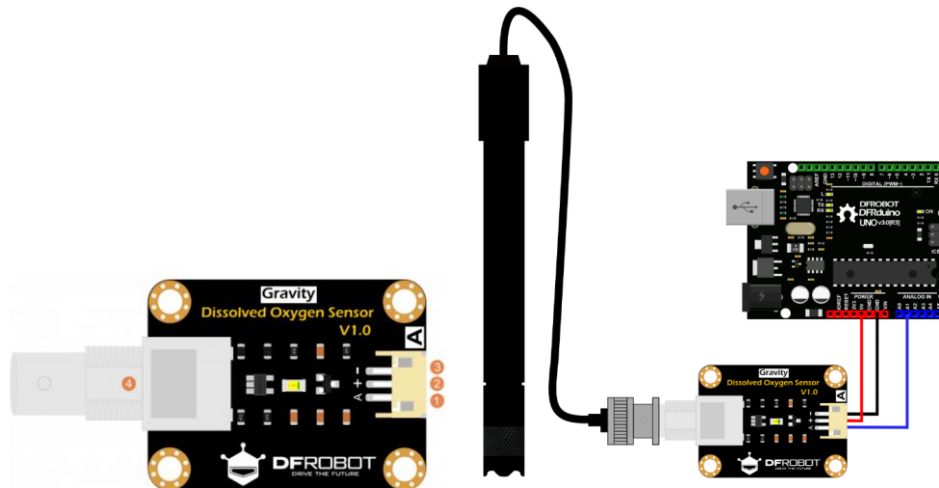
Gambar 2.14 Rangkaian keseluruhan dan simulasi sistem DS18B20 (Wu *et al.*, 2011).

2.5 Modul SEN0237

Modul SEN0237 merupakan sensor DO yang mengukur kadar oksigen terlarut atau oksigen bebas di dalam air. Terukurnya kadar oksigen pada elektroda terjadi karena adanya reaksi antara oksigen dengan elektron pada katoda sehingga jumlah elektron berbanding lurus dengan kadar oksigen. Sensor DO tipe *polarographic* menggunakan teknologi elektrokimia yang dikenal sebagai elektroda Clark. Indikator DO dalam air memainkan peran penting dalam perkembangan hewan air. Untuk mengukur indikator ini digunakan modul sensor DO SKU SEN0237 yang dikembangkan oleh DFRobot seperti pada **Gambar 2.15** (Huy *et al.*, 2020).

Terdapat dua komponen utama dari sensor ini. Pertama adalah probe galvanik, tidak perlu waktu polarisasi, dan tetap tersedia kapan saja. Larutan pengisi dan tutup membran dapat diganti, yang berarti biaya perawatan rendah. Rentang pengukuran DO adalah 0-20 ppm, waktu respons 90 detik, rentang tekanan kerja

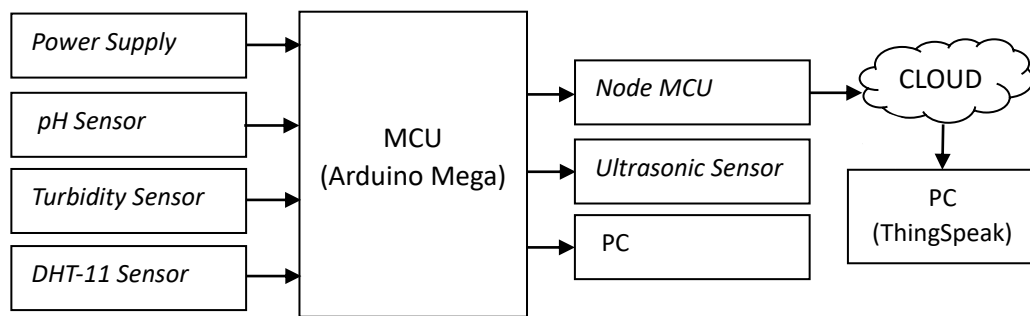
0-50Psi, dan panjang kabel penghubung 2 m. Kedua adalah papan konverter sinyal 42x32mm yang plug and play dan memiliki kompatibilitas yang baik. Ini dapat dengan mudah diintegrasikan ke dalam sistem kontrol atau pendeteksi apa pun, tegangan operasi 3,3-5V, sinyal keluaran 0–3V (Huy *et al.*, 2020).



Gambar 2.15 Sensor DO (Huy *et al.*, 2020).

2.6 Modul Analog pH

Modul *Wi-Fi* ESP8266 (NodeMCU) merupakan sistem *roposed* menggunakan empat sensor yaitu pH, kekeruhan, ultrasonik, DHT-11, unit mikrokontroler sebagai modul pengolah utama dan satu modul transmisi data. Unit mikrokontroler adalah bagian penting dari sistem yang dikembangkan untuk pengukuran kualitas air karena Arduino Mega mengkonsumsi daya yang rendah, dan ukurannya kecil, di mana ukurannya bagus digunakan untuk kriteria teknologi *point-of-sale* yang penting. Di antara empat sensor, dua sensor mengumpulkan data dalam bentuk sinyal analog; MCU memiliki ADC *on-chip* yang menerjemahkan sinyal analog sensor ke dalam format digital untuk studi lebih lanjut. Jadi, untuk mendapatkan keluaran analog dari sensor ini, keluaran analog sensor akan dihubungkan ke pin analog MCU. Sedangkan *output* dua sensor lainnya langsung terhubung ke pin digital unit MCU. Semua data sensor diproses oleh MCU dan diperbarui ke server ThingSpeak menggunakan modul komunikasi data *Wi-Fi* ESP8266 (NodeMCU) ke server pusat (Daigavane dan Gaikwad, 2017). Diagram blok sistem yang diusulkan untuk pengukuran kualitas air ditunjukkan pada **Gambar 2.16** (Pasika dan Gandla, 2020).



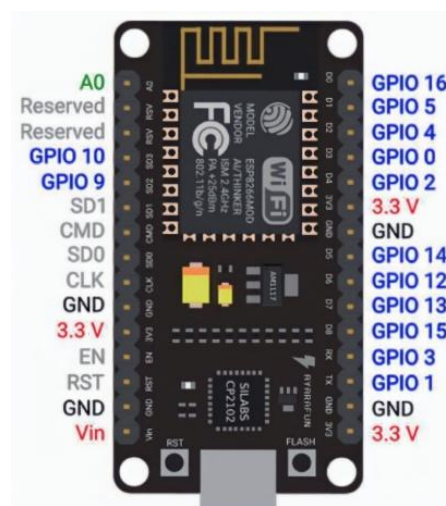
Gambar 2.16 Sistem diagram blok pengukuran kualitas air (Pasika dan Gandla, 2020).

Seluruh sistem dirancang dalam Embedded-C dan mensimulasikan kode tertulis menggunakan Arduino IDE. Untuk mengumpulkan data pH, kekeruhan, ketinggian air, suhu, dan kelembaban atmosfer sekitar, sistem pemantauan kualitas air menggunakan sensor (Doni *et al.*, 2018). Pengguna yang berwenang dapat mengakses data ini menggunakan ID pengguna dan kata sandi untuk mengakses data di *server* ThingSpeak dengan masuk ke akun mereka. Informasi dikumpulkan, disimpan, dianalisis, dan dikirim secara *real-time* (Pasika dan Gandla, 2020).

ESP8266 adalah modul *Wi-Fi* berbiaya rendah yang terdiri dari *chip Wi-Fi stack* TCP/IP penuh dan chip mikrokontroler yang diproduksi oleh M/S Espino. Kode *mem-boot* dari *flash* eksternal secara langsung selama pemrosesan program, sehingga meningkatkan kinerja sistem dan persyaratan penyimpanan karena kapasitas *cache* yang dioptimalkan. ESP8266 menggunakan pin *transceiver serial* Tx dan Rx untuk mengirim dan menerima data, untuk mengubah pengaturan modul nirkabel, untuk mengubah perintah permintaan serial. Dua pin (Tx/Rx) diperlukan untuk berkomunikasi, tetapi hanya terpasang, antara modul *Wi-Fi* dan mikrokontroler tetapi terhubung secara berlawanan. Sangat mudah untuk mengatur aplikasi IoT melalui modul *Wi-Fi* melalui SPI dan UART (Pasika dan Gandla, 2020).

