

**RANCANG BANGUN PERANGKAT KERAS PADA ALAT
BUDIDAYA TANAMAN PAKCOY DENGAN TEKNIK HIDROPONIK
INDOOR**

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



YUSUF

NIM. 175060301111025

UNIVERSITAS BRAWIJAYA

FAKULTAS TEKNIK

MALANG

2021



LEMBAR PENGESAHAN
RANCANG BANGUN PERANGKAT KERAS PADA ALAT BUDIDAYA
TANAMAN PAKCOY DENGAN TEKNIK HIDROPONIK *INDOOR*

SKRIPSI

TEKNIK ELEKTRO KONSENTRASI TEKNIK ELEKTRONIKA

Diajukan untuk memenuhi persyaratan
memperoleh gelar Sarjana Teknik



YUSUF

NIM. 175060301111025

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing
pada tanggal 15 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Raden Arief Setyawan, S.T., M.T.
NIP. 19750819 199903 1 001

Dosen Pembimbing II

Gaguk Asmungi, S.T., M.T.
NIP. 19670627 199802 1 001



Mengetahui,
Plt. Ketua Jurusan Teknik Elektro

Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 19741203 200012 1 001

JUDUL SKRIPSI:

**RANCANG BANGUN PERANGKAT KERAS PADA ALAT BUDIDAYA
TANAMAN PAKCOY DENGAN TEKNIK HIDROPONIK *INDOOR***

Nama Mahasiswa : Yusuf

NIM : 175060301111025

Program Studi : Teknik Elektro

Konsentrasi : Teknik Elektronika

Dosen Pembimbing 1 : Raden Arief Setyawan, S.T., M.T.



Dosen Pembimbing 2 : Gaguk Asmungi, S.T., M.T.



Tim Dosen Penguji :

Dosen Penguji 1 : Waru Djuriatno, S.T., M.T.

 disetujui tanggal 15 Juli 2021

Dosen Penguji 2 : Akhmad Zainuri, S.T., M.T.

 disetujui tanggal 15 Juli 2021

Tanggal Ujian : 1 Juli 2021

SK Penguji : No. 1072 Tahun 2021



*Teriring Ucapan Terima Kasih kepada:
Ibunda, Kakak, dan Adik Tercinta*

PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan, dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. Tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata di dalam naskah Skripsi ini dapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 15 Juli 2021

Mahasiswa,



Yusuf

NIM. 175060301111025



PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT karena atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Rancang Bangun Perangkat Keras pada Alat Budidaya Tanaman Pakcoy dengan Teknik Hidroponik *Indoor*”. Penulis menyadari bahwa penyelesaian skripsi ini telah mendapat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua serta seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan dukungan dan doa yang tiada akhir.
2. Bapak Muhammad Aziz Muslim, S.T., M.T., Ph.D. selaku Plt. Ketua Jurusan dan Ibu Ir. Nurussa'adah, M.T. selaku Sekretaris Jurusan Teknik Elektro.
3. Ibu Rahmadwati, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Elektro dan Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. selaku Ketua Kelompok Jabatan Fungsional Teknik Elektronika.
4. Bapak Raden Arief Setyawan, S.T., M.T. dan Bapak Gaguk Asmungi, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing skripsi atas segala bimbingan, kritik, dan saran yang telah diberikan.
5. Bapak Akhmad Zainuri, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing akademik, beserta seluruh dosen dan karyawan Jurusan Teknik Elektro yang selalu membantu selama perkuliahan.
6. Seluruh teman-teman Asisten Laboratorium Dasar Elektrik dan Pengukuran, Aldo, Andhika, Ario, Glanndy, Angela, Fahrina, Rama, Zaky, Arson, Delia, Firly, Toiyib, Gadis, Gina, Aham, Izzah, dan Monifa yang telah turut andil memberikan waktu, tenaga, pikiran, kebersamaan, semangat, dan saling mendukung dalam pengerjaan skripsi.
7. Rekan-rekan anggota Workshop Robotika, Bram, Giffary, Uwi, Ivan, Bimo, Fahma, Greg, Daffa, Alif, Iqbal, Taufik, Setyo, Danu, Jeremy, Dayat, Bayu, Farrel, dan teman-teman lain yang telah memberikan pengalaman dalam bidang akademik maupun bidang non-akademik.
8. Teman-teman tim ENSPARTAN, Iqbal, Setyo, Bayu, Farrel, Danu, Zuhul, Evan, Argha, Reza, Nizzah, Raihan Z., Ontoseno, Alfi, Yuda, Arfian, dan Dhika yang telah memberikan waktu, tenaga, serta pengalaman *hard skill* maupun *soft skill* dalam bidang elektronika ataupun robotika.

9. Teman-teman grup Riset-Risetan, Sevito, Andhika, Algi, Ridho, dan Zaky yang telah membantu proses pengembangan diri dalam bidang akademik maupun bidang non-akademik selama kuliah.
10. Teman-teman UB-TECH Squad, Giffary, Uwi, Ivan, Bram, Ario, Marco, Ricky, Hanif, Manu, dan Fajri yang selalu menemani serta memberikan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.
11. Seluruh teman-teman angkatan 2017 (ELCO), terutama teman-teman konsentrasi Teknik Elektronika 2017 yang telah berbagi suka dan duka dalam perkuliahan dan memberikan semangat dalam proses pengerjaan skripsi ini.
12. Semua pihak yang telah membantu dan tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih banyak atas semua bantuannya.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih belum sempurna. Oleh karena itu, sangat diharapkan kritik dan saran yang membangun dan diharapkan agar skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi serta bagi masyarakat.

Malang, 15 Juli 2021

Penulis

RINGKASAN

Yusuf, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juni 2021, *Rancang Bangun Perangkat Keras pada Alat Budidaya Tanaman Pakcoy dengan Teknik Hidroponik Indoor*, Dosen Pembimbing: Raden Arief Setiawan dan Gaguk Asmungi.

Hidroponik merupakan salah satu metode pertanian yang saat ini mulai banyak diaplikasikan oleh masyarakat. Dalam praktiknya, bercocok tanam menggunakan metode hidroponik dapat dilakukan di luar ruangan maupun di dalam ruangan dengan selalu memperhatikan waktu penyinaran tanaman dan pemberian jumlah nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanamannya. Namun, permasalahan tanaman yang ditanam dengan metode hidroponik di dalam ruangan adalah tidak mendapatkan sinar matahari secara langsung, sehingga dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Selain penyinaran, tanaman juga membutuhkan jumlah nutrisi yang tepat agar dapat tumbuh dan berkembang secara optimal. Karena permasalahan-permasalahan tersebut, dibutuhkan penggunaan teknologi berupa alat untuk menjamin pemberian pencahayaan dan jumlah nutrisi yang tepat secara otomatis guna meringankan pekerjaan manusia. Alat yang dirancang harus dapat memberikan pencahayaan dan jumlah nutrisi tanaman secara tepat waktu dan sesuai dengan kebutuhan, sehingga tanaman tersebut dapat tumbuh maupun berkembang dengan baik dan optimal.

Penulis merancang sebuah alat yang dapat memberikan pencahayaan dan jumlah nutrisi berdasarkan parameter-parameter yang diukur dengan menggunakan sensor-sensor. Dalam pemberian pencahayaan, digunakan RTC sebagai parameter waktu yang menentukan nyala atau matinya *grow light*, sehingga pencahayaan tanaman dapat terjadwal dengan baik dan teratur. Sedangkan, dalam pemberian nutrisi dilakukan pengukuran parameter-parameter oleh berbagai jenis sensor yang meliputi nilai pH air, total padatan terlarut dalam air, potensial redoks air, ketinggian air, dan suhu air. Hasil pengukuran oleh sensor-sensor tersebut akan diolah oleh mikroprosesor ATmega328 dan menjadi dasar dalam menyalakan atau mematikan aktuator yang digunakan, dalam hal ini berupa *grow light*, pompa air, dan *solenoid valve*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat ini dapat bekerja sesuai dengan rancangan perangkat keras. Hal ini dapat dibuktikan dengan data pengujian karakteristik maupun pembacaan sensor yang menunjukkan sensor-sensor pada alat ini dapat bekerja dengan baik. Selain itu, aktuator-aktuator yang digunakan pada alat ini juga dapat bekerja berdasarkan perintah dari mikroprosesor ATmega328 melalui rangkaian *driver* yang terdiri dari rangkaian transistor BC547 dan relay 5 volt.

Kata kunci: hidroponik *indoor*, alat budidaya pakcoy, nutrisi, pencahayaan, rangkaian elektrik





SUMMARY

Yusuf, Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, University of Brawijaya. June 2021, *Hardware Design for Pakcoy Plant Cultivation Device with Indoor Hydroponics Techniques*, Advisor Lecturers: Raden Arief Setiawan and Gaguk Asmungi.

Hydroponics is one of the agricultural methods that is currently being widely applied by the community. In practice, farming using the hydroponic method can be done outdoors or indoors by always paying attention to the time of irradiating the plant and providing the right amount of nutrients according to the needs of the plant. However, the problem with plants grown using the indoor hydroponic method is that they do not get direct sunlight, which can affect plant growth and development. Besides, plants also need the right amount of nutrients in order to grow and develop optimally. Because of these problems, it is necessary to use technology in the form of devices to ensure the provision of lighting and the right amount of nutrients automatically to ease human work. Device designed must be able to provide lighting and the amount of plant nutrients in a timely manner and according to needs, so that these plants can grow and develop properly and optimally.

The author designed a device that can provide lighting and the amount of nutrients, based on the parameters, measured using sensors. In providing lighting, RTC is used as a time parameter that determines whether the grow light turns on or off, so that plant lighting can be scheduled properly and regularly. Meanwhile, in providing nutrition, parameters are measured by various types of sensors which include the pH value of water, total dissolved solids in water, water redox potential, water level, and water temperature. The measurement results by these sensors will be processed by the ATmega328 microprocessor and become the basis for turning on or off the actuators used, in this case in the form of grow lights, water pumps, and solenoid valves.

The test results show that this device can work according to the hardware design, proven by the characteristics and sensor readings test data which shows that the sensors on this device works well. In addition, the actuators used in this device can also work on orders from the ATmega328 microprocessor through a driver circuit consisting of a BC547 transistor circuit and a 5 volt relay.

Keywords: *indoor hydroponics, pakcoy cultivation device, nutrition, lighting, electrical circuits*



DAFTAR ISI

PENGANTAR..... **i**

RINGKASAN..... **iii**

SUMMARY..... **v**

DAFTAR ISI..... **vii**

DAFTAR GAMBAR..... **xi**

DAFTAR TABEL..... **xiii**

DAFTAR LAMPIRAN..... **xv**

BAB I PENDAHULUAN..... **1**

1.1. Latar Belakang..... 1

1.2. Rumusan Masalah..... 2

1.3. Batasan Masalah..... 2

1.4. Tujuan..... 3

1.5. Manfaat..... 3

1.6. Sistematika Penulisan..... 3

BAB II TINJAUAN PUSTAKA..... **5**

2.1. Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*)..... 5

2.2. Teknik Hidroponik..... 6

2.2.1. Pengertian Teknik Hidroponik..... 6

2.2.2. Sistem Hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*)..... 7

2.3. Media Tanam..... 8

2.4. Pencahayaan..... 9

2.5. Larutan Nutrisi..... 10

2.6. Derajat Keasaman (pH)..... 14

2.7. Elektroda pH..... 14

2.8. Total Padatan Terlarut (*Total Dissolyed Solids*)..... 16

2.9. Sensor TDS SEN0244..... 18

2.10. Potensial Oksidasi-Reduksi (*Oxidation-Reduction Potential*)..... 19

2.11. Sensor ORP SEN0165..... 19

2.12. Suhu..... 21

2.13. Sensor DS18B20..... 21

2.14. Sensor DHT22..... 22

2.15. Saklar Pembatas (*Limit Switch*)..... 23



2.16. RTC DS3231.....	25
2.17. Penguat Operasional (<i>Operational Amplifier</i>).....	26
2.17.1. Penguat Membalik (<i>Inverting Amplifier</i>).....	26
2.17.2. Penguat Tidak Membalik (<i>Non Inverting Amplifier</i>).....	27
2.18. Transistor Bipolar.....	28
2.19. Relay.....	29
2.20. <i>Light Emitting Diode</i> (LED).....	30
2.21. Pompa Air Celup Mini.....	31
2.22. Katup Solenoid (<i>Solenoid Valve</i>).....	32
2.23. ATmega328.....	33
2.23.1. Arsitektur ATmega328.....	33
2.23.2. Fitur ATmega328.....	33
BAB III METODE PENELITIAN.....	35
3.1. Deskripsi Umum Alat.....	35
3.2. Penentuan Spesifikasi Alat.....	35
3.3. Studi Literatur.....	37
3.4. Perancangan dan Pembuatan Alat.....	37
3.4.1. Diagram Blok Keseluruhan Alat.....	37
3.4.2. Perancangan Perangkat Keras.....	40
3.5. Pengujian Alat.....	60
3.5.1. Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor pH.....	61
3.5.2. Karakteristik Sensor.....	61
3.5.3. Pembacaan Sensor.....	61
3.5.4. Rangkaian <i>Driver</i> Aktuator.....	61
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	63
4.1. Pengujian Sensor pH.....	63
4.1.1. Pengujian Rangkaian Catu Daya V^+ <i>Operational Amplifier</i>	63
4.1.2. Pengujian Rangkaian Catu Daya V^- <i>Operational Amplifier</i>	65
4.1.3. Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan.....	66
4.1.4. Pengujian Karakteristik Sensor.....	68
4.1.5. Pengujian Pembacaan pH oleh Sensor.....	72
4.2. Pengujian Sensor SEN0244.....	75
4.2.1. Pengujian Karakteristik Sensor.....	75