NodeMCU ESP8266 merupakan platform *open source* yang memberikan fleksibilitas untuk membangun aplikasi berbasis IoT dan fitur yang mendukung *Wi-Fi*. NodeMCU menyediakan Node.js (*platform runtime JavaScript*) yang mengurangi waktu pemrosesan untuk melakukan tugas dan menggunakan skrip

Lua sehingga perangkat bekerja lebih cepat (Vishwakarma *et al.*, 2019). NodeMCU diprogram dengan Arduino IDE yaitu sebuah *compiler* Arduino dimana pengembangan KIT (Komponen Instrumen Terpadu) mendukung pembuatan prototipe produk IoT menggunakan Bahasa pemrograman dengan dasar pengembangan KIT adalah modul ESP8266 yang mengintegrasikan GPIO (*General Purpose Input Output*), PWM (*Pulse Width Modulation*), IIC (*Inter-Integrated Circuit*), 1-wire dan ADC (*Analog to Digital Converter*). NodeMCU memiliki konektor USB (mini USB) untuk mempermudah pemrograman. NodeMCU merupakan modul platform ESP-12 IoT (*Internet of Things*). NodeMCU ESP8266 memiliki *built-in converter* analog ke digital dengan ADC 10-bit dan 1-wire ADC (Aziz dan Zahra, 2023). Modul NodeMCU ESP8266 dapat dilihat pada **Gambar 2.17** dan spesifikasi NodeMCU ESP8266 dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.



Gambar 2.17 NodeMCU ESP8266 (Vishwakarma *et al.*, 2019).

Tabel 2.2 Spesifikasi NodeMCU ESP8266.

No.	Parameter	Deskripsi
1.	Ukuran NodeMCU	49 mm x 26 mm
2.	Frekuensi <i>Clock</i>	80 MHz
3.	<i>Flash drive to serial</i>	CP2102
4.	<i>Flash drive to connector</i>	Micro USB
5.	Tegangan operasional	3,3 V
6.	Tegangan masukan	4,5-10 V
7.	Ukuran memori	4 MB/64MB
8.	Pin digital I/O	11
9.	<i>Input analog</i>	1
10.	Jangkauan ADC	0-3,3 V
11.	Port peripheral UART/SPI/I2C	1/1/1
12.	<i>Wi-Fi</i>	802.11 b/g/n
13.	Rentang Suhu	-40 °C-125 °C

pH ion hidrogen adalah ukuran negatif. Perhitungan tersebut merupakan uji penyeimbang keasaman atau kandungan basa dari ion hidrogen dalam air (Cloete *et al.*, 2014). Sumber pH alami untuk air adalah sekitar 7; pH berkisar antara 6,5 hingga 9,5 yang dapat dianggap sebagai air yang aman untuk diminum (Bande dan Nandedkar, 2016). Sumber pH rendah (0) untuk larutan asam dan tinggi (14) untuk larutan basa. Untuk setiap kenaikan beberapa nilai pH, konsentrasi ion hidrogen berkurang sepuluh kali lipat, dan air menjadi kurang asam. Sensor pH memiliki elektroda pengukuran dan referensi. Ion hidrogen peka terhadap pengukuran elektroda yang memiliki potensi yang terkait langsung dengan konsentrasi ion larutan hidrogen. Ketegangan diferensial listrik tergantung pada suhu sehingga sensor suhu juga diperlukan untuk mengoreksi pergeseran tegangan (Myint *et al.*, 2017).

Dua bidang hasil server ThingSpeak diperbarui dengan nilai yang sesuai. Server diperbarui setiap 20 detik. *Infield 1* tegangan air sedang dihitung dari sensor dan diperbarui. Sedangkan di bidang 2 nilai pH air sedang diperbarui. Menurut persamaan Nernst, seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1, pH air berbanding lurus dengan tegangan air.

$$E = E^o + (RT/zF) pH \quad (2.1)$$

Dalam Persamaan 2.1, E adalah potensial sel pada kondisi yang berlaku, E^o adalah potensial sel pada kondisi suhu dan tekanan standar, R adalah konstanta gas universal, T adalah temperatur, z adalah jumlah mol listrik yang dipindahkan reaksi, dan F adalah konstanta Faraday. Tegangan air berbanding lurus dengan nilai pH air (Pasika dan Gandla, 2020).

2.7 Mikrokontroler Arduino Uno

Mikrokontroler Arduino bersifat *open source* yang dapat diprogram dengan mudah dan dapat diperbarui kapan saja. Arduino pertama kali diperkenalkan pada tahun 2005. Mikrokontroler Arduino pada awalnya dirancang untuk para profesional dan pelajar untuk mengembangkan perangkat yang dapat berinteraksi dengan lingkungan menggunakan sensor. Mikrokontroler Arduino memiliki *input* dan *output* yang dapat digunakan untuk mendapatkan informasi dan berdasarkan data yang diterima Arduino dapat mengirimkan *output*. Mikrokontroler Arduino

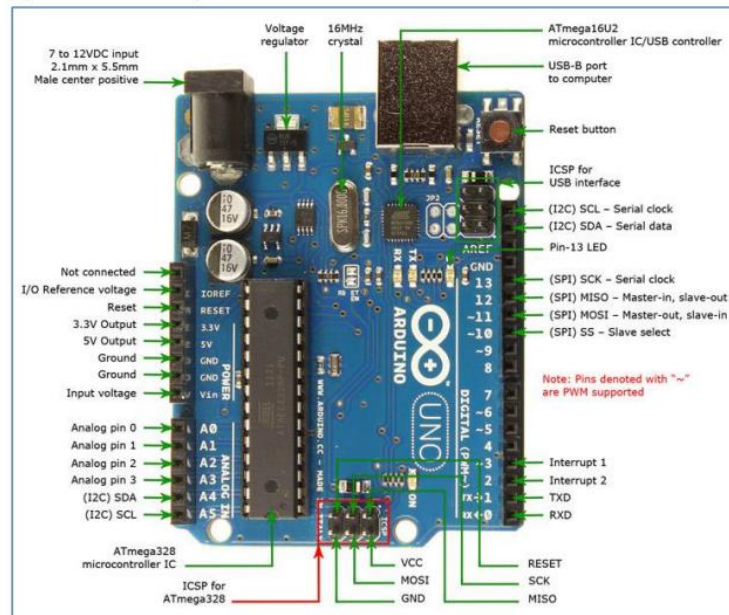
juga dapat mengirim dan menerima data melalui internet menggunakan permintaan HTTP. Mikrokontroler sederhana yang dapat terhubung ke internet adalah Esp board (Ismailov dan Jo'rayev, 2022).

Mikrokontroler ESP dapat dihubungkan ke server *Wi-Fi* atau mereka dapat bertindak sebagai server *Wi-Fi*. Platform Arduino dapat dibagi menjadi dua: perangkat keras dan perangkat lunak. Arduino menggunakan perangkat keras yang dikenal sebagai papan pengembangan Arduino. Perangkat lunak Arduino untuk mengembangkan kode dikenal sebagai Arduino IDE (*Integrated Development Environment*). Dibangun dengan mikrokontroler Atmel AVR 8-bit yang dibuat oleh Atmel atau ARM Atmel 32-bit, mikrokontroler ini dapat diprogram dengan mudah menggunakan bahasa C atau C++ di Arduino IDE. Ada banyak papan mikrokontroler Arduino yang tersedia di pasaran. Menggunakan papan Arduino yang tepat tergantung pada permintaan proyek sedikit riset. Setiap board Arduino memiliki spesifikasi dan kemampuan yang berbeda (Ismailov dan Jo'rayev, 2022).

Hardware Mikrokontroler Arduino terdiri dari banyak komponen seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.18**. Berikut adalah beberapa komponen utama dan fungsinya:

1. Mikrokontroler: Ini adalah otak dari papan pengembangan yang dapat menerima dan mengirimkan informasi atau perintah ke perangkat periferal yang terhubung dengannya. Mikrokontroler berbeda dari papan ke papan; itu juga memiliki berbagai spesifikasi;
2. External Power Supply: Power supply ini digunakan untuk menenagai mikrokontroler Arduino dengan tegangan DC mulai dari 9-12 Volt;
3. Colokan USB: Colokan ini merupakan port yang sangat penting dalam board Arduino. Ini digunakan untuk mengunggah program ke mikrokontroler menggunakan kabel USB. Kabel USB memiliki daya DC 5V yang memberi daya pada papan Arduino jika Catu Daya Eksternal tidak ada;
4. Pemrogram Internal;
5. Tombol Atur ulang;
6. Pin Analog: Pin ini digunakan untuk *input/output* analog. Jumlah pin analog juga bervariasi dari papan ke papan;

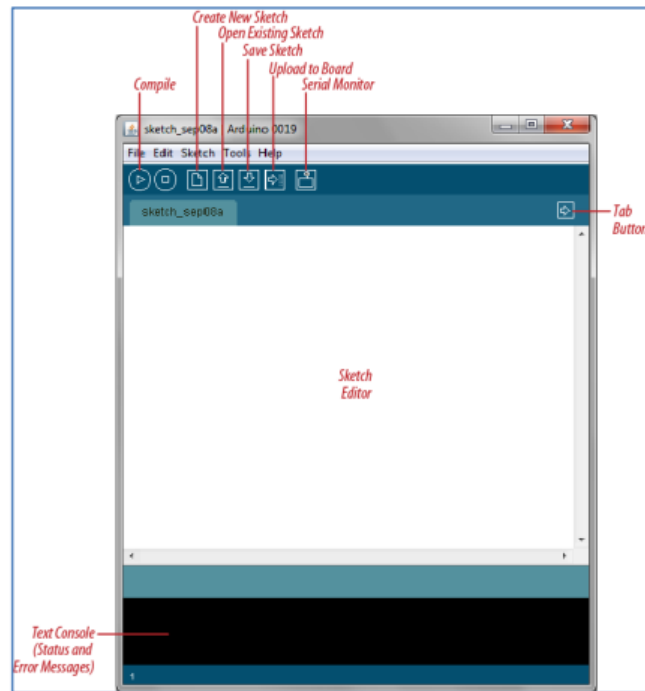
7. Pin I/O Digital: Pin ini digunakan untuk *input/output* digital. Jumlah pin digital ini juga bervariasi dari papan ke papan;
8. Pin Power dan GND: Ada pin pada papan pengembangan yang menyediakan 3,3-5 Volt dan ground melaluinya.