4.2.2. Pengujian Pembacaan TDS oleh Sensor.....	82
4.3. Pengujian Sensor ORP SEN0165.....	85
4.4. Pengujian Sensor Suhu Air DS18B20.....	89
4.5. Pengujian Sensor DHT22.....	91
4.6. Pengujian <i>Limit Switch</i>	94
4.7. Pengujian Rangkaian Transistor.....	95
4.8. Ringkasan Pengujian yang Dilakukan.....	97
BAB V PENUTUP.....	105
5.1. Kesimpulan.....	105
5.2. Saran.....	106
DAFTAR PUSTAKA.....	107
LAMPIRAN.....	111



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Contoh Teknik Hidroponik Menggunakan Metode DFT..... 8

Gambar 2.2 *Rockwool* Merupakan Salah Satu Contoh Media Tanam..... 8

Gambar 2.3 Hubungan Nilai pH terhadap Ketersediaan Hara Tanaman..... 13

Gambar 2.4 Pengaruh Pemberian Unsur Hara Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Daun Tanaman Pakcoy..... 13

Gambar 2.5 Skala pH untuk Beberapa Jenis Larutan 14

Gambar 2.6 Bentuk Fisik Elektroda pH..... 15

Gambar 2.7 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Pakcoy dalam ppm..... 17

Gambar 2.8 Bentuk Fisik Sensor TDS SEN0244 18

Gambar 2.9 Bentuk Fisik Sensor ORP SEN0165 20

Gambar 2.10 Bentuk Fisik Sensor DS18B20 22

Gambar 2.11 Bentuk Fisik Sensor DHT22 23

Gambar 2.12 Konstruksi dan Simbol *Limit Switch*..... 24

Gambar 2.13 Bentuk Fisik *Limit Switch* 24

Gambar 2.14 Bentuk Fisik RTC DS3231 25

Gambar 2.15 Simbol Penguat Operasional 26

Gambar 2.16 Rangkaian Penguat *Inverting* 27

Gambar 2.17 Rangkaian Penguat *Non Inverting* 27

Gambar 2.18 Transistor dalam Kondisi Saturasi 28

Gambar 2.19 Transistor dalam Kondisi *Cut Off* 29

Gambar 2.20 Konfigurasi Terminal atau Pin Relay..... 29

Gambar 2.21 Contoh Bentuk Fisik Relay 30

Gambar 2.22 Bentuk Fisik LED yang Digunakan 31

Gambar 2.23 Bentuk Fisik Pompa Air yang Digunakan 31

Gambar 2.24 Bentuk Fisik *Solenoid Valve* yang Digunakan..... 32

Gambar 2.25 Konfigurasi Pin ATmega328 34

Gambar 3.1 Diagram Blok Deskripsi Umum Alat..... 35

Gambar 3.2 Diagram Blok Keseluruhan Alat..... 38

Gambar 3.3 Rangkaian Catu Daya Alat..... 41

Gambar 3.4 Rangkaian *Minimum System* ATmega328 42

Gambar 3.5 Diagram Blok Perancangan RPS Sensor pH..... 44

Gambar 3.6 Rangkaian *Op Amp Non Inverting* yang Digunakan..... 45



Gambar 3.7 Rangkaian <i>Op Amp Differential</i> Dasar yang Digunakan.....	46
Gambar 3.8 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor pH.....	47
Gambar 3.9 Rangkaian Catu Daya V^+ <i>Op Amp</i>	48
Gambar 3.10 Rangkaian Catu Daya V^- <i>Op Amp</i>	48
Gambar 3.11 Rangkaian Sensor pH Keseluruhan	49
Gambar 3.12 Rangkaian Sensor TDS ke ATmega328	50
Gambar 3.13 Rangkaian Sensor ORP ke ATmega328.....	51
Gambar 3.14 Rangkaian Sensor Suhu Air ke ATmega328.....	52
Gambar 3.15 Rangkaian Sensor Ketinggian Air ke ATmega328.....	53
Gambar 3.16 Rangkaian Sensor Suhu Udara ke ATmega328.....	53
Gambar 3.17 Rangkaian RTC ke ATmega328.....	54
Gambar 3.18 Rangkaian <i>Driver</i> Aktuator	55
Gambar 3.19 Perancangan Pompa Air.....	57
Gambar 3.20 Perancangan <i>Solenoid Valve</i> Masukan <i>Gully</i>	58
Gambar 3.21 Perancangan <i>Solenoid Valve</i> Keluaran <i>Gully</i>	58
Gambar 3.22 Perancangan <i>Solenoid Valve</i> Nutrisi A.....	59
Gambar 3.23 Perancangan <i>Solenoid Valve</i> Nutrisi B	59
Gambar 3.24 Perancangan LED (<i>Light Emitting Diode</i>).....	60
Gambar 4.1 Grafik Hubungan V_{in} terhadap V_{out} Teori dan Praktik RPS	68
Gambar 4.2 Grafik Karakteristik Sensor pH	72
Gambar 4.3 Grafik Pembacaan pH oleh Sensor	74
Gambar 4.4 Grafik Karakteristik Sensor SEN0244 pada Suhu 26,3°C.....	81
Gambar 4.5 Grafik Pembacaan TDS oleh Sensor SEN0244.....	84
Gambar 4.6 Grafik Karakteristik Sensor ORP SEN0165	88
Gambar 4.7 Grafik Pembacaan Suhu Air oleh Sensor DS18B20.....	91
Gambar 4.8 Grafik Pembacaan Suhu Udara oleh Sensor DHT22.....	93

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Kandungan Gizi dalam Tanaman Pakcoy..... 5

Tabel 2.2 Panjang Gelombang pada Spektrum Cahaya Tampak..... 10

Tabel 2.3 Tegangan Keluaran Elektroda terhadap Nilai pH..... 16

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor TDS SEN0244..... 18

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor ORP SEN0165..... 20

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor DS18B20..... 22

Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor DHT22..... 23

Tabel 2.8 Spesifikasi RTC DS3231..... 26

Tabel 3.1 Penggunaan Pin-Pin ATmega328 pada Alat 41

Tabel 3.2 Tegangan Keluaran Elektroda Berdasarkan Nilai pH..... 43

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya V^+ *Op Amp* 64

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya V^- *Op Amp*..... 65

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan 67

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor pH 70

Tabel 4.5 Perhitungan Regresi Linear Karakteristik Sensor pH..... 71

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pembacaan pH oleh Sensor 74

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor SEN0244 pada Suhu 26,3°C..... 76

Tabel 4.8 Perhitungan Regresi Polinomial Orde-2 Karakteristik SEN0244 79

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Pembacaan TDS oleh Sensor SEN0244..... 83

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor ORP SEN0165 86

Tabel 4.11 Perhitungan Regresi Linear Karakteristik Sensor ORP SEN0165 87

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Air oleh Sensor DS18B20..... 90

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Udara oleh Sensor DHT22..... 92

Tabel 4.14 Hasil Pengujian *Limit Switch*..... 95

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Rangkaian Transistor dan Relay 96

Tabel 4.16 Ringkasan Pengujian yang Dilakukan 98

Tabel 4.17 Perbandingan Performa Alat terhadap Spesifikasi yang Diharapkan..... 101



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Dokumentasi Alat..... 111

Lampiran 2 *Datasheet*..... 119





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Hidroponik adalah salah satu metode pertanian modern yang saat ini mulai banyak diaplikasikan oleh masyarakat. Hal ini dikarenakan, semakin cepatnya perkembangan sektor industri, perkantoran, dan perumahan yang membuat lahan pertanian konvensional semakin berkurang karena tingginya harga lahan (Djamil & Asriani, 2020). Hidroponik merupakan istilah yang digunakan untuk menjelaskan cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah sebagai media dalam menanam tanaman (Lingga, 1984). Dalam praktiknya, penanaman dengan metode hidroponik dapat dilakukan di luar ruangan maupun di dalam ruangan dengan selalu memperhatikan waktu penyinaran tanaman dan pemberian jumlah nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhan jenis tanamannya.

Untuk tanaman yang ditanam dengan metode hidroponik di dalam ruangan (*indoor*), cahaya matahari tidak dapat langsung menyinari tanaman. Oleh karena itu, dibutuhkan suatu cara yang dapat dilakukan untuk memberikan cahaya buatan yang cukup kepada tanaman, salah satunya dengan memasang lampu pertumbuhan (*growing lights*) yang terpasang tepat di atas tanaman dan dibuat dari susunan lampu LED (*Light Emitting Diode*). Untuk menghasilkan pertumbuhan tanaman yang maksimal, dibutuhkan waktu penyinaran tanaman antara 14 sampai 16 jam setiap harinya (Haryadi, et al., 2017). Namun, dengan padatnya kegiatan sehari-hari, petani terkadang lupa atau tidak memiliki waktu yang cukup untuk menghidupkan dan mematikan lampu penyinaran tanaman hidroponik. Hal ini berdampak pada pertumbuhan tanaman yang terganggu karena tidak mendapatkan penyinaran yang cukup atau justru malah berlebihan.

Selain pencahayaan, faktor penting lain yang harus diperhatikan dalam penanaman dengan metode hidroponik adalah dengan memberikan nutrisi yang tepat sesuai dengan kebutuhan tanamannya. Pemberian nutrisi yang terlambat atau kurang tepatnya jumlah nutrisi akan berakibat fatal terhadap pertumbuhan maupun perkembangan tanaman, bahkan hal ini dapat menyebabkan kematian pada tanaman (Asyiah, 2013). Agar tanaman dapat tumbuh secara optimal, dibutuhkan nutrisi yang

memiliki kandungan unsur hara yang sesuai dengan yang dibutuhkan oleh tanaman, artinya harus tepat dari segi jumlah padatan terlarut, komposisi ion, nilai pH, dan nilai suhu cairan nutrisinya. Selain itu, pemberian nutrisi juga harus tepat waktu dan tidak boleh terlambat.