Gambar 2.18 Diagram berlabel dari Papan Arduino dan IDE (Ismailov dan Jo'rayev, 2022).

Perangkat lunak kode program yang ditulis untuk papan Arduino juga disebut sketsa. Perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan sketsa tersebut untuk Arduino adalah Arduino IDE. Arduino IDE ini berisi bagian-bagian berikut di dalamnya seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.19**:

1. *Editor* teks: di sinilah kode pemrograman dapat ditulis dalam bahasa pemrograman C/C++;
2. Area pesan: ini menampilkan kesalahan dan memberikan umpan balik untuk menyimpan dan mengeksport kode;
3. Teks: konsol menampilkan keluaran teks dari lingkungan Arduino termasuk pesan kesalahan lengkap dan informasi lainnya;
4. *Console toolbar*: *toolbar* ini memiliki beberapa tombol seperti *compile*, *upload*, *new*, *open*, *save*, dan *serial monitor*.



Gambar 2.19 Perangkat lunak sketsa Arduino (Ismailov dan Jo'rayev, 2022).

III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar dan Instrumentasi, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung dan kebun.baii sayuran hidroponik, Way Huwi, Jati Agung, Lampung Selatan pada bulan Oktober 2024 sampai dengan Juni 2025.

3.2 Alat dan Bahan Penelitian

3.2.1 Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini meliputi perangkat lunak dan perangkat keras sebagai berikut:

1. PC (*Personal Computer*), digunakan untuk mengolah pemrograman dan pembuatan laporan penelitian;
2. Multimeter, digunakan untuk mengukur besaran elektrik;
3. *Software Excel*, digunakan untuk membuat grafik data hasil pengukuran;
4. *Software fritzing*, digunakan untuk membuat desain rangkaian PCB (*Printed Circuit Board*); dan
5. Perlengkapan untuk membuat rangkaian pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman seperti solder, bor listrik dan sebagainya.

3.2.2 Bahan Penelitian

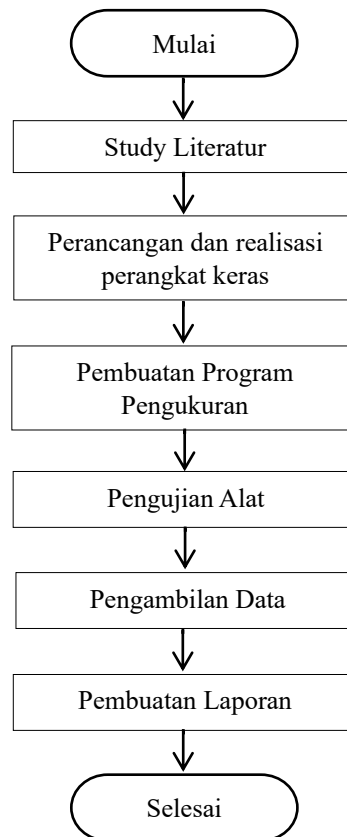
Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Power supply*, digunakan sebagai sumber tegangan;
2. Modul DS18B20, digunakan untuk mengukur dan mendeteksi suhu;
3. Modul analog DO, digunakan untuk mengukur dan mendeteksi kadar oksigen terlarut;
4. Modul pH V1.1 meter kit, digunakan untuk mengukur dan mendeteksi kadar pH;

5. Modul Arduino Uno, sebagai mikrokontroller;
6. Modul NoduMCU ESP8266 V3 Lua CH340 *Wi-Fi*, digunakan sebagai penghubung internet;
7. Modul L298N, sebagai *motor driver*; dan
8. Pompa air, digunakan untuk memompa air.

3.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dibagi menjadi beberapa bagian, yaitu perancangan pembuatan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*) dan pengujian alat pengukuran. Langkah yang dilakukan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 3.1**.



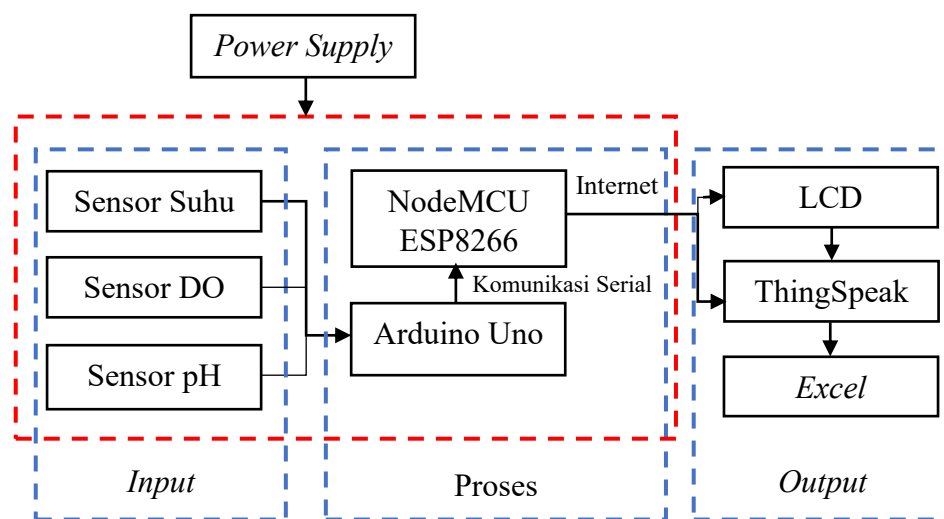
Gambar 3.1 Diagram alir penelitian

Gambar 3.1 menunjukkan langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini, langkah pertama, dimulai pada tahap persiapan dengan mempelajari konsep yang terkait dalam pembuatan sistem pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik serta pembuatan program IoT untuk pengukuran data secara

real-time. Langkah kedua, yaitu pembuatan perangkat keras sistem dan pembuatan perangkat lunak IoT. Langkah ketiga, yaitu pengujian kinerja alat dan pengambilan data suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik.

3.4 Perancangan Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah *power supply*, modul DS18B20, modul DO, modul pH, modul Arduino Uno, dan modul NodeMCU ESP8266 *Wi-Fi*. Diagram blok rancangan sistem pengukuran dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.

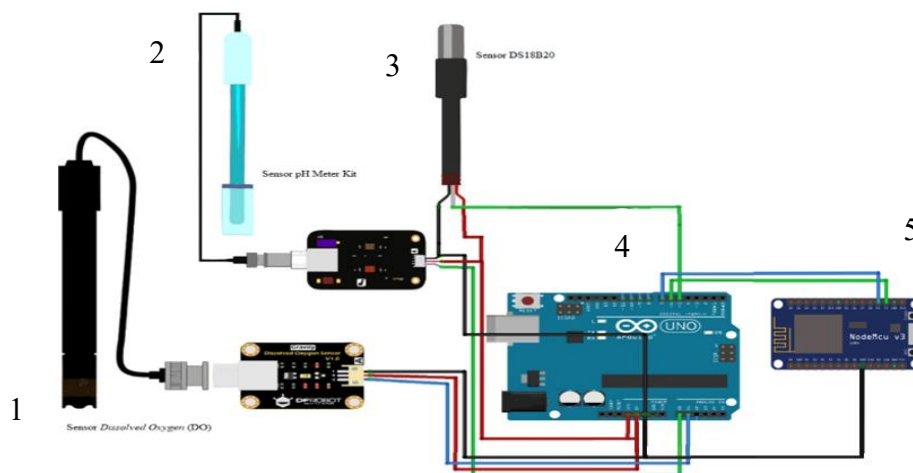


Gambar 3.2 Diagram blok penelitian.

Gambar 3.2 merupakan blok diagram perangkat keras yang terbagi menjadi tiga bagian yaitu *input*, proses dan *output*. *Input* pada diagram blok terdiri dari sensor suhu, sensor DO dan sensor pH. Proses pada diagram blok terdiri dari modul Arduino Uno dan modul NodeMCU ESP8266. Bagian *input* dan proses dihubungkan *power supply*. *Output* pada diagram blok terdiri dari ThingSpeak dan *excel*. Sensor suhu digital DS18B20 digunakan untuk mengukur dan mendeteksi suhu air pada tanaman hidroponik, sensor analog DO digunakan untuk mengukur dan mendeteksi oksigen terlarut dalam air tanaman hidroponik dan sensor pH digunakan untuk mengukur dan mendeteksi pH air pada tanaman hidroponik. NodeMCU ESP8266 digunakan sebagai modul sebagai modul *Wi-Fi* untuk menghubungkan Arduino dengan internet.

Pengambilan data penelitian ini dengan cara memasukkan sensor pada saat melakukan pengukuran. Sensor pH dan DO, menghasilkan keluaran berupa data analog yang kemudian dihubungkan pada pin analog *input* pada Arduino Uno sedangkan sensor suhu DS18B20 menghasilkan keluaran berupa data digital yang dapat langsung terbaca oleh Arduino dengan menghubungkan pin data *output* sensor ke pin digital *input* Arduino Uno.

Pengukuran parameter kualitas air pada tanaman hidroponik dilakukan oleh ketiga sensor (suhu, oksigen terlarut dan pH). Pengukuran dilakukan berdasarkan waktu pengambilan data yaitu pagi, siang dan sore hari. Data keluaran dari ketiga sensor diproses oleh Arduino Uno. Selanjutnya *output* data ketiga sensor dikirim ke ThingSpeak menggunakan modul *Wi-Fi* NodeMCU ESP8266 dan dapat diakses menggunakan *smartphone*/PC. Rangkaian perangkat keras dari sistem pengukuran kualitas air pada tanaman hidroponik ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



Gambar 3.3 Rangkaian perangkat keras (Dokumen Pribadi).

Keterangan:

1. Sensor DO;
2. Sensor pH;
3. Sensor DS18B20;
4. Arduino Uno;
5. NodeMCU ESP8266; dan
6. *Liquid Crystal Display*.

Sambungan pin Arduino Uno dan modul sensor yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

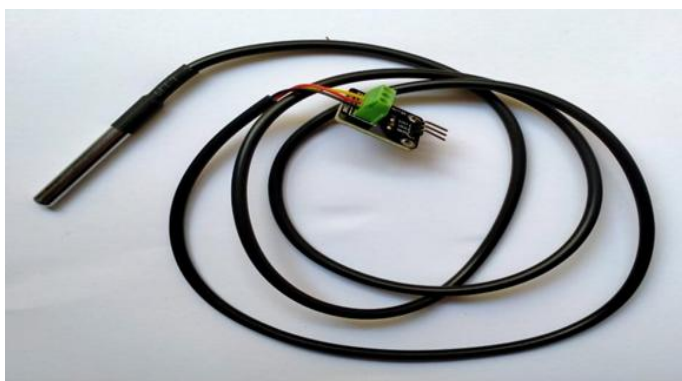
Tabel 3.1 Sambungan pin Arduino Uno dan komponen penunjang

No	Pin Arduino	Pin Komponen
1.	A0	Pin <i>input</i> sensor pH meter kit
2.	A1	Pin <i>input</i> sensor analog DO
3.	D8	Pin <i>input</i> sensor temperatur DS18B20
4.	D3	Pin TX NodeMCU ESP8266
5.	D4	Pin RX NodeMCU ESP8266
6.	A4	Pin SDA LCD
7.	A5	Pin SCL LCD
8.	VCC	VCC LCD
9.	GND	VCC LCD

Rangkaian keseluruhan pada penelitian ini terdiri dari tiga sensor yang digunakan untuk pengambilan data. Secara keseluruhan sensor-sensor dan modul yang digunakan disusun sesuai dengan susunan pin-pin.

3.4.1 Sensor Suhu DS18B20

Sensor suhu DS18B20 berfungsi untuk mengubah besaran panas yang ditangkap menjadi besaran tegangan. Tegangan ideal yang keluar dari DS18B20 mempunyai perbandingan 100 °C setara dengan 1 volt. Sensor DS18B20 *waterproof* pada penelitian ini digunakan sebagai pengukur suhu air pada tanaman hidroponik. DS18B20 memiliki tiga pin yang terdiri dari +5V, *ground* dan data *input/output*. Temperatur sensor DS18B20 beroperasi pada suhu -55 °C hingga +125 °C. Keunggulan DS18B20 yaitu *output* berupa data digital dengan nilai ketelitian 0,5 °C selama kisaran temperatur 10 °C sampai +85 °C sehingga mempermudah pembacaan yang dilakukan oleh mikrokontroller. Sensor DS18B20 dapat dilihat pada **Gambar 3.4**.

**Gambar 3.4** Sensor DS18B20 (Dokumen Pribadi).

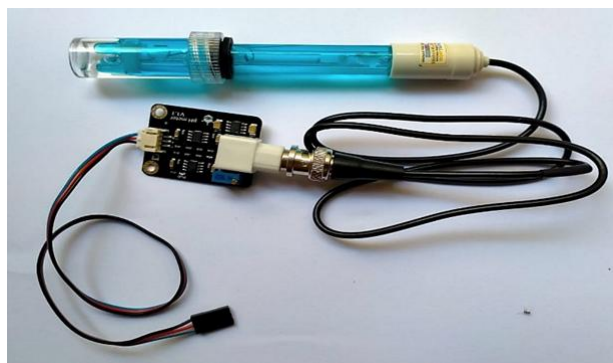
Pengalaman pin-pin sensor DS18B20 pin-pin Arduino Uno dalam pembuatan rangkaian dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2 Pengalaman DS18B20

Pin DS18B20	Pengalaman DS18B20 pada Arduino Uno
<i>Ground</i>	GND
Digital	D8
3-5,5V	5V

3.4.2 Sensor pH Meter Kit

pH meter adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mengukur pH (kadar keasaman atau alkalinitas) atau basa dari suatu larutan. Sifat asam mempunyai pH antara 0 hingga 7 dan sifat basa mempunyai pH antara 7 hingga 14. Prinsip kerja dari alat ini yaitu semakin banyak elektron pada sampel maka akan semakin bernilai asam begitu pun sebaliknya, karena batang pada pH meter berisi elektrolit lemah. Pada penelitian ini, untuk mengukur kadar pH pada air tanaman hidroponik digunakan sensor pH meter kit tipe V1.1 SKU:SEN0161. Sensor pH meter kit yang digunakan memiliki tiga pin yang terdiri dari +5V, *ground* dan *output* data. Sensor pH V1.1. dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.



Gambar 3.5 Sensor pH V1.1 (Dokumen Pribadi).

Pengalaman pin-pin sensor pH V1.1 ke pin-pin Arduino Uno dalam pembuatan rangkaian dapat dilihat pada **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Pengalaman sensor pH

Pin Sensor pH V1.1	Pengalaman Sensor pH V1.1 pada Arduino Uno
<i>Ground</i>	GND
Analog	A0
5V	5V

3.4.3 Sensor Analog DO

Sensor analog DO pada penelitian ini digunakan untuk mengukur kadar oksigen terlarut pada air tanaman hidroponik. Prinsip kerja dari sensor DO ini adalah menggunakan *probe* oksigen yang terdiri dari katoda dan anoda yang direndam dalam larutan. Sensor Analog DO yang digunakan memiliki tiga pin yang terdiri dari +5V, *ground* dan *input* data. Sensor Analog DO dapat dilihat pada **Gambar 3.6**.



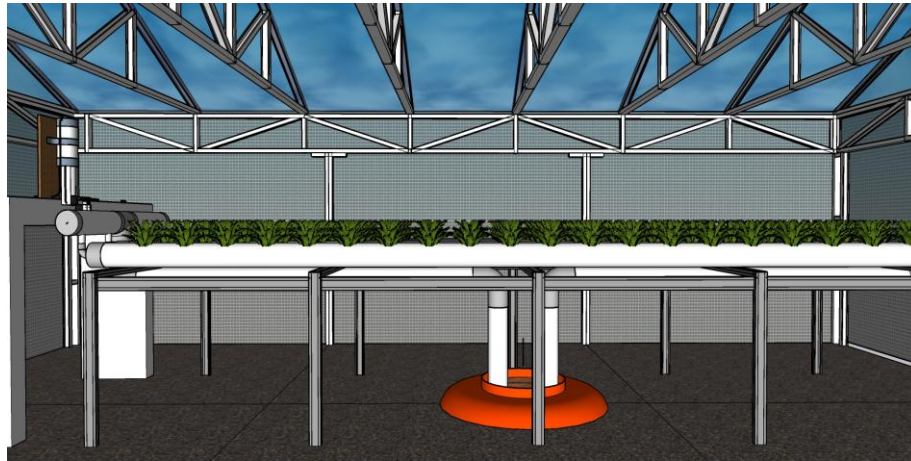
Gambar 3.6 Sensor DO (Dokumen Pribadi).

Pengalaman pin-pin sensor DO ke pin-pin Arduino Uno dalam pembuatan rangkaian dapat dilihat pada **Tabel 3.4**.