Dari permasalahan-permasalahan yang telah dijelaskan pada paragraf-paragraf sebelumnya, dibutuhkan solusi dalam pemberian cahaya buatan maupun pemberian nutrisi yang sesuai dan tepat waktu kepada tanaman hidroponik. Untuk itu, dalam penelitian ini dikembangkanlah alat yang mampu memberikan pencahayaan maupun pemberian nutrisi secara otomatis sesuai dengan kebutuhan tanaman dan selalu tepat waktu. Alat ini menggunakan sumber pencahayaan yang berasal dari lampu LED (*Light Emitting Diode*) yang telah disesuaikan tingkat kecerahan dan warnanya sehingga mendukung teknik hidroponik di dalam ruangan (*indoor*). Penelitian ini menggunakan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) dan hanya berfokus pada rancang bangun alat dari segi perangkat keras yang berupa rangkaian elektrik, bukan dari perangkat lunaknya. Hasil dari penelitian ini adalah sebuah alat budidaya tanaman hidroponik *indoor* yang bekerja secara otomatis dengan campur tangan manusia seminimal mungkin dalam pemberian cahaya maupun pemberian nutrisi yang sesuai dan tepat waktu.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dapat disusun rumusan masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana rancang bangun perangkat keras alat sesuai spesifikasi yang telah ditentukan untuk memberikan pencahayaan kepada tanaman yang terintegrasi dengan ATmega328?
- 2) Bagaimana rancang bangun perangkat keras alat sesuai spesifikasi yang telah ditentukan untuk memberikan nutrisi kepada tanaman yang terintegrasi dengan ATmega328 berdasarkan hasil pembacaan sensor-sensor yang digunakan?

1.3. Batasan Masalah

Berdasarkan permasalahan-permasalahan yang telah dirumuskan, maka hal-hal yang berkaitan dengan alat akan diberikan batasan sebagai berikut:

- 1) Hanya membahas pada bagian perangkat keras, dalam hal ini terkait rangkaian elektrik alat. Tidak membahas bagian perangkat lunak dan penerapan algoritma.
- 2) Alat diterapkan pada teknik hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*) di dalam ruangan.

- 3) Jenis tanaman yang dibudidayakan adalah tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*).
- 4) Kondisi lingkungan yang diamati adalah suhu udara, suhu air, ketinggian air, pH air, jumlah padatan terlarut dalam air, dan potensial redoks air.
- 5) Untuk suhu udara, suhu air, pH air, dan potensial redoks air hanya sebatas diamati dan diasumsikan nilainya selalu sesuai dengan kebutuhan tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*). Sedangkan, untuk ketinggian air dan jumlah padatan terlarut dalam air selain diamati juga dilakukan tindakan, yaitu diantaranya berupa penambahan kandungan nutrisi AB *mix* jika jumlah padatan terlarut dalam air kurang dari yang dibutuhkan maupun pompa air yang dimatikan jika ketinggian air sudah mencapai ketinggian maksimum.

1.4. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah merancang dan membuat perangkat keras alat budidaya tanaman pakcoy (*Brassica rapa L.*) dengan teknik hidroponik di dalam ruangan (*indoor*) berdasarkan spesifikasi alat yang telah ditentukan yang mampu memberikan pencahayaan dan nutrisi kepada tanaman secara otomatis, sesuai dengan kebutuhan, dan tepat waktu.

1.5. Manfaat

Penulis berharap dengan adanya penelitian ini dapat mempermudah para petani hidroponik dalam bercocok tanam, terutama terkait pemberian pencahayaan dan nutrisi secara otomatis, sehingga mampu menghemat waktu yang digunakan oleh para petani dalam merawat tanaman. Selain itu, alat ini juga dibuat agar dapat memaksimalkan produktifitas hasil panen dengan adanya pemberian pencahayaan dan nutrisi yang sesuai dengan kebutuhan tanaman berdasarkan hasil *monitoring* oleh sensor yang digunakan.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang dilakukan dalam penyusunan skripsi ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Membahas latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Menjelaskan dasar teori yang dapat menunjang penelitian, khususnya yang terkait dengan perancangan maupun pembuatan alat.

BAB III METODE PENELITIAN

Membahas metode yang digunakan pada penelitian dan perancangan alat.

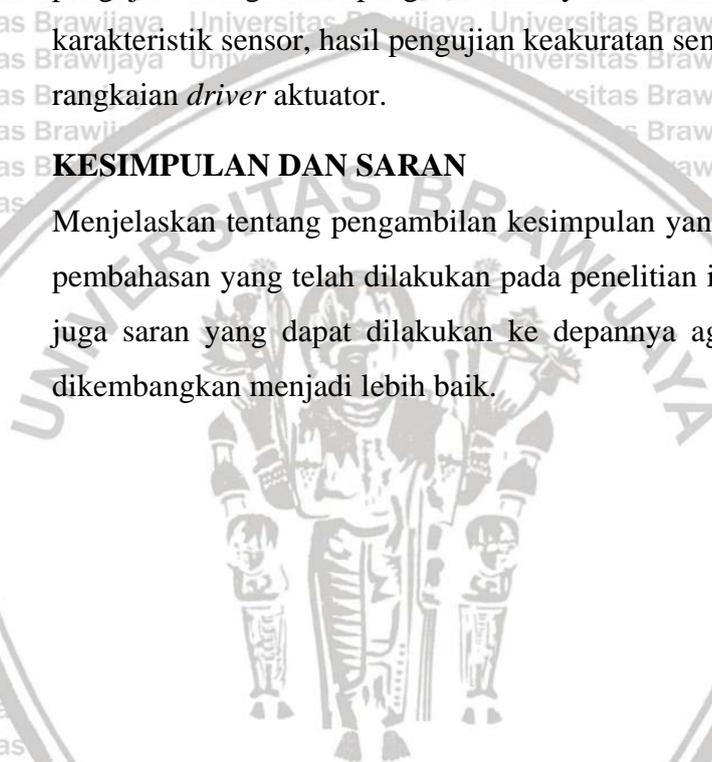
Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan mengenai deskripsi umum alat, penentuan spesifikasi alat, metode pengumpulan data yang dilakukan, metode perancangan dan pembuatan alat, serta metode pengujian yang akan dilakukan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Membahas tentang hasil pengujian yang telah dilakukan, yaitu hasil pengujian rangkaian pengondisi sinyal sensor pH, hasil pengujian karakteristik sensor, hasil pengujian keakuratan sensor, dan hasil pengujian rangkaian *driver* aktuator.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menjelaskan tentang pengambilan kesimpulan yang berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini. Selain itu, diberikan juga saran yang dapat dilakukan ke depannya agar penelitian ini dapat dikembangkan menjadi lebih baik.



BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa L.*)

Tanaman pakcoy merupakan salah satu komoditi pertanian yang banyak dibudidayakan di Indonesia dengan menggunakan teknik hidroponik. Hal ini dikarenakan, tanaman pakcoy memiliki nilai komersial dan prospek yang cukup baik dalam segi ekonomi. Selain itu, di Indonesia banyak sekali olahan pangan yang menggunakan tanaman pakcoy sebagai bahan pokok maupun bahan pelengkap (Indariani, 2003).

Selain di Indonesia, tanaman pakcoy adalah salah satu jenis sayuran yang penting di Asia, khususnya di Cina. Ciri-ciri dari tanaman pakcoy diantaranya daun yang berbentuk oval, berwarna hijau tua, tumbuh agak tegak atau sebagian mendatar, tangkai daun berwarna putih atau hijau muda, dan ketinggiannya bisa mencapai 15-30 cm (Cahyono B. , 2003).

Kandungan gizi yang terkandung dalam setiap 100 gram tanaman pakcoy dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Kandungan Gizi dalam Tanaman Pakcoy

Sumber: *Direktorat Gizi Departemen Kesehatan RI (1991)*

No.	Kandungan Gizi	Jumlah Kandungan Gizi
1	Protein	2,3 g
2	Lemak	0,3 g
3	Karbohidrat	4,0 g
4	Kalsium	220,0 mg
5	Fosfor	38,0 mg
6	Zat Besi	2,9 mg
7	Vitamin A	940,0 mg
8	Vitamin B	0,09 mg
9	Vitamin C	102 mg

Tanaman pakcoy dapat tumbuh dengan baik pada suhu udara antara 19°-21°C. Besarnya suhu udara ini dipengaruhi oleh letak suatu daerah di atas permukaan air laut, dimana semakin rendah ketinggian suatu daerah yang dihitung dari permukaan laut, maka suhu udara pada daerah tersebut akan semakin tinggi, dan sebaliknya. Suhu udara sebesar 19°-21°C dapat ditemukan di daerah dengan ketinggian 1000-1200 meter di atas permukaan air laut (Cahyono B., 2003).

Ciri-ciri tanaman pakcoy yang siap panen diantaranya yaitu umur tanaman yang sudah tua berkisar 30 sampai 40 hari dan ukuran daun yang sudah besar (Raihan, 2017). Perlu diketahui bahwa tanaman ini termasuk tanaman yang cepat rusak atau busuk, sehingga harus segera dipanen apabila umur tanaman sudah mencukupi dan ukuran daun sudah maksimal (Rukmana, 1994).

2.2. Teknik Hidroponik

2.2.1. Pengertian Teknik Hidroponik

Hidroponik atau *hydroponics* berasal dari bahasa latin, yaitu kata *hydro* yang berarti air dan kata *phonos* yang berarti kerja. Sehingga, hidroponik dapat diartikan sebagai pertanian yang dijalankan menggunakan media air yang menggantikan media tanah (Istiqomah, 2007).

Hidroponik adalah metode bercocok tanam tanpa menggunakan tanah. Selain menggunakan air sebagai media pertumbuhannya, bisa juga menggunakan media lain seperti kerikil, pasir, sabut kelapa, zat silikat, pecahan batu karang, batu bata, potongan kayu, dan busa (Siswadi & Teguh, 2013).

Keuntungan-keuntungan yang didapatkan dari penanaman tanaman menggunakan teknologi hidroponik adalah sebagai berikut (Roidah, 2014):

- a. Keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin.
- b. Perawatan lebih praktis dan gangguan hama dapat lebih terkontrol.
- c. Penggunaan pupuk lebih hemat dan efisien.
- d. Tanaman yang sudah mati dapat dengan mudah diganti dengan tanaman yang baru.
- e. Tidak membutuhkan banyak tenaga kasar (fisik) karena metode kerja yang lebih mudah dan memiliki standarisasi.
- f. Tanaman dapat tumbuh lebih cepat dalam keadaan yang tidak kotor dan rusak.

- g. Hasil produksi lebih berkelanjutan dan lebih tinggi dibandingkan dengan penanaman menggunakan media tanah.
- h. Harga jual hidroponik yang lebih tinggi daripada produk *non-hydroponic*.
- i. Beberapa jenis tanaman dapat dibudidayakan di luar musim.
- j. Tidak ada resiko banjir, erosi, kekeringan, atau ketergantungan dengan kondisi alam.
- k. Tanaman hidroponik dapat dilakukan pada lahan atau ruang yang ukurannya terbatas, seperti pada atap, dapur, atau garasi.

2.2.2. Sistem Hidroponik DFT (*Deep Flow Technique*)

DFT (*Deep Flow Technique*) adalah salah satu metode dalam teknik hidroponik yang menggunakan air sebagai media penyedia nutrisi bagi tanaman dalam bentuk genangan air. Dengan menggunakan metode ini, tanaman dibudidayakan di atas saluran berupa *gully* yang dialiri larutan nutrisi secara berkelanjutan, dimana nantinya akar tanaman akan selalu terendam di dalam larutan nutrisi. DFT (*Deep Flow Technique*) cocok digunakan dalam budidaya tanaman sayur-sayuran maupun buah-buahan (Asyiah, 2013).

Kekurangan dari metode ini adalah kadar oksigen yang rendah pada daerah akar yang disebabkan oleh terendahnya akar tanaman dalam larutan nutrisi. Hal ini dikarenakan, ruang pori yang berisi air dapat memperlambat atau bahkan memutus proses pertukaran gas antara atmosfer dan rizosfer. Akibatnya, konsentrasi dari oksigen yang diperlukan dalam proses respirasi akar menjadi terbatas. Kekurangan oksigen pada daerah akar ini akan mempengaruhi proses penyerapan air dan unsur-unsur hara oleh akar. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi kekurangan ini adalah dengan menggunakan *aerator* yang berfungsi dalam pertukaran gas di daerah akar tanaman sehingga oksigen yang dibutuhkan oleh tanaman dapat tercukupi dan akar tidak mengalami pembusukan (Asyiah, 2013).