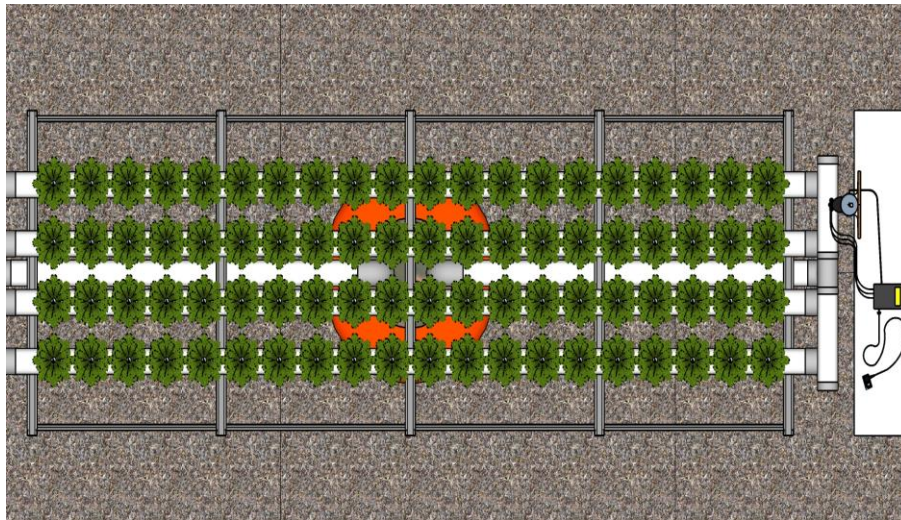
Tabel 3.4 Pengalaman sensor DO.

Pin Sensor DO	Pengalaman Sensor DO pada Arduino Uno
<i>Ground</i>	GND
Analog	A1
5V	5V

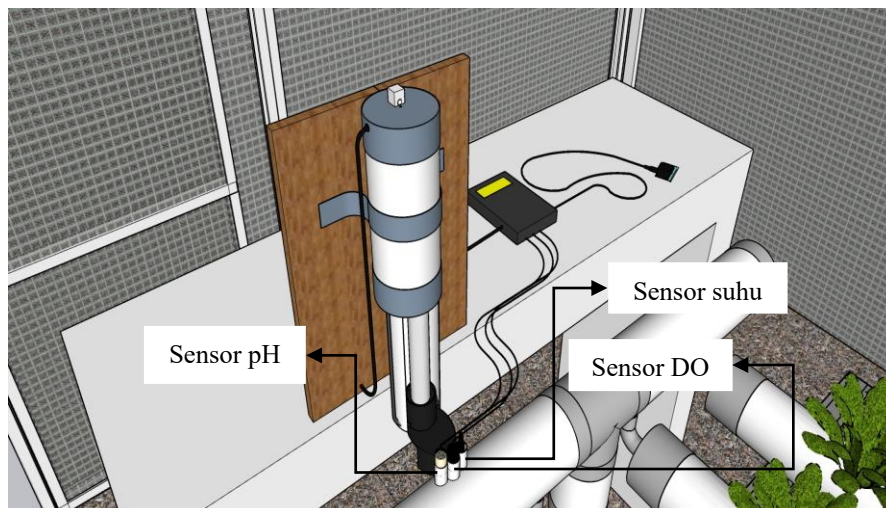
Desain keseluruhan penelitian yang digunakan terdiri dari *power supply* yang digunakan sebagai sumber tegangan, perangkat *hardware* yang terdiri dari sensor yang digunakan untuk mendeteksi suhu, kadar oksigen terlarut dan pH dan LCD untuk melihat data pengukuran. Selain itu terdapat ESP8266 untuk menghubungkan *hardware* dengan *platform* ThingSpeak. Alat pengukuran dilakukan pada tanaman hidroponik yang digunakan sebagai objek penelitian dan tangki air sebagai penyimpanan larutan nutrisi. Desain keseluruhan untuk pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH larutan pada budidaya tanaman hidroponik dapat dilihat pada **Gambar 3.7**.



(a)



(b)

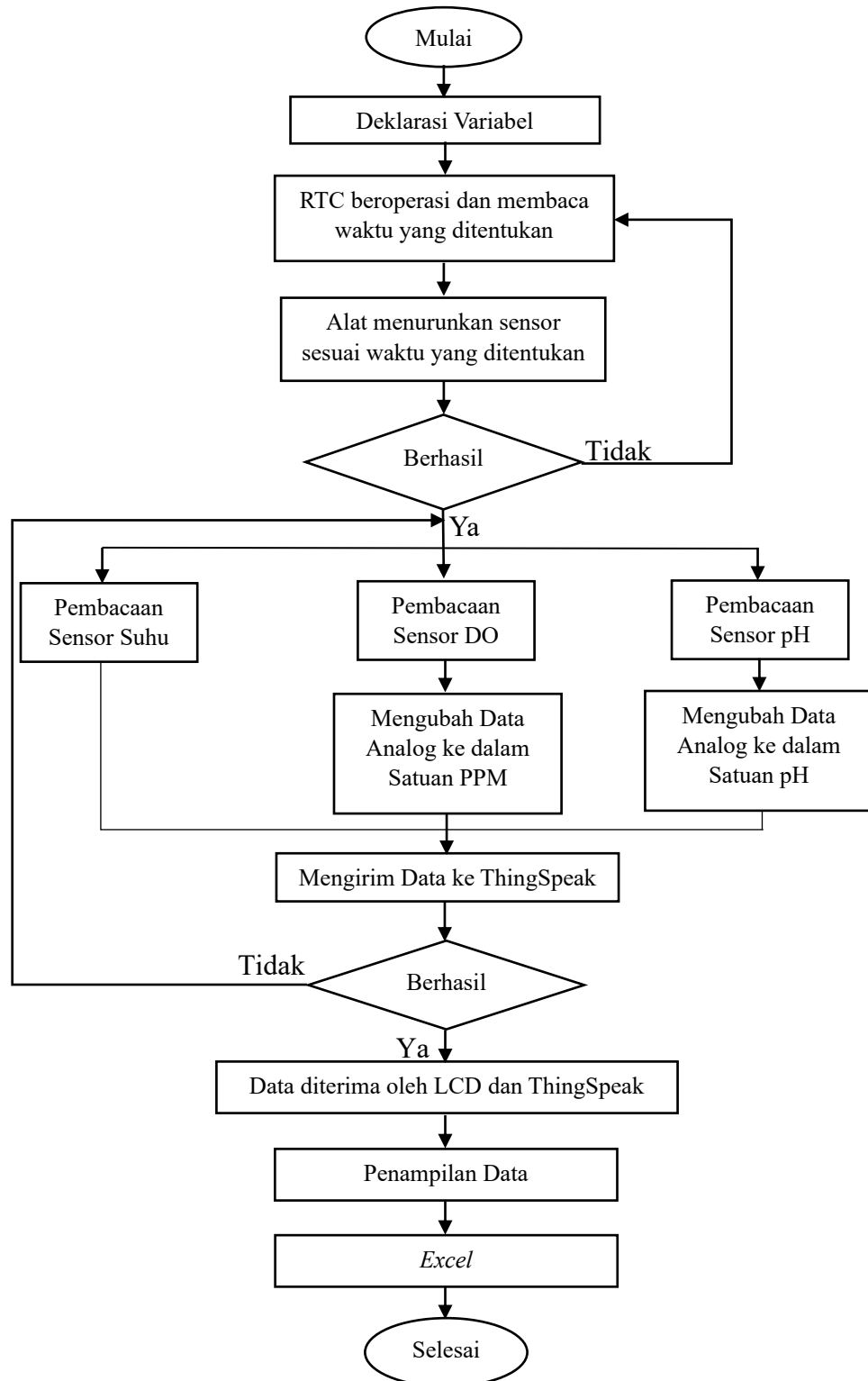


(c)

Gambar 3.7 Desain keseluruhan penelitian tampak (a) depan (b) atas dan (c) *hardware* (Dokumen Pribadi)

3.5 Perancangan Perangkat Lunak

Langkah-langkah yang dilakukan pada perancangan perangkat lunak pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.8**.



Gambar 3.8. Diagram alir perancangan perangkat lunak (*software*).

Gambar 3.8 menjelaskan bahwa perancangan perangkat lunak pada penelitian ini menggunakan program pada aplikasi Arduino IDE yang diteruskan ke ThingSpeak. Program berisikan tiga perintah untuk menjalankan fungsi dari rangkaian perangkat keras. Program pertama melakukan perintah untuk mengambil data kualitas air pada tanaman hidroponik. Program kedua melakukan perintah membaca data dari ketiga parameter dengan sensor kemudian data dikirim melalui modul *Wi-Fi* NodeMCU ESP8266. Program ketiga melakukan perintah menampilkan data yang diterima dan ditampilkan pada ThingSpeak. Tampilan ThingSpeak dapat dilihat pada **Gambar 3.9**.



Gambar 3.9 Tampilan ThingSpeak (Dokumen Pribadi).

Data yang ditampilkan di ThingSpeak berupa grafik dan data kuantitatif akan tersimpan pada *database* ThingSpeak. Selanjutnya data hasil pengukuran dipindahkan ke *excel* untuk mengetahui hubungan suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman pakcoy.

3.6 Pengujian

3.6.1 Pengujian Sensor DS18B20

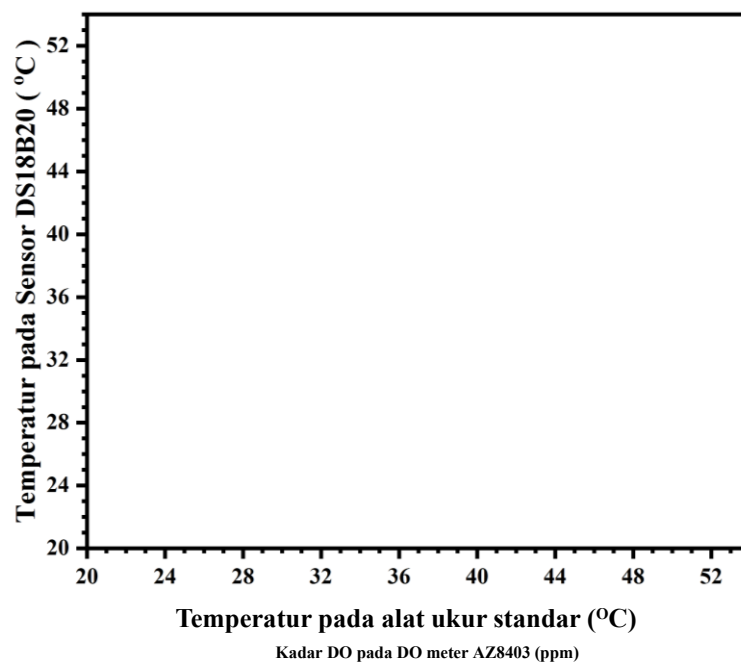
Pengujian sensor DS18B20 dilakukan dengan cara memasukkan sensor kedalam sampel air. Sampel air yang digunakan dari air dengan suhu 30 °C hingga air mencapai suhu 80 °C dan air dengan suhu 80 °C hingga air mencapai suhu 30 °C.

Hasil yang diperoleh oleh sensor DS18B20 akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh Fluke 52 II *Thermometer* (alat ukur standar) dengan menggunakan sampel air yang sama. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa sensor dapat melakukan pengukuran dengan mengetahui tingkat akurasi, kesalahan (*error*) dan presisi dari data hasil pengukuran sensor. Data pengujian yang dilakukan oleh sensor DS18B20 dan Fluke 52 II *Thermometer* dapat dilihat pada **Tabel 3.5**.

Tabel 3.5. Hasil pengujian persamaan linieritas temperatur pada DS18B20.

Suhu pada Fluke 52 II (°C)					Suhu pada Sensor DS18B20 (°C)					Rata-rata Suhu pada Fluke 52 II (°C)	Rata-rata Suhu pada Sensor DS18B20 (°C)
Pengulangan											
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		

Grafik hasil pengujian yang dilakukan oleh sensor DS18B20 dan Fluke 52 II *Thermometer* dapat dilihat pada **Gambar 3.10**.



Gambar 3.10 Grafik hasil pengujian persamaan linieritas temperatur pada sensor DS18B20 terhadap Fluke 52 II *Thermometer* (Dokumen Pribadi).

3.6.2 Pengujian Sensor analog DO

Pengujian sensor DO dilakukan dengan cara memasukkan sensor kedalam beberapa sampel air untuk mengetahui oksigen terlarut pada beberapa sampel air dan hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh DO meter DO9100 dengan menggunakan sampel air yang sama. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa sensor dapat melakukan pengukuran dan mengetahui tingkat akurasi dan *error* dari data hasil pengukuran sensor. Data pengujian yang dilakukan oleh sensor analog DO dan sensor DO meter DO9100 dapat dilihat pada **Tabel 3.6** dan **Tabel 3.7**.

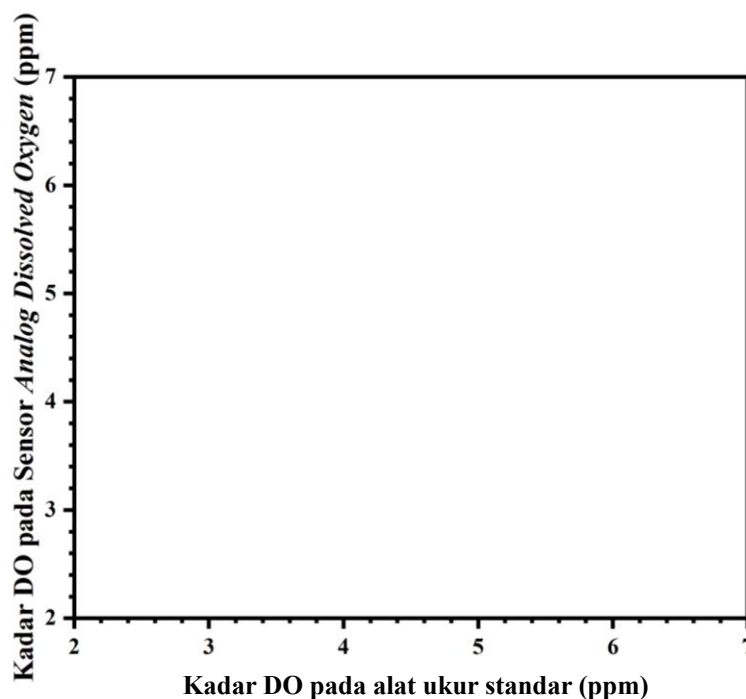
Tabel 3.6 Hasil pengujian tegangan pada sensor analog DO terhadap oksigen

No	Zat Cair	Tegangan Sensor Analog DO (Volt)					Rata-rata (Volt)
		Pengulangan					
		1	2	3	4	5	
1.	Air Kemasan						
2.	Air Hujan						
3.	Air Sumur						
4.	Air PDAM						
5.	Air Sungai						
6.	Air Laut						
7.	Air Comberan						

Tabel 3.7 Hasil pengujian sensor analog DO terhadap DO meter DO9100.

No	Zat Cair	Kadar DO pada DO9100 (ppm)					Kadar DO pada Sensor Analog DO (ppm)					Rata-rata Kadar DO pada DO9100 (ppm)	Rata-rata Kadar DO pada Sensor Analog DO DFRobot (ppm)
		Pengulangan											
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5		
1.	Air Kemasan												
2.	Air Hujan												
3.	Air Sumur												
4.	Air PDAM												
5.	Air Sungai												
6.	Air Laut												
7.	Air Comberan												

Grafik hasil pengujian yang dilakukan oleh sensor analog DO DFRobot dan sensor DO meter DO9100 dapat dilihat pada **Gambar 3.11**.



Gambar 3.11 Grafik hasil pengujian persamaan linieritas sensor analog DO terhadap sensor DO meter DO9100 (Dokumen Pribadi).

3.6.3 Pengujian Sensor pH meter kit V1.1

Pengujian sensor pH meter kit V1.1 dilakukan dengan cara memasukkan sensor kedalam larutan *buffer* dengan pH 4, 7, 9 dan 10. Setelah itu hasil pengukuran akan dibandingkan dengan larutan *buffer*. Pengujian ini dilakukan untuk membuktikan bahwa sensor dapat melakukan pengukuran dengan mengetahui tingkat akurasi dan *error* dari data hasil pengukuran sensor. Data pengujian yang dilakukan oleh sensor pH meter kit dan larutan penyangga dapat dilihat pada **Tabel 3.8** dan **Tabel 3.9**.

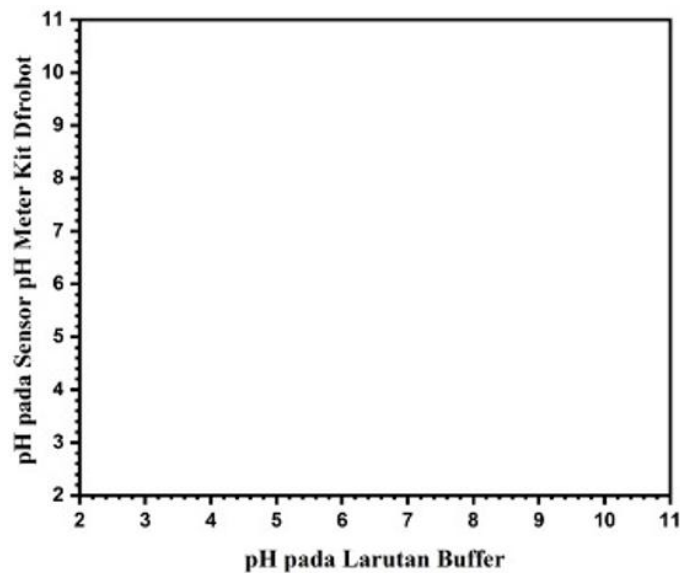
Tabel 3.8 Hasil pengujian tegangan pada sensor analog pH terhadap larutan penyangga

No	Nilai pH	Tegangan Sensor pH meter V1.1 (Volt)					Rata-rata (Volt)
		Pengulangan					
		1	2	3	4	5	
1.	4						
2.	7						
3.	9						
4.	10						

Tabel 3.9 Hasil pengujian persamaan linieritas pH pada sensor pH meter kit Dfrobot

No	Larutan Buffer	pH					Rata-rata Sensor pH meter V1.1 DFRobot
		Sensor pH meter V1.1 DFRobot					
		Pengulangan					
		1	2	3	4	5	
1.	4						
2.	7						
3.	9						
4.	10						

Grafik hasil pengujian yang dilakukan oleh sensor pH meter kit dan larutan penyangga dapat dilihat pada **Gambar 3.12**.