Salah satu contoh penerapan metode DFT (*Deep Flow Technique*) pada teknik hidroponik dapat dilihat dalam Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Contoh Teknik Hidroponik Menggunakan Metode DFT

Sumber: (Suprayitno, Dijaya, & Atho'illah, 2018)

2.3. Media Tanam

Media tanam dalam sistem hidroponik berfungsi sebagai penopang akar tanaman dan sekaligus membantu proses penyerapan unsur hara larutan nutrisi oleh akar. Hal ini dikarenakan, dalam pemenuhan kebutuhan unsur hara mikro maupun makro tanaman yang menggunakan sistem hidroponik, dilakukan dengan cara mengalirkan larutan nutrisi ke media tanam sebelum akhirnya diserap oleh akar tanaman.



Gambar 2.2 Rockwool Merupakan Salah Satu Contoh Media Tanam

Sumber: (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018)

Media tanam yang dipilih dalam sistem ini harus memenuhi persyaratan antara lain dapat menopang pertumbuhan tanaman, memiliki pori untuk aerasi, tidak menyumbat instalasi hidroponik, dan tidak mempengaruhi kandungan unsur hara dalam larutan nutrisi (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018). Media tanam yang dapat digunakan dalam sistem hidroponik antara lain air, busa, kerikil, *rockwool*, pasir, serbuk gergaji, gambut, sabut kelapa, perlit, batu apung, kulit kacang, poliester, dan vermikulit (Resh, 2013).

2.4. Pencahayaan

Dalam melakukan proses fotosintesis, tanaman membutuhkan durasi dan intensitas pencahayaan yang cukup dan sesuai dengan kebutuhannya. Tanaman dalam masa pertumbuhan dan berada di daerah tropis, umumnya membutuhkan pencahayaan selama 12 jam/hari. Apabila pencahayaan yang diberikan tidak sesuai dengan kebutuhan, pertumbuhan tanaman menjadi tidak normal bahkan akan terjadi kerusakan pada bagian tanaman (Kencana & Lestari, 2008).

Ciri pencahayaan yang diberikan pada tanaman tidak sesuai dengan kebutuhan ditandai dengan pertumbuhan tanaman yang terhambat, baik pertumbuhan vegetatif maupun generatif. Selain itu, tanaman akan tumbuh memanjang (etiolasi), kurus, berwarna pucat, daun berguguran, bahkan terjadi kematian. Sedangkan, jika intensitas pencahayaan yang diberikan terlalu tinggi, tanaman akan mengering dan menjadi mati akibat suhu yang diterima terlalu panas (Cahyono, 2003).

Pencahayaan yang diberikan disesuaikan dengan jenis tanaman berdasarkan fotoperiodisme, yaitu lamanya penyinaran dalam satu hari. Jenis tanaman hari panjang dan tanaman hari pendek dirangsang pertumbuhannya dengan memberikan penyinaran yang bisa berasal dari sumber cahaya buatan seperti cahaya lampu maupun LED, sehingga tanaman tersebut dapat ditanam diluar musim tanamnya (Endah, 2001).

Kualitas cahaya yang diberikan pada tanaman berkaitan erat dengan panjang gelombangnya, dimana warna ungu dan biru memiliki panjang gelombang yang lebih pendek dibandingkan warna lainnya, sehingga memiliki energi foton yang lebih besar. Panjang gelombang dari warna-warna ini mempengaruhi proses fotosintesis yang tentunya berpengaruh terhadap proses pertumbuhan dan perkembangan tanaman. Panjang gelombang yang banyak diserap oleh tanaman adalah cahaya yang berwarna ungu sampai biru dan jingga sampai merah (Firnanda, 2017).

Panjang gelombang pada spektrum cahaya tampak (*visible spectrum*) ditunjukkan dalam Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Panjang Gelombang pada Spektrum Cahaya Tampak

Sumber: (Bruno & Paris, 2005)

Warna	Panjang Gelombang (nm)
Nila-Ungu	380-450
Biru	450-495
Hijau	495-570
Kuning	570-590
Jingga	590-620
Merah	620-750

2.5. Larutan Nutrisi

Larutan nutrisi yang mengandung unsur-unsur hara merupakan salah satu aspek terpenting yang harus terpenuhi untuk membantu proses pertumbuhan maupun perkembangan tanaman. Dalam larutan nutrisi, terdapat 13 unsur penting yang disebut unsur hara esensiil dan diklasifikasikan menjadi makronutrien (dibutuhkan dalam jumlah yang lebih banyak) dan mikronutrien (dibutuhkan dalam jumlah yang lebih sedikit). Unsur-unsur yang termasuk makronutrien yaitu Nitrogen (N), Fosfor (P), Kalium (K), Kalsium (Ca), Magnesium (Mg), dan sulfur (S). Sedangkan, unsur-unsur yang termasuk ke dalam mikronutrien adalah Besi (Fe), Mangan (Mn), Boron (B), Tembaga (Cu), Zinc (Zn), Molibdenum (Mo), dan Klor (Cl). Selain itu, dibutuhkan pula unsur Karbon (C) dan Oksigen (O) yang didapatkan dari atmosfer, serta Hidrogen (H) yang terdapat di dalam air (Orsini, Michelin, & Gianquinto, 2012).

- Nitrogen (N)

Nitrogen dibutuhkan sebagai komponen utama pembentukan klorofil, mendorong pertumbuhan tanaman secara cepat, merangsang pertumbuhan vegetatif, dan meningkatkan kualitas tanaman (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018). Kekurangan unsur Nitrogen dapat menyebabkan terjadinya klorosis pada daun, yaitu daun menjadi kuning seluruhnya dan agak kecoklatan saat mati (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Fosfor (P)
Fosfor dibutuhkan untuk merangsang pembentukan dan perkembangan akar maupun bunga, berkontribusi pada pematangan biji, mendorong pewarnaan pada buah, dan membantu pembentukan biji serta vigor tanaman (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018). Kekurangan unsur Fosfor menyebabkan tumbuhan menjadi kerdil, daun berwarna hijau tua, tangkai pendek, pembentukan antosianin pada batang tulang daun, dan yang lebih parah adalah timbulnya daerah nekrotik pada bagian-bagian tumbuhan (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).
- Kalium (K)
Unsur ini berguna sebagai katalisator dalam mengaktifkan enzim-enzim penting yang berguna dalam proses fotosintesis maupun respirasi, serta mengaktifkan enzim yang dibutuhkan dalam pembentukan pati maupun protein. Kekurangan Kalium dapat dilihat pada daun tua yang mengalami klorosis, kemudian menjadi bercak berwarna gelap (bercak mati) yang meluas dengan cepat (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).
- Kalsium (Ca)
Unsur ini dibutuhkan untuk merangsang pembentukan dan perkembangan akar lateral, meningkatkan vigor tanaman, serta merangsang pembentukan biji (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018). Kekurangan unsur ini dapat mengakibatkan kerusakan pada tanaman, bahkan sampai kematian (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).
- Magnesium (Mg)
Magnesium adalah komponen utama dari klorofil yang digunakan dalam proses biosintesis gula (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018). Kekurangan unsur ini dapat mengakibatkan klorosis pada daun tua yang terlihat pada bagian urat daun (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).
- Sulfur (S)
Sulfur digunakan untuk mempertahankan warna hijau daun, merangsang produksi benih, dan membantu perkembangan tanaman (Swastika, Yulfida, & Sumitro, 2018).

- Besi (Fe)

Besi digunakan sebagai katalis utama dalam pembentukan klorofil yang berguna dalam proses fotosintesis. Kekurangan unsur ini ditandai dengan daun yang berwarna kuning pucat atau putih (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Mangan (Mn)

Unsur ini bekerja sama dengan enzim tanaman untuk mengurangi nitrat sebelum memproduksi protein. Kekurangan Mangan ditandai dengan adanya daun muda yang berbintik kuning atau coklat (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Boron (B)

Boron dibutuhkan oleh sel tumbuhan dalam proses pembelahan dan pembentukan protein. Selain itu, Boron memegang peranan penting dalam proses penyerbukan dan produksi benih (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Tembaga (Cu)

Unsur ini digunakan sebagai katalis beberapa enzim tanaman. Kekurangan Tembaga membuat tumbuhan menjadi layu, tidak teratur, bahkan menyebabkan kematian mendadak (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Zinc (Zn)

Zinc digunakan sebagai katalis dengan jumlah kecil yang dibutuhkan dalam proses pertumbuhan tanaman. Kekurangan unsur ini ditandai dengan tanaman yang menjadi kerdil, daun menguning, dan menjadi keriting. Sedangkan, kelebihan unsur ini dapat menyebabkan keracunan pada tanaman, bahkan menyebabkan tanaman menjadi layu atau mati (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Molibdenum (Mo)

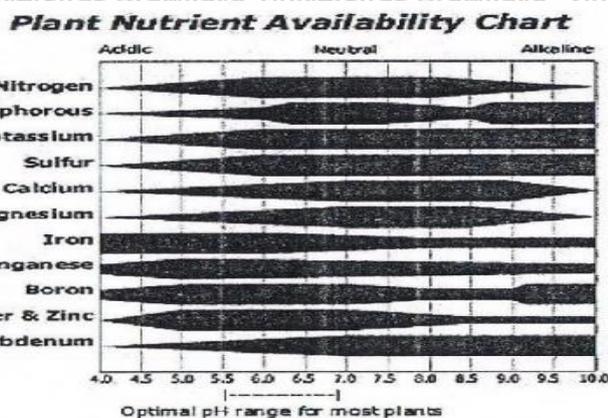
Molibdenum digunakan dalam pembentukan protein dan membantu tanaman dalam mendapatkan Nitrogen dari udara. Kekurangan unsur ini dapat menyebabkan daun menjadi pucat serta pertumbuhan daun menjadi tidak teratur (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

- Klor (Cl)

Kekurangan unsur ini dapat menyebabkan daun menjadi layu, menguning, mati, serta ujung akar menjadi kerdil (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017).

Dari penjelasan-penjelasan terkait unsur hara dalam larutan nutrisi, terdapat faktor-faktor yang mempengaruhi serapan hara maupun ketersediaan nutrisi dalam larutan, yaitu pH larutan, konduktivitas listrik larutan, komposisi nutrisi, dan

temperatur larutan (Trejo-Tellez & Gomez-Merino, 2012). Hubungan antara nilai pH larutan terhadap ketersediaan unsur-unsur hara dalam larutan nutrisi tanaman ditunjukkan dalam Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Hubungan Nilai pH terhadap Ketersediaan Hara Tanaman

Sumber: (Purbajanti, Slamet, & Kusmiyati, 2017)

Secara umum, tanaman yang dipanen pada bagian daunnya membutuhkan unsur Nitrogen yang lebih tinggi untuk mendorong pertumbuhan vegetatif. Sedangkan, tanaman yang dipanen pada bagian buahnya membutuhkan unsur Nitrogen yang lebih rendah dibandingkan unsur Fosfor, Kalium, dan Kalsium. Selain itu, kondisi pencahayaan juga mempengaruhi kebutuhan unsur Nitrogen pada tanaman, dimana pada kondisi cahaya yang cerah atau terang dibutuhkan lebih banyak unsur Nitrogen dibandingkan kondisi cahaya yang redup. Pengaruh pemberian unsur-unsur hara dalam larutan nutrisi terhadap pertumbuhan dan perkembangan daun pada tanaman pakcoy dapat dilihat dalam Gambar 2.4.



Above: The response of Pak Choy plants to the elimination of nitrogen, phosphorus, potassium, sulphur, calcium, magnesium or iron from the nutrient solution, compared with plants fed a complete solution.

Gambar 2.4 Pengaruh Pemberian Unsur Hara Terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Daun Tanaman Pakcoy

Sumber: (Parks & Murray, 2011)

2.6. Derajat Keasaman (pH)

pH (*power of Hydrogen*) atau derajat keasaman merupakan skala yang digunakan untuk menyatakan tingkat kandungan asam maupun basa dalam suatu zat, larutan, atau benda. Untuk pH normal bernilai 7, sementara untuk asam bernilai pH kurang dari 7, dan untuk basa bernilai pH lebih dari 7. pH yang bernilai 0 menunjukkan derajat keasaman yang sangat tinggi dan sebaliknya pH yang bernilai 14 menunjukkan derajat kebasaaan yang sangat tinggi (Ardiansyah, 2015).

Derajat keasaman dapat diukur menggunakan pH meter yang bekerja berdasarkan sifat elektrolit/konduktivitas suatu larutan. Dalam alat pengukuran pH terbagi menjadi tiga bagian, yaitu elektroda pengukuran pH, elektroda referensi, dan alat pengukur impedansi tinggi. Perlu diingat, bahwa alat pengukuran pH tidak mengukur arus, melainkan hanya mengukur tegangan berdasarkan potensial elektro kimia dari ion Hidrogen. Dalam air murni pada suhu 25°C, konsentrasi dari ion Hidrogen (H^+) adalah 10^{-7} mol/liter, sehingga pH dari air murni pada suhu tersebut adalah bernilai 7 (Ardiansyah, 2015).

Skala yang digunakan untuk menentukan suatu larutan bersifat asam atau basa dapat dilihat dalam Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Skala pH untuk Beberapa Jenis Larutan

Sumber: (Ardiansyah, 2015)

2.7. Elektroda pH

Elektroda pH atau *probe* umumnya berbentuk batang silinder yang terbuat dari kaca. Pada bagian bawahnya, terdapat bagian berbentuk seperti bohlam yang merupakan bagian sensitif dari *probe*. Di dalam *probe*, terdapat dua elektroda terpisah,

yang bentuknya seperti potongan sederhana dari kawat logam dan memiliki *mini chemical set*. Elektroda pertama disebut elektroda kaca, karena terdapat kawat listrik perak di dalam larutan kalium klorida yang terletak di membran tipis, dimana membran tersebut terbuat dari kaca khusus yang mengandung garam logam (umumnya senyawa natrium dan kalsium). Sedangkan, elektroda kedua disebut elektroda referensi yang memiliki kawat kalium klorida di dalam larutan kalium klorida (Lim, 2020).

Kalium klorida di dalam elektroda kaca merupakan larutan netral yang memiliki pH 7, sehingga mengandung ion Hidrogen (H^+). Pengukuran pH larutan dilakukan pada elektroda kaca dengan cara mengukur tegangan yang dihasilkan oleh ion Hidrogen masing-masing larutan. Ion Hidrogen yang bergerak ke arah permukaan luar dari elektroda kaca akan menggantikan beberapa ion logam di dalamnya, sedangkan beberapa ion logam akan bergerak dari elektroda kaca ke larutan, proses inilah yang disebut proses pertukaran ion. Selain itu, pertukaran ion juga terjadi di dalam permukaan elektroda kaca dari larutan. Kedua larutan yang terdapat di masing-masing sisi kaca memiliki keasaman yang berbeda satu sama lain, sehingga jumlah pertukaran ion yang berbeda terjadi pada kedua sisi kaca. Beda potensial atau tegangan yang diakibatkan karena adanya perbedaan muatan antara kedua sisi kaca inilah yang akan menghasilkan perbedaan tegangan antara elektroda perak dan elektroda referensi yang menjadi hasil dari pengukuran (Lim, 2020). Bentuk fisik dari elektroda pH yang digunakan dapat dilihat dalam Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Bentuk Fisik Elektroda pH
Sumber: (Dokumen Pribadi)

Sementara itu, tegangan keluaran elektroda terhadap nilai pH dapat dilihat dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tegangan Keluaran Elektroda terhadap Nilai pH

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Voltage (mV)	pH Value	Voltage (mV)	pH Value
414,12	0,00	-414,12	14,00
354,96	1,00	-354,96	13,00
295,80	2,00	-295,80	12,00
236,64	3,00	-236,64	11,00
177,48	4,00	-177,48	10,00
118,32	5,00	-118,32	9,00
59,16	6,00	-59,16	8,00
0,00	7,00	0,00	7,00

2.8. Total Padatan Terlarut (*Total Dissolved Solids*)

Total padatan terlarut (*Total Dissolved Solids*) adalah bahan-bahan terlarut yang memiliki diameter kurang dari 10^{-6} mm dan koloid yang berdiameter kurang dari 10^{-6} sampai 10^{-3} mm. Padatan ini berupa senyawa-senyawa kimia atau bahan-bahan lain yang tidak dapat tersaring oleh kertas saring yang berdiameter $0,45 \mu\text{m}$. Total padatan terlarut dapat berupa senyawa organik maupun senyawa anorganik. Senyawa organik yang dimaksud berasal dari hasil penguraian vegetasi, sedangkan senyawa anorganik berasal dari mineral, logam, maupun gas yang terbawa masuk ke dalam air setelah terjadi kontak dengan materi pada permukaan tanah. Total padatan terlarut dalam jumlah yang banyak dapat menimbulkan warna, rasa, dan bau yang tidak sedap dalam air. Beberapa senyawa kimia pembentuk padatan terlarut ini bersifat beracun dan merupakan senyawa organik yang bersifat karsinogenik. Tetapi, beberapa senyawa ini dapat memberikan rasa segar pada air minum (Adhitya, Bayu, Nurjanah, & Syakur, 2013).

Jumlah dan sumber padatan terlarut yang terdapat di dalam air sangat bervariasi. Pada air minum, mayoritas padatan terlarut terdiri atas garam anorganik, sebagian kecil materi organik, dan gas yang terlarut. Total padatan yang terlarut dalam air minum berada pada kisaran 20 sampai 1000 mg/l (Juju, 2012). Sedangkan, total padatan terlarut dalam sebagian besar ekosistem perairan adalah sebesar 1000 mg/l (Sihombing, 2011).

Total padatan terlarut termasuk ke dalam parameter fisik yang konsentrasi maupun jumlahnya dalam air bersih telah ditetapkan dalam Permenkes RI No. 416/Menkes/Per/IX/1990 tentang Syarat-Syarat dan Pengawasan Kualitas Air Bersih.

Total padatan terlarut yang tinggi menjadi suatu bahan pertimbangan dalam menentukan sesuai atau tidaknya air untuk digunakan dalam kegiatan rumah tangga.

Total padatan terlarut memenuhi persyaratan jika hasilnya sebesar 1500 mg/l, dan tidak memenuhi persyaratan jika hasilnya melebihi nilai tersebut (Martani & Endarko, 2014).

Pada budidaya tanaman pakcoy secara hidroponik, nilai total padatan terlarut minimum dalam larutan nutrisi yang dibutuhkan sebesar 500 ppm, dan nilai total padatan terlarut maksimum dalam larutan nutrisi yang dibutuhkan berkisar 1050 sampai 1400 ppm. Pemberian nutrisi yang terlalu sedikit dapat menyebabkan penghambatan perkembangan akar, sehingga mengganggu penyerapan unsur hara dalam larutan nutrisi oleh akar. Sedangkan, ketika tanaman diberikan nutrisi yang terlalu banyak dapat menyebabkan berkurangnya perkembangan vegetatif dan dapat menyebabkan keracunan bagi tanaman pakcoy. Untuk itu, tanaman harus diberikan nutrisi dengan total padatan terlarut yang sesuai dengan kebutuhan dan umur dari tanaman, dimana kebutuhan total padatan terlarut larutan nutrisi ini semakin bertambah seiring dengan bertambahnya umur dari tanaman pakcoy. Larutan nutrisi yang digunakan adalah larutan AB *mix* yang di dalamnya sudah mengandung makronutrien dan mikronutrien yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga dalam pemberian nutrisinya ke tanaman dapat lebih efektif dan efisien, yaitu cukup mencampurkan larutan nutrisi A dan B ke dalam air bersih dengan takaran larutan yang sama antara nutrisi A dan B sesuai umur tanaman dan total padatan terlarut (ppm) yang dibutuhkan oleh tanaman pakcoy. Kebutuhan total padatan terlarut (ppm) dalam larutan nutrisi tanaman pakcoy dapat dilihat dalam Gambar 2.7.

CARA PEMBERIAN NUTRISI HYDRO POWER (HYPO)
www.sumbermakmur.net TLP/WA/SMS: 082245783988
www.facebook.com/tan.hydroponer BBM: 58101835

NO	TANAMAN	PPM MAK	PH	PANEN	TAKARAN	PEMBERIAN NUTRISI HYDRO POWER PER MINGGU SETELAH PINDAH TANAM (+ 1 MINGGU)																
						1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Bayam	1260-1610	6,0-7,0	25	ppm 2A+1B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
2	Brokoli	1050-1400	6,5-7,0	75	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
3	Bunga Kol	1050-1400	6,5-7,0	75	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
4	Calab	1260-1540	6,0-6,5	40-45	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
5	Kailan	1050-1400	5,5-6,5	40-70	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
6	Kangkung	1050-1400	5,5-6,5	28	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
7	Melon	1800-1750	5,5-6,0	74	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
8	Pak Choy	1050-1400	6,5-7	40-60	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		
9	Sawi	1050-1400	5,5-6,5	40-60	ppm 1,5A+1,5B	500	700	900	1200	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300	1300		

Bisa berubah terus hingga 1 tahun atau lebih

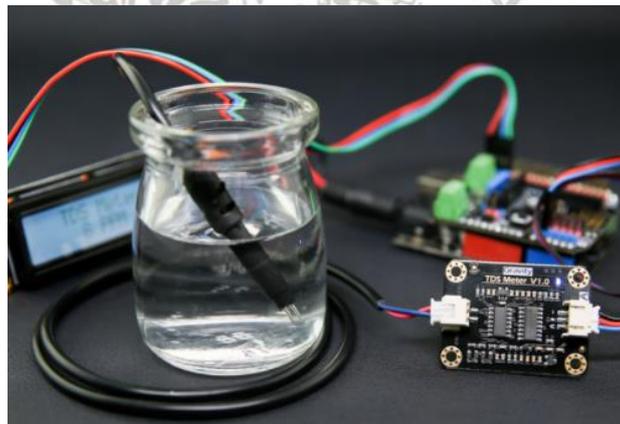
Dengan metode padding bisa dipanen 2x per 2 minggu

8	Pak Choy	1050-1400	6,5-7	40-60	ppm m(A+B)/L	500	700	900	1200	1200	1300	1300	1300	1300
						1,5A+1,5B	3A+3B	4A+4B	5A+5B	5A+5B	5,5A+5,5B	5,5A+5,5B	5,5A+5,5B	5,5A+5,5B

Gambar 2.7 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Pakcoy dalam ppm
Sumber: (Sumber Makmur, 2016)

2.9. Sensor TDS SEN0244

Sensor TDS merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur total padatan terlarut dalam air dengan satuan *parts per million*. Semakin tinggi nilai yang terukur oleh sensor TDS, berarti semakin banyak padatan yang terlarut di dalam air, dan sebaliknya (DFRobot, n.d.). Sensor TDS terbagi menjadi dua bagian, yaitu bagian *probe* dan bagian rangkaian pengondisi sinyal. Bagian *probe* yang dicelupkan ke dalam cairan terdiri dari dua elektroda yang akan mengalirkan arus akibat perpindahan ion-ion antara elektroda-elektroda tersebut dengan cairan. Ion-ion ini digunakan untuk mengukur konduktivitas cairan, dimana semakin banyak jumlah ion maka semakin tinggi konduktivitas cairan tersebut, dan sebaliknya. Besaran listrik dari *probe* ini akan dikuatkan oleh rangkaian pengondisi sinyal, sehingga menghasilkan tegangan keluaran analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Selain itu, rangkaian pengondisi sinyal ini juga membutuhkan tegangan referensi dari mikrokontroler untuk menentukan nilai ADC (Lim, 2020). Bentuk fisik dari sensor TDS yang digunakan dapat dilihat dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Bentuk Fisik Sensor TDS SEN0244

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Sementara itu, spesifikasi sensor TDS SEN0244 dapat dilihat dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor TDS SEN0244

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Masukan	3,3 volt sampai 5,5 volt
Tegangan Keluaran	0 volt sampai 2,3 volt
Arus kerja	3 mA sampai 6 mA

Range Pengukuran TDS	0 ppm sampai 1000 ppm
Akurasi Pengukuran TDS	$\pm 10\%$ F.S. (25°C)
Jumlah Jarum Probe	2 buah
Panjang Total Probe	83 cm
Jenis Probe	Tahan air

2.10. Potensial Oksidasi-Reduksi (*Oxidation-Reduction Potential*)

Oxidation Reduction Potential (ORP) dapat diartikan sebagai nilai tegangan ketika oksidasi terjadi pada bagian anoda (positif) dan reduksi terjadi pada bagian katoda (negatif) sel elektrokimia. Satuan dari *Oxidation Reduction Potential* (ORP) sama seperti satuan tegangan, yaitu volt (V) atau millivolt (mV). Reaksi oksidasi ini menggambarkan elektron yang meninggalkan membran sel pada mikroorganisme, hal ini menyebabkan sel menjadi tidak stabil, rusak, dan akan mati (Adhitya, Bayu, Nurjanah, & Syakur, 2013).

Oxidation Reduction Potential (ORP) dapat diartikan juga sebagai kemampuan suatu cairan dalam membunuh bakteri yang ada dalam cairan tersebut. Nilai ORP pada cairan yang semakin tinggi menandakan bahwa cairan tersebut mampu membunuh bakteri dalam waktu yang semakin cepat, dan sebaliknya. Selain itu, *Oxidation Reduction Potential* (ORP) digunakan untuk mengetahui banyaknya mikroorganisme yang terdapat dalam air (Sudarto, Retnowaty, Fitri, & Suroso, 2015).

Pada budidaya tanaman konvensional maupun hidroponik, nilai ORP sangat mempengaruhi kemampuan akar tanaman dalam menyerap unsur hara dari larutan nutrisi dan bahkan dapat mempengaruhi struktur kimia dari unsur hara tersebut. Nilai ORP yang baik bagi pertumbuhan tanaman berkisar 250 mV sampai 400 mV. Hal ini dikarenakan, nilai ORP dibawah 250 mV memiliki jumlah oksigen yang rendah, sehingga dapat mengganggu kemampuan akar dalam menyerap unsur hara. Selain itu, jumlah senyawa nitrit dan sulfida juga tinggi yang tentunya sangat beracun bagi tanaman. Sedangkan, ketika nilai ORP diatas 400 mV, akan terjadi reduksi nitrat atau denitrifikasi yang berbahaya bagi pertumbuhan tanaman (Hanna Instruments, n.d.).

2.11. Sensor ORP SEN0165

Sensor ORP merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur potensial reduksi oksidasi di dalam air. Semakin tinggi nilai yang terukur oleh sensor ORP, berarti cairan tersebut semakin bersifat oksidasi, dan sebaliknya. Sensor ORP terbagi menjadi dua

bagian, yaitu bagian *probe* dan bagian rangkaian pengondisi sinyal. Bagian *probe* yang dicelupkan ke dalam cairan terdiri dari dua elektroda. Elektroda pertama biasanya terbuat dari perak yang dicelupkan ke larutan elektrolit, dimana nantinya elektroda ini akan menghasilkan nilai tegangan konsisten yang digunakan sebagai referensi elektroda kedua yang terbuat dari platina (DFRobot, n.d.). Beda potensial antara elektroda inilah yang nantinya akan dikuatkan oleh rangkaian pengondisi sinyal, sehingga menghasilkan tegangan keluaran analog yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Selain itu, rangkaian pengondisi sinyal ini juga membutuhkan tegangan referensi dari mikrokontroler untuk menentukan nilai ADC. Bentuk fisik dari sensor ORP yang digunakan dapat dilihat dalam Gambar 2.9.



Gambar 2.9 Bentuk Fisik Sensor ORP SEN0165

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Sementara itu, spesifikasi sensor ORP SEN0165 dapat dilihat dalam Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor ORP SEN0165

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Catu Daya	5 volt
Range Pengukuran	-2000 mV sampai 2000 mV
Temperatur Kerja	5°C sampai 70°C
Akurasi Pengukuran	± 10 mV (25°C)
Waktu Respons	≤ 20 detik

2.12. Suhu

Sumber utama dari panas yang diterima oleh bumi adalah berasal dari matahari yang suhu pada permukaannya diperkirakan sebesar 6000°C . Panas yang diterima oleh bumi hanya sekitar empat per sepuluh juta kali dari total energi yang dipancarkan oleh matahari (Tando, 2019).

Energi yang dipancarkan oleh sinar matahari tidak langsung diterima oleh permukaan bumi, melainkan beberapa diantaranya dipantulkan, dialihkan, ataupun diserap melalui beberapa media serapan. Pada lapisan atmosfer bumi, gelombang sinar ultraviolet diserap oleh lapisan ozon dan gas oksigen. Lapisan-lapisan tersebut sangat berguna untuk melindungi kehidupan tanaman, hewan, dan manusia di bumi (Tando, 2019).

Pengaruh suhu terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman terbagi menjadi dua, yaitu batas suhu yang membantu pertumbuhan perkembangan tanaman dan batas suhu yang tidak membantu pertumbuhan perkembangan tanaman. Berdasarkan pengaruh suhu tersebut, tanaman hortikultura dapat dikelompokkan menjadi (Tando, 2019):

- a. Tanaman dengan batas suhu optimum yang rendah atau tanaman musim dingin, yaitu tanaman yang dapat tumbuh dengan baik pada suhu antara 45° sampai 60°F .
- b. Tanaman dengan batas suhu optimum yang tinggi atau tanaman musim panas, yaitu tanaman yang dapat tumbuh dengan baik pada suhu antara 60° sampai 75°F .

2.13. Sensor DS18B20

Sensor suhu DS18B20 adalah salah satu sensor yang memiliki kemampuan tahan air (*waterproof*). Oleh karena itu, sensor ini cocok digunakan untuk mengukur suhu pada tempat yang basah atau di dalam air (Pakpahan, 2018).

Sensor DS18B20 memiliki keluaran berupa sinyal digital yang diakses dengan metode serial 1 *wire*. Dalam penggunaannya, sensor ini sangat menghemat penggunaan pin mikrokontroler, karena 1 pin mikrokontroler dapat digunakan untuk berkomunikasi dengan beberapa sensor DS18B20 lainnya. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup tinggi, yaitu sebesar $0,5^{\circ}\text{C}$ pada rentang suhu pengukuran -10°C sampai 85°C . Karena keluaran dari sensor ini sudah berupa sinyal digital, maka tidak dibutuhkan ADC agar mikrokontroler dapat berkomunikasi dengan sensor ini (Pratiwi, 2009). Bentuk fisik dari sensor DS18B20 dapat dilihat dalam Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Bentuk Fisik Sensor DS18B20

Sumber: (Pakpahan, 2018)

Sementara itu, spesifikasi sensor DS18B20 dapat dilihat dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor DS18B20

Sumber: (maxim integrated, 2019)

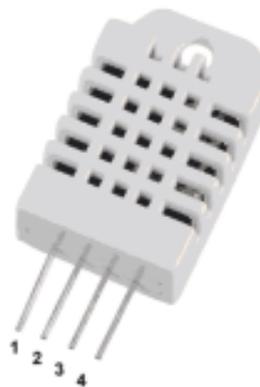
Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Catu Daya	3 volt sampai 5,5 volt
Range Pengukuran	-55°C sampai 125°C
Akurasi Pengukuran	$\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (-10°C sampai 85 °C)
Programmable Resolution	9 bit sampai 12 bit

2.14. Sensor DHT22

Sensor DHT22 atau AM2302 merupakan sensor suhu dan kelembapan udara, dimana keluaran dari sensor ini berupa sinyal digital yang konversi dan perhitungannya dilakukan oleh MCU 8 bit terpadu. Sensor ini memiliki kalibrasi yang akurat, dengan kompensasi suhu ruang penyesuaian dan nilai koefisien tersimpan di dalam memori OTP terpadu. Sensor DHT22 memiliki rentang pengukuran suhu maupun kelembapan udara yang luas, dan mampu mentransmisikan sinyal keluaran hingga jarak 20 meter menggunakan kabel dengan menambahkan *buffer capacitor* sebesar 0,33 μF yang diletakkan antara pin VCC dengan pin GND (Amrullah, 2017).

Bentuk fisik dari sensor DHT22 dapat dilihat dalam Gambar 2.11.

DHT22 pins	
1	VCC
2	DATA
3	NC
4	GND



Gambar 2.11 Bentuk Fisik Sensor DHT22

Sumber: (Amrullah, 2017)

Sementara itu, spesifikasi sensor DHT22 dapat dilihat dalam Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Spesifikasi Sensor DHT22

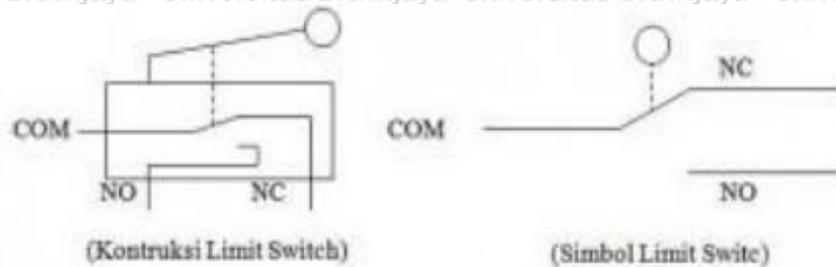
Sumber: (Aosong Electronics Co., Ltd, n.d.)

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Catu Daya	3,3 volt sampai 6 volt DC
Sinyal Keluaran	Sinyal digital via <i>single-bus</i>
Range Pengukuran	Kelembapan: 0% sampai 100% RH Temperatur: -40°C sampai 80°C
Akurasi Pengukuran	Kelembapan: $\pm 2\%$ RH (Max $\pm 5\%$ RH) Temperatur: $\pm 0,5^\circ\text{C}$
Resolusi	Kelembapan: 0,1% RH Temperatur: 0,1°C
Repeatability	Kelembapan: $\pm 1\%$ RH Temperatur: $\pm 0,2^\circ\text{C}$
Periode Sensing	Rata-rata 2 detik

2.15. Saklar Pembatas (*Limit Switch*)

Limit switch atau saklar pembatas merupakan alat yang dapat berfungsi untuk memutuskan maupun menghubungkan arus listrik dalam suatu rangkaian elektronik. Jika dilihat dari struktur mekaniknya, *limit switch* memiliki tiga buah pin atau terminal, yaitu *Central (C)*, *Normally Close (NC)*, dan *Normally Open (NO)*. Terminal-terminal tersebut memiliki fungsi yang sama untuk memutuskan ataupun menghubungkan arus

listrik berdasarkan konstruksinya (Saleh & Haryanti, 2017). Konstruksi dan simbol dari *limit switch* dapat dilihat dalam Gambar 2.12.



Gambar 2.12 Konstruksi dan Simbol *Limit Switch*

Sumber: (Saleh & Haryanti, 2017)

Limit Switch merupakan salah satu jenis saklar yang memiliki katup yang fungsinya sama seperti tombol. Selain itu, *limit switch* termasuk ke dalam jenis sensor mekanis yang prinsip kerjanya secara umum yaitu memberikan perubahan secara elektrik ketika terjadi perubahan mekanik pada sensor tersebut (Saleh & Haryanti, 2017).

Prinsip kerja dari *limit switch* berdasarkan perubahan mekanik, yaitu berupa katup yang ditekan atau dilepas. Ketika katup dilepas, terminal *Central (C)* akan terhubung (*short circuit*) dengan terminal *Normally Close (NC)*, dan akan tercipta rangkaian terbuka (*open circuit*) antara terminal *Central (C)* dengan terminal *Normally Open (NO)*. Namun, ketika katup ditekan akan terjadi peristiwa yang berlawanan, yaitu terminal *Central (C)* akan terhubung (*short circuit*) dengan terminal *Normally Open (NO)*, dan akan tercipta rangkaian terbuka (*open circuit*) antara terminal *Central (C)* dengan terminal *Normally Close (NC)*. Bentuk fisik dari *limit switch* dapat dilihat dalam Gambar 2.13.



Gambar 2.13 Bentuk Fisik *Limit Switch*

Sumber: (Saleh & Haryanti, 2017)

Limit switch pada alat ini digunakan sebagai sensor ketinggian air untuk memastikan ketinggian air yang mengalir pada *gully* tidak melebihi ketinggian air maksimum, berdasarkan tertekan atau tidaknya katup *limit switch* oleh permukaan air tersebut.

2.16. RTC DS3231

RTC (*Real Time Clock*) adalah sebuah IC yang berfungsi untuk menghitung waktu, mulai dari detik, menit, jam, tanggal, bulan, maupun tahun. Terdapat beberapa jenis RTC yang beredar dipasaran, yaitu DS1307, DS1302, DS12C887, DS3234, dan DS3231 (Yana, 2016).

Modul RTC DS3231 memiliki akurasi dan presisi yang sangat tinggi dalam mencacah waktu dengan menggunakan IC *extremely accurate temperature compensated* RTC (TCXO). RTC ini memiliki kristal *internal* dan rangkaian kapasitor *tuning*, dimana suhu dan kristal dimonitor secara berkesinambungan dan nilai kapasitor diatur secara otomatis untuk menjaga kestabilan frekuensi (Yana, 2016).

Umumnya, modul RTC ini telah dilengkapi dengan *battery* CR2032 3V yang berfungsi sebagai catu daya *backup* jika catu daya utama mati atau terputus. Untuk mengakses modul ini, dibutuhkan antarmuka I2C atau *two wire*, sehingga pin yang dibutuhkan agar dapat diakses oleh mikrokontroler adalah pin SDA, SCL, VCC, dan GND (Darmawan, 2019). Bentuk fisik dari RTC DS3231 dapat dilihat dalam Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Bentuk Fisik RTC DS3231

Sumber: (Darmawan, 2019)

Sementara itu, spesifikasi RTC DS3231 dapat dilihat dalam Tabel 2.8.

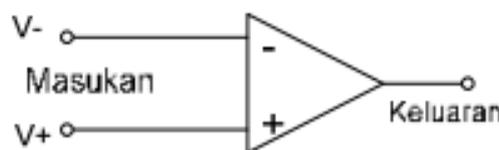
Tabel 2.8 Spesifikasi RTC DS3231

Sumber: (maxim integrated, 2015)

Spesifikasi	Keterangan
Tegangan Catu Daya	2,3 volt sampai 5,5 volt DC
Range Suhu Pengoperasian	Komersial: 0°C sampai 70°C Industri: -40°C sampai 85°C
Akurasi Pengukuran	Komersial: ± 2 ppm (0°C sampai 40°C) Industri: $\pm 3,5$ ppm

2.17. Penguat Operasional (*Operational Amplifier*)

Penguat operasional atau disebut Op-Amp merupakan suatu komponen elektronika yang biasa digunakan dalam operasi-operasi aritmatika seperti penjumlahan, integrasi, dan lain-lain. Penguat operasional memiliki karakteristik ideal, diantaranya yaitu lebar pita yang nilainya tak terhingga (*infinite bandwidth*), nilai impedansi masukan tak terhingga (*infinite input impedance*), dan nilai impedansi keluaran sama dengan nol (*zero output impedance*) (Sanjaya, 2007). Simbol dari penguat operasional dapat dilihat dalam Gambar 2.15.

**Gambar 2.15** Simbol Penguat Operasional

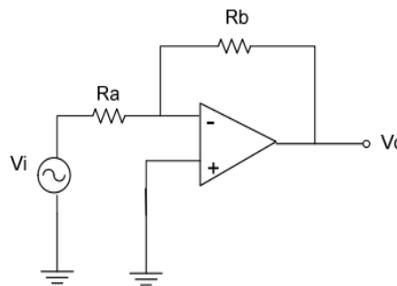
Sumber: (Sanjaya, 2007)

Dari simbol penguat operasional yang dapat dilihat dalam Gambar 2.15, penguat ini memiliki dua terminal masukan, yaitu masukan positif atau *non inverting* (V^+) dan masukan negatif atau *inverting* (V^-). Selain itu, penguat operasional juga memiliki dua terminal catu daya yang digunakan untuk mengaktifkan penguat ini. Umumnya, penguat operasional diberi catu daya dengan polaritas ganda atau bipolar antara ± 5 volt sampai ± 15 volt sesuai dengan spesifikasinya (Sanjaya, 2007).

2.17.1. Penguat Membalik (*Inverting Amplifier*)

Penguat membalik artinya tegangan masukan (V_i) berada pada terminal masukan negatif atau *inverting* (V^-) dan fasa tegangan keluaran (V_o) adalah

kebalikan dari fasa tegangan masukan (V_i). Rangkaian penguat *inverting* dapat dilihat dalam Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Rangkaian Penguat *Inverting*

Sumber: (Sanjaya, 2007)

Berdasarkan Gambar 2.16, variabel R_a merupakan hambatan masukan dan R_b merupakan hambatan umpan balik. Perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan atau disebut penguatan tegangan (A_v) dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2.1) yaitu sebagai berikut:

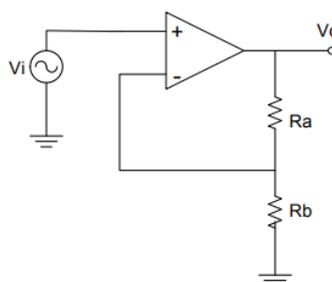
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = - \frac{R_b}{R_a} \quad (2.1)$$

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa penguatan tegangan (A_v) yang menggunakan penguat *inverting* nilainya bisa kurang dari 1, sama dengan 1 (*unity*), atau bahkan lebih dari 1 (Sanjaya, 2007).

2.17.2. Penguat Tidak Membalik (*Non Inverting Amplifier*)

Berbeda dengan penguat membalik, penguat tidak membalik artinya tegangan masukan (V_i) berada pada terminal masukan positif atau *non inverting* (V^+) dan fasa tegangan keluaran (V_o) adalah sama dengan fasa tegangan masukan (V_i). Rangkaian penguat *non inverting* dapat dilihat dalam

Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Rangkaian Penguat *Non Inverting*

Sumber: (Sanjaya, 2007)

Berdasarkan Gambar 2.17, perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan atau disebut penguatan tegangan (A_v) dapat dirumuskan seperti pada persamaan (2.2) yaitu sebagai berikut:

$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = 1 + \frac{R_a}{R_b} \quad (2.2)$$

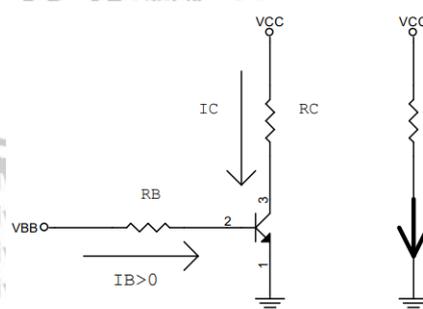
Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa penguatan tegangan (A_v) yang menggunakan penguat *non inverting* nilainya pasti selalu lebih besar dari 1 (Sanjaya, 2007).

2.18. Transistor Bipolar

Transistor bipolar merupakan komponen semikonduktor yang dapat berfungsi sebagai penguat atau saklar. Transistor ini dibagi menjadi transistor NPN dan PNP yang memiliki tiga buah pin atau terminal, yaitu *Base* (B), *Emitter* (E), dan *Collector* (C). Secara umum, transistor bipolar NPN dapat mengatur aliran arus listrik dari *collector* ke *emitter* ketika terminal *base* diberikan aliran arus dan tegangan positif sesuai dengan spesifikasinya (Fauzi, 2012).

Transistor bipolar NPN dapat menghasilkan kondisi *on/off* seperti saklar ketika transistor ini dioperasikan pada salah satu kondisi kerjanya, yaitu kondisi saturasi dan *cut off*. Saat kondisi saturasi, yaitu ketika terminal *base* diberikan aliran arus (I_B) dan tegangan positif sesuai dengan spesifikasinya, transistor bekerja seperti sebuah saklar tertutup, sehingga arus (I_C) dapat mengalir dari terminal *collector* ke *emitter*.

Transistor dalam kondisi saturasi dapat dilihat dalam Gambar 2.18.

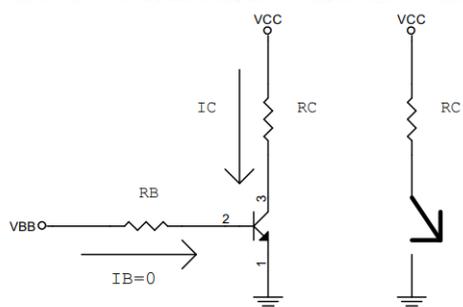


Gambar 2.18 Transistor dalam Kondisi Saturasi

Sumber: (Sanjaya, 2007)

Selain itu, saat kondisi *cut off*, yaitu ketika terminal *base* tidak diberikan aliran arus (I_B) dan tegangan positif sesuai dengan spesifikasinya, transistor bekerja seperti sebuah saklar terbuka, sehingga arus (I_C) tidak dapat mengalir dari *collector* ke *emitter*.

I_C adalah arus beban yang mengalir dari terminal *collector* ke *emitter*. Arus beban ini tidak boleh lebih besar dari I_C maksimum (I_{Cmax}) yang dapat dialirkan oleh transistor tersebut berdasarkan spesifikasinya (Fauzi, 2012). Transistor dalam kondisi *cut off* dapat dilihat dalam Gambar 2.19.

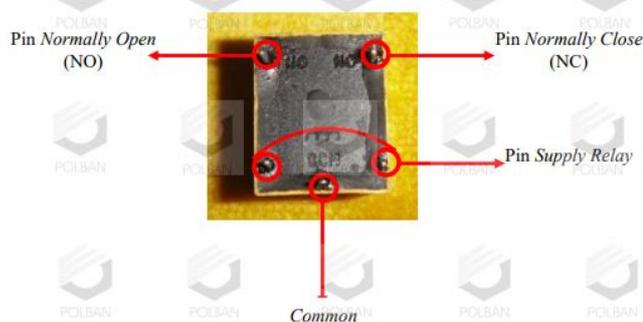


Gambar 2.19 Transistor dalam Kondisi *Cut Off*

Sumber: (Sanjaya, 2007)

2.19. Relay

Relay merupakan saklar elektromagnetik yang dapat bekerja ketika dialiri arus DC pada kumparannya. Umumnya, relay digunakan untuk menghidupkan ataupun mematikan suatu alat atau sistem. Secara sederhana, susunan relay terdiri atas kumparan kawat penghantar yang dililitkan pada inti besi (Fauzi, 2012). Jika dilihat dari struktur mekaniknya, relay memiliki lima buah pin atau terminal, yaitu *Common (COM)*, *Normally Close (NC)*, *Normally Open (NO)*, dan dua terminal *supply* yang dihubungkan ke sumber tegangan DC untuk mengaktifkan relay tersebut sesuai dengan spesifikasinya. Konfigurasi terminal atau pin pada relay dapat dilihat dalam Gambar 2.20.



Gambar 2.20 Konfigurasi Terminal atau Pin Relay

Sumber: (Fauzi, 2012)

Prinsip kerja dari relay berdasarkan terhubung atau tidaknya sumber tegangan DC pada dua terminal *supply* relay dengan besar tegangannya sesuai dengan spesifikasi.

Ketika terminal *supply* relay diberikan tegangan sesuai dengan spesifikasinya, mengalirlah arus pada lilitan kawat penghantar yang akan menimbulkan medan magnet pada kumparan relay, sehingga terminal *Common (COM)* akan terhubung (*short circuit*) dengan terminal *Normally Open (NO)*, dan akan tercipta rangkaian terbuka (*open circuit*) antara terminal *Common (COM)* dengan terminal *Normally Close (NC)*. Namun, ketika terminal *supply* tidak diberikan tegangan sesuai dengan spesifikasi, akan terjadi peristiwa yang berlawanan, yaitu terminal *Common (COM)* akan terhubung (*short circuit*) dengan terminal *Normally Close (NC)*, dan akan tercipta rangkaian terbuka (*open circuit*) antara terminal *Common (COM)* dengan terminal *Normally Open (NO)*. Contoh bentuk fisik dari relay dapat dilihat dalam Gambar 2.21.



Gambar 2.21 Contoh Bentuk Fisik Relay

Sumber: (Fauzi, 2012)

2.20. Light Emitting Diode (LED)

LED merupakan salah satu jenis dioda yang terbuat dari bahan semikonduktor, dapat dikontrol susunan *spectralnya*, dan intensitas cahayanya dapat disesuaikan dengan fotoreseptor tanaman, sehingga dapat menghasilkan pertumbuhan tanaman yang lebih baik (Yeh & Chung, 2009). LED dapat menghasilkan intensitas cahaya yang tinggi dan dapat bertahan selama bertahun-tahun dengan keluaran energi panas yang rendah. Hal ini dikarenakan, LED tidak memiliki filamen yang membutuhkan energi listrik yang lebih besar dan dapat menghasilkan panas seperti pada lampu pijar atau lampu *fluorescent*. Karena menghasilkan panas yang lebih rendah, LED dapat ditempatkan dekat dengan tanaman untuk membantu proses fotosintesis (Barta, Tibbits, Bula, & Morrow, 1992).

LED biasanya digunakan sebagai sumber pencahayaan pada tanaman hidroponik. Berdasarkan hasil penelitian Kobayashi et.al. (2013), penambahan lampu LED dapat mempercepat panen selada. LED yang berwarna biru dapat merangsang pertumbuhan vegetatif, sedangkan LED berwarna merah dapat mempercepat proses pembungaan

(Dea, Sugeng, & Nugroho, 2016). Bentuk fisik dari LED yang digunakan pada alat ini dapat dilihat dalam Gambar 2.22.



Gambar 2.22 Bentuk Fisik LED yang Digunakan
Sumber: (Dokumen Pribadi)

2.21. Pompa Air Celup Mini

Pompa air celup mini atau *mini submersible water pump* merupakan pompa air celup berukuran kecil yang biasanya digunakan pada akuarium, kolam ikan, budidaya hidroponik, kegiatan robotika, maupun proyek pembuatan aplikasi yang berbasis mikrokontroler (Yusuf, 2019).

Pompa air celup mini menggunakan motor DC *brushless* dan bekerja pada level tegangan yang berbeda-beda tergantung spesifikasinya. Pada alat ini menggunakan pompa air celup mini yang bekerja pada tegangan 12 volt dengan debit 600 liter per jam dan ketinggian maksimum 5 meter. Pompa air celup ini memiliki kelebihan diantaranya suara yang dihasilkan dalam penggunaannya tidak berisik dan aman ketika bekerja di dalam air (Yusuf, 2019). Bentuk fisik dari pompa air celup yang digunakan pada alat ini dapat dilihat dalam Gambar 2.23.



Gambar 2.23 Bentuk Fisik Pompa Air yang Digunakan
Sumber: (Dokumen Pribadi)

Dapat dilihat dalam Gambar 2.23, terdapat dua lubang yang memiliki fungsi yang berbeda. Untuk lubang yang menghadap ke samping kiri merupakan lubang yang berfungsi sebagai saluran masuk air ke pompa, sedangkan lubang yang menghadap ke atas berfungsi sebagai saluran keluar air dari pompa.

2.22. Katup Solenoid (*Solenoid Valve*)

Solenoid valve merupakan katup yang dapat digerakkan oleh energi listrik karena memiliki kumparan yang akan menggerakkan piston ketika dialiri arus AC maupun DC. Berdasarkan konstruksinya, *solenoid valve* memiliki tiga lubang yang memiliki fungsi yang berbeda satu sama lain, yaitu lubang masukan, lubang keluaran, dan lubang *exhaust*. Lubang masukan berfungsi sebagai saluran masuk cairan, lubang keluaran berfungsi sebagai saluran keluar cairan, dan lubang *exhaust* berfungsi sebagai saluran untuk mengeluarkan cairan yang terjebak ketika piston bergerak atau berpindah posisi saat *solenoid valve* bekerja (Wibowo, 2017).

Prinsip kerja *solenoid valve* berdasarkan kumparan atau *coil* yang ada di dalamnya. Ketika kumparan tersebut diberi catu tegangan sesuai spesifikasinya, maka kumparan tersebut akan menggerakkan piston yang terletak pada bagian dalamnya, dan ketika piston bergerak atau berpindah posisi, akan keluar air pada lubang keluaran *solenoid valve* yang berasal dari saluran/lubang masukan. Umumnya, *solenoid valve* bekerja ketika diberi catu tegangan sebesar 100/200 VAC, namun ada juga yang bekerja ketika diberi catu tegangan DC (Wibowo, 2017). Alat ini menggunakan *solenoid valve* yang bekerja ketika diberi catu tegangan sebesar 12 VDC dengan tekanan cairan minimumnya adalah 0 MPa. Bentuk fisik dari *solenoid valve* yang digunakan pada alat ini dapat dilihat dalam Gambar 2.24.



Gambar 2.24 Bentuk Fisik *Solenoid Valve* yang Digunakan

Sumber: (Dokumen Pribadi)

2.23. ATmega328

ATmega328 merupakan mikroprosesor keluarga AVR 8 bit yang memiliki ukuran fisik lebih kecil dibandingkan mikroprosesor lain yang sejenis. ATmega328 memiliki memori dan *peripheral* yang relatif sama dengan ATmega8535 dan ATmega32. Namun, untuk jumlah GPIO yang dimiliki lebih sedikit dibandingkan ATmega8535 dan ATmega32 (Ihza, 2018).

2.23.1. Arsitektur ATmega328

Arsitektur yang dimiliki oleh ATmega328 adalah sebagai berikut (Ihza, 2018):

- Saluran I/O sebanyak 32 buah, yang terbagi menjadi *Port A*, *Port B*, *Port C*, dan *Port D*.
- ADC 10 bit sebanyak 8 *channel*.
- Tiga buah *timer/counter*.
- 32 *register*.
- *Watchdog timer* dengan *oscillator internal*.
- SRAM sebanyak 512 *byte*.
- Memori *flash* sebesar 8 kb.
- Sumber *interrupt internal* dan *external*.
- *Port SPI (Serial Peripheral Interface)*.
- EEPROM *on board* sebanyak 512 *byte*.
- Komparator analog.
- *Port USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter)*.

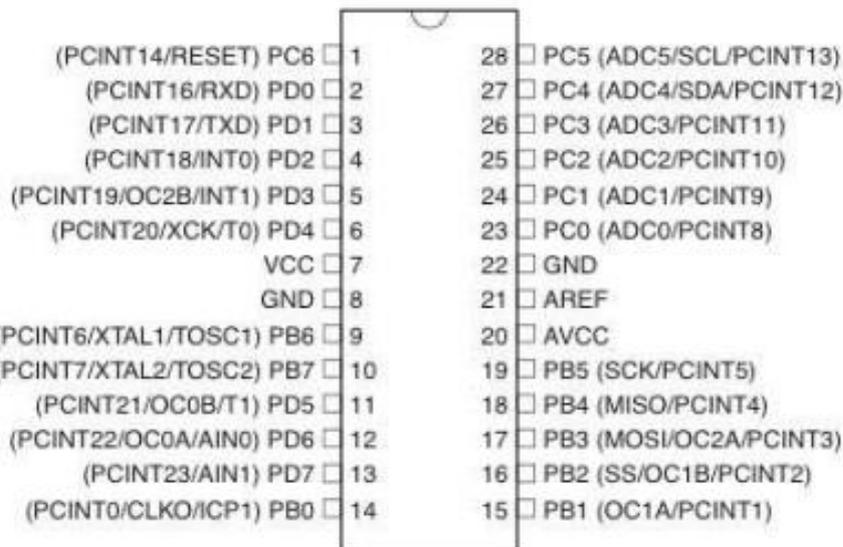
2.23.2. Fitur ATmega328

Fitur-fitur yang dimiliki oleh ATmega328 adalah sebagai berikut (Ihza, 2018):

- 130 macam instruksi yang hampir semuanya dapat dieksekusi dalam satu siklus *clock*.
- 32×8 bit *register* serbaguna.
- Kecepatan mencapai 16 MIPS dengan *clock* 16 MHz.
- Memiliki SRAM (*Static Random Access Memory*) sebesar 2kB.

- Memiliki EEPROM (*Electrically Erasable Programmable Read Only Memory*) sebesar 1 kB yang digunakan sebagai tempat penyimpanan data permanen.
- *Master/slave SPI serial interface.*
- Memiliki pin I/O digital sebanyak 14 pin, dimana 6 diantaranya adalah PWM (*Pulse Width Modulation*) output.

Konfigurasi pin yang dimiliki oleh ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 2.25.



Gambar 2.25 Konfigurasi Pin ATmega328

Sumber: (Ihza, 2018)

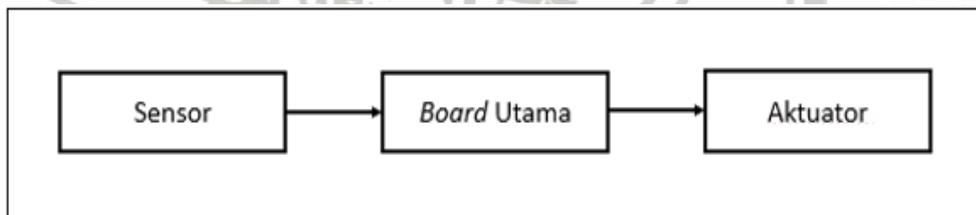
BAB III

METODE PENELITIAN

Penyusunan proposal ini didasarkan pada masalah yang bersifat aplikatif, yaitu perancangan dan perealisasiian alat agar dapat bekerja sesuai yang direncanakan dengan mengacu dalam rumusan masalah dan tujuan penelitian. Langkah-langkah yang perlu dilakukan untuk merealisasiikan alat yang dirancang adalah deskripsi umum alat, penentuan spesifikasi alat, studi literatur, perancangan dan pembuatan alat, pengujian alat, dan pengambilan kesimpulan.

3.1. Deskripsi Umum Alat

Deskripsi umum alat berisi gambaran umum terkait rancangan alat yang dibuat agar mudah dipahami. Diagram blok dari deskripsi umum alat dapat dilihat dalam Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram Blok Deskripsi Umum Alat

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Secara sederhana, prinsip kerja alat ini didasarkan pada hasil pembacaan dari masing-masing sensor yang digunakan. Hasil pembacaan sensor tersebut akan diolah pada bagian *board* utama yang di dalamnya terdapat ATmega328. Hasil pengolahan data pembacaan sensor oleh ATmega328 tersebut menjadi dasar dalam mengaktifkan aktuator-aktuator yang digunakan, dalam hal ini LED, pompa air, dan *solenoid valve*.

3.2. Penentuan Spesifikasi Alat

Spesifikasi keseluruhan alat harus ditetapkan terlebih dahulu sebagai acuan dalam perancangan dan pembuatannya agar sesuai dengan yang diinginkan. Alat yang dirancang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

- 1) Alat mampu melakukan *monitoring* suhu udara, pH air, nilai TDS/padatan terlarut dalam air, nilai potensial reduksi oksidasi dalam air, suhu air, dan ketinggian air menggunakan sensor-sensor yang terintegrasi dengan ATmega328.
- 2) Alat mampu mengatur fertisasi tanaman hidroponik secara otomatis, berdasarkan data sensor hasil *monitoring* nilai TDS dalam air dan ketinggian air dengan mengaktifkan aktuator berupa *solenoid valve* dan pompa air melalui rangkaian *driver* aktuator yang terintegrasi dengan ATmega328.
- 3) Alat mampu mengatur pencahayaan tanaman hidroponik secara otomatis, berdasarkan data perhitungan waktu dari RTC (*Real Time Clock*) dengan mengaktifkan aktuator berupa *grow light* LED melalui rangkaian *driver* aktuator yang terintegrasi dengan ATmega328.
- 4) Rangkaian *driver* aktuator terdiri dari transistor BC547 dan relay 5 volt yang digunakan untuk menyalakan maupun mematikan aktuator berdasarkan logika tegangan (*HIGH* atau *LOW*) yang diberikan oleh ATmega328.

Melalui pemaparan spesifikasi alat tersebut, maka dibutuhkan beberapa perangkat pendukung yaitu sebagai berikut:

- 1) Sensor pH air yang dapat mengukur nilai pH dengan *range* 5,5 sampai 7,0.
- 2) Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) yang dapat mengukur total padatan terlarut dalam cairan dengan *range* 500 ppm sampai 1050 ppm. Dalam hal ini menggunakan sensor TDS SEN0244.
- 3) Sensor ORP (*Oxidation-Reduction Potensial*) yang dapat mengukur potensial redoks cairan dengan *range* 250 mV sampai 400 mV. Dalam hal ini menggunakan sensor ORP SEN0165.
- 4) Sensor suhu air yang dapat