Gambar 3.12 Grafik hasil pengujian persamaan linieritas sensor pH meter kit terhadap larutan penyangga (Dokumen Pribadi).

3.6.4 Perhitungan Nilai Akurasi dan *Error*

Perhitungan nilai akurasi, kesalahan (*error*) dan presisi bertujuan untuk mengetahui ketelitian alat dengan alat ukur sebenarnya. Perhitungan rumus akurasi, kesalahan dan presisi dapat dilihat pada **Persamaan 3.1**.

$$\%Akurasi = 100\% - \%Error \quad (3.1)$$

$$\%Error = \left| \frac{Y - X_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\%Presisi = \left(1 - \left| \frac{X_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \right) \times 100\% \quad (3.3)$$

Keterangan:

Y = Nilai parameter referensi;

X_n = Nilai parameter terukur ke-n; dan

$\bar{X}_n$ = Rata-rata nilai parameter n terukur (Jones dan Chin, 1991).

3.7 Pengambilan Data

Pengukuran kualitas air pada tanaman hidroponik dilakukan dengan mengukur parameter suhu, oksigen terlarut dan pH. Pengukuran dilakukan secara *real-time* pada pagi dan malam hari selama 10 hari. Tabel data hasil pengukuran kualitas air dapat dilihat pada **Tabel 3.10**.

Tabel 3.10 Hasil pengukuran kualitas air tanaman hidroponik.

No	Waktu Pengambilan (WIB)	Parameter		
		Suhu (°C)	pH	DO (ppm)
1	Pagi (10.00 – 11.00)			
2	Malam (22.00 – 23.00)			

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil monitoring serta penyimpanan data hasil pengukuran suhu, oksigen terlarut dan pH pada tanaman hidroponik berbasis ThingSpeak, maka dapat diambil Kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem monitoring kualitas air serta data hasil pengukuran berhasil disimpan pada database ThingSpeak dengan baik. Sistem juga mampu menampilkan data secara *real-time* pada LCD 16x2; dan
2. Alat monitoring mampu mengukur suhu (rendah ke tinggi) dan suhu (tinggi ke rendah) dengan ralat sebesar 0,53 % dan akurasi sebesar 99,46 % dan suhu (tinggi ke rendah) dengan ralat sebesar 0,87 % dan akurasi 99,12 %. pH dengan ralat sebesar 6,25 % dan nilai akurasi sebesar 93,75 %. Sedangkan kadar oksigen terlarut dengan ralat sebesar 9,25 % dan nilai akurasi sebesar 90,71 %.

5.2 Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan sistem kontrol untuk sensor pH V1.1 agar pH selalu berada di batas normal;
2. Menggunakan komponen *buzzer* atau lampu sebagai penanda jika pH berada dibatas ambang; dan
3. Menggunakan *microSD* sebagai cadangan penyimpanan data jika koneksi *wi-fi* tidak stabil dan terputus.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, N., Yamika., W.S.D., dan Ulum, B. 2019. Effect of Nutrient Concentration, PGPR and AMF on Plant Growth, Yield and Nutrient Uptake of Hydroponics Lettuce. *International Journal of Agriculture and Biology*. Vol. 21. No. 1. Hal. 175-183.
- Al_Barazanchi, I., Abdulshaheed, H.R., Shibghatullah, A. 2019. The Communication technologies in WBAN. *Journal of Advanced Science and Technology*. Vol.28. No. 8. Hal: 543-549.
- Bande, P.N. dan Nandedkar, S. 2016. Low Cost Sensor Network for Real Time Water Quality Measurement System. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. Vol. 5. No. 12. Hal. 20691-20696.
- Chowdhury, M.E.H., Khandakar, A., Ahmed, S., Al-Khuzaei, F., Hamdalla, J., Haque, F., Reaz, M.B.I., Shafei, A.A., dan Al-Emadi, N .2020. Design, Construction and Testing of IoT Based Automated Indoor Vertical Hydroponics Farming Test-Bed in Qatar. *Sensor*. Hal. 1-24.
- Cloete, N.A., Malekian, R., dan Nair, L. 2014. Design of Smart Sensors for Real-Time Water Quality Monitoring. *Journal of Latex Class Files*. Vol. 13. No. 9. Hal. 1-16.
- Daigavane, V.V. dan Gaikwad, M.A. 2017. Water Quality Monitoring System Based on IOT. *Advances in Wireless and Mobile Communications*. Vol. 10. No. 5. Hal. 1107-1116.
- Doni, A., Murthy, C., dan Kurian, M.Z. 2019. Water Quality Monitoring System using IoT. *International Journal of Engineering Research & Technology*. Vol. 6. No. 13. Hal. 1-6.
- Eridani, D., Wardhani, O., dan Widiyanto, E.D. 2017. Designing and Implementing the Arduino-Based Nutrition Feeding Automation System of a Prototype Scaled Nutrient Film Technique (NFT) Hydroponics using Total Dissolved Solids (TDS) Sensor. *Proceedings: 2017 4th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering*. No. 6. Hal. 170-175.
- Fezari, M. dan Dahoud., 2019. *Exploring One-wire Temperature Sensor “DS18B20” with Microcontrollers*. University of Al-Zaytoonah Faculty of IT. Jordan.

- Frasetya, B., Harisman, K., dan Ramdaniah, N.A.H. 2021. The Effect of Hydroponics System on The Growth of Lettuce. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 1098. No. 4. Hal. 1-6.
- Gillani, S.A., Abbasi, R., Martinez, P., dan Ahmad, R. 2023. Comparison of Energy-use Efficiency for Lettuce Plantation Under Nutrient Film Technique and Deep Water Culture Hydroponic Systems. *Procedia Computer Science: 4th International Conference on Industry 4.0 and Smart Manufacturing*. Vol. 217. Hal. 11-19.
- Gomes, M., Costa, I.P., Alves, L.S., Soares, T.M., dan Gheyi, H.R. 2023. Coriander Cultivation Under Different Nutrient Solution Depths in Hydroponic Systems: a Comparison Between Conventional DFT and Adapted DFT with PVC pipes. *Water Resources and Irrigation Management*. Vol. 12. No. 1-3. Hal. 29-43.
- Gomiero, T. 2018. Food Quality Assessment in Organic vs Conventional Agricultural Produce: Findings and Issues. *Journal Applied Soil Ecology*. Vol. 123. Hal. 714-728.
- Griffiths, M. 2014. *The Design and Implementation of a Hydroponics Control System*. Thesis. Oulu University of Applied Sciences.
- Hermanto, B., Habibie, D., Lubis, A.F., dan Syahputra, R.A. 2021. Analysis of Pakcoy Mustard (*Brassica rapa*) Growth using Hydroponic System with AB Mix Nutrition. *Journal of Physics*. Vol. 1819. Hal. 1-5.
- Huy, N.Q., Giang, V.T.T., Quan, L.V., dan Cuong, H.V. 2020. Application of the Internet of Things Technology (IoT) in Designing an Automatic Water Quality Monitoring System for Aquaculture Ponds. *Vietnam Journal of Agricultural Sciences*. Vol. 3. No. 2. Hal. 624-635.
- Ismailov, A.S. dan Jo'rayev, Z.B. 2022. Study of Arduino Microcontroller Board. *Science and Education Scientific Journal*. Vol. 3. No. 3. Hal. 172-179.
- Jung, D.H., Kim, H.J., Cho, W.J., Park, S.H., dan Yang, S.H. 2019. Validation Testing of an Ion-Specific Sensing and Control System for Precision Hydroponic Macronutrient Management. *Journal Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 156. Hal. 660-668.
- Kang, C., Mu, X., Seffrin, A.N., Gioia, F.D., dan He, L. 2024. Bok Choy Growth Monitoring Using IoT Technology and a Recurrent Segmentation Model. *International Conference on American Society of Agricultural and Biological Engineers*.
- Karim, S., Khamidah, I.M., dan Yulianto. 2021. Sistem Monitoring pada Tanaman Hidroponik Menggunakan Arduino UNO dan NodeMCU. *Buletin*

Poltanesa. Politeknik Pertanian Negeri Samarinda. Vol. 22. No. 1. Hal. 75-79.

Kartika, Roswaldi, S.K., Julsam, Mulyadi, dan Misriana. 2019. Oven Otomatis untuk Memanggang Kue Bolu Marmer Berbasis PID. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. Vol. 3. No. 1. Hal. 193-200.

Kitaya, Y., Iba, Y., Shibuya, T., dan Masuda, A. 2024. Effects of Temperature, Dissolved Oxygen Concentration, and Photosynthetic Photon Flux Density on the Growth of the Sea Bivalve *Tridacna crocea* in Combination with the Symbiotic Alga *Zooxanthella*. *Jurnal Hydrobiology*. Vol. 3. No. 4. Hal. 350-363.

Kyu S.J., Mon, C.S., dan Subaramanian, K. 2023. Smartcropplanting: IOT-Based Mobile Application for Hydroponic System. *Proceedings of International Conference on Artificial Life and Robotics*. Vol. 28. No. 5. Hal. 858-862.

Marques, G., Aleixo, D., and Pitarma, R. 2019. Enhanced Hydroponic Agriculture Environment Monitoring: An Internet of Things Approach. *International Conference Computational Science*. Hal. 658-669.

Mehra, M., Saxena, S., Sankaranarayanan, S., Tom, R.J., dan Veeramanikandan, M. 2018. IoT Based Hydroponics System using Deep Neural Networks. *Computers and Electronics in Agriculture*. Vol. 155. Hal. 473-486.

Mina, M. dan Kartika. 2023. Monitoring System for Levels of Voltage, Current, Temperature, Methane, and Hydrogen in IoT-Based Distribution Transformers. *Journal of Engineering, Science & Information Technology*. Vol. 3. No. 1. Hal. 22-27.

Mohammed, S.B. dan Sookoo, R. 2016. Nutrient Film Technique for Commercial Production. *Agricultural Science Research Journal*. Vol. 6. No. 11. Hal. 269-274.

Mokhtar, M.H. dan Kamal, M.M. 2023. Development of Automated pH Controller System for NFT Hydroponic. *Journal of Engineering*. Vol. 7. No. 1. Hal. 10-18.

Myint, C.Z., Gopal, L., dan Aung, Y.L. 2017. Reconfigurable Smart Water Quality Monitoring System in IoT Environment. *Proceedings: 16th International Conference on Computer and Information Science*. Hal. 435-440.

Oh, S., Cave, G., dan Lu, C. 2021. Vitamin B 12 (Cobalamin) and Micronutrient Fortification in Food Crops Using Nanoparticle Technology. *Journal Frontiers in Plant Science*. Vol. 12. Hal. 1-19.

Pasika, S. dan Gandla, S.T. 2020. Smart Water Quality Monitoring System with Cost-effective using IoT. *Heliyon*. Vol. 6. No. 7. Hal. 1-9.

- Phutthisathian, A., Pantasen, N., dan Maneerat, N. 2011. Ontology-based Nutrient Solution Control System for Hydroponics. *Proceedings: 2011 International Conference on Instrumentation, Measurement, Computer, Communication and Control*. Hal. 258-261.
- Pramono, S., Nuruddin, A., dan Ibrahim, M.H. 2020. Design of a Hydroponic Monitoring System with Deep Flow Technique (DFT). *AIP Conference Proceedings*. Vol. 2217. No. 1. Hal 1-8.
- Praptodiyono, S., Kusuma, S.T., Pratama, B.G., dan Umam, K. 2024. Implementasi Sistem Monitoring Kendali pada Tanaman Hidroponik Pakcoy Berbasis Internet of Things. *Jurnal Pengabdian pada Masyarakat*. Vol. 9. No. 1. Hal. 266-277.
- Safiroh W.P.P.N., Nama, G.F., dan Komarudin M. 2022. Sistem Pengendalian Kadar PH dan Penyiraman Tanaman Hidroponik Model Wick System. *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*. Vol. 10. No. 1. Hal. 17-23.
- Sanaba, U., Rokhana, R., Setiawardhana dan Wijayanto, A. 2024. Nutrition Temperature and TDS Control System with Fuzzy Logic on Pak Choy Hydroponics (*Brassica rapa subsp. chinensis*). *Jurnal Rekayasa Elektrika*. Vol. 20. No. 3. Hal. 91-97.
- Saraswathi, D., Manibharathy, P., Gokulnath, R., Sureshkumar, E., dan Karthikeyan, K. 2018. Automation of Hydroponics Green House Farming using IOT. *International Conference on System, Computation, Automation and Networking*. IEEE. Hal. 1-4.
- Searchinger, T.D., Wiersenius, S., Beringer, T., dan Dumas, P. 2018. Assessing the Efficiency of Changes in Land Use for Mitigating Climate Change. *Journal Letter*. Vol. 564. Hal. 249-264.
- Setiawan J.D., Utomo, R.C., dan Prahasto, T. 2022. Decision Support System for Coal Mill Fault Diagnosis in Coal-Fired Steam Power Plant. *Rotasi*. Vol 24. No. 3. Hal. 57-65.
- Sharma, N., Acharya, S., Organisation, D., Kumar, K., Organisation, D., Singh, N., dan Studies, E. 2019. Hydroponics as an Advanced Technique for Vegetable Production. *Journal of Soil and Water Conservation*. Vol. 17. No. 4. Hal. 364-371.
- Sihombing, P., Karina, N.A., Tarigan, J.T., dan Syarif, M.I. 2018. Automated Hydroponics Nutrition Plants Systems using Arduino Uno Microcontroller Based on Android. *Journal of Physics*. Vol. 978. No. 1. Hal. 1-6.

- Singh, H., Dunn, B., dan Payton, M. 2019. Hydroponic pH Modifiers Affect Plant Growth and Nutrient Content in Leafy Greens. *Journal Horticultural Research*. Vol. 27. No. 1. Hal. 31-36.
- Son, J.E., Kim, H.J., Ahn, T.I. 2020. *Hydroponic Systems*. In *Plant Factory: An Indoor Vertical Farming System for Efficient Quality Food Production: Second Edition. Chapter 20*. Department of Plant Science and Biosystems Engineering, Seoul National University, Seoul Korea. Hal. 273-283.
- Spinu, V.C., Albright, L.D., Langhans, R.W. 2015. Electrochemical pH Control in Hydroponics System. *International Society for Horticultural Science*. Vol. 456. No. 32. Hal. 275-282.
- Thiab, A.S., Shibghatullah, A.S., dan Yusoh, Z.I.M. 2018. Internet of Things-Proactive Security Approach. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. Vol. 13. No. 9. Hal. 2668-2671.
- Vishwakarma, S.K., Upadhyaya, P., Kumari, B., dan Mishra, A.K. 2019. Smart Energy Efficient Home Automation System Using IoT. *International Conference on Internet of Things: Smart Innovation and Usages*.
- Wada, T. 2018. *Theory and Technology to Control the Nutrient Solution of Hydroponics*. In *Plant Factory Using Artificial Light: Adapting to Environmental Disruption and Clues to Agricultural Innovation*. Elsevier Inc.
- Wibisono, A.B., dan Jayadi, R. 2023. Design Architecture Development of IOT-Based Catfish Control and Monitoring. *Journal Theoretical and Applied Information Technology*. Vol. 101. No. 11. Hal. 4449-4458.
- Wu, Y., Liu, D., dan Kuang, X.H. 2011. A Temperature Detecting System Based on DS18B20. *Advanced Materials Research*. Vol. 328-330. Hal. 1806-1809.
- Liang, X., Jian, Z., Tan, Z., Dai, R., Wang, H., Wang, J., Qiu, G., Chang, M., dan Li, T. 2024. Dissolved Oxygen Concentration Prediction in the Pearl River Estuary with Deep Learning for Driving Factors Identification: Temperature, pH, Conductivity, and Ammonia Nitrogen. *Jurnal Water*. Vol. 16. No. 3090. Hal. 1-19.
- Yeni, Rahhutami, R., Safitri, B., dan Priyadi. 2023. Pertumbuhan Kailan (*Brassica oleraceae*) dengan Perlakuan Macam Media Tanaman dan Perbedaan Varietas pada Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique). *Jurnal Pertanian Agros*. Vol. 25. No. 3. Hal. 1948-1958.
- Zanella, A., Geisen, S., Ponge, J.F., Jagers, G., Benbrook, C., Dilli T., Vacca, A., Kwiatkowska-Malina, J., Aubert, M., Fusaro, S., Nobili, M.D., Lomolino, G., dan Gomiero, T. 2018. Humusica 2, Article 17: Techno Humus Systems and Global Change – Three Crucial Questions. *Journal Applied Soil Ecology*. Vol. 122. Hal. 237-253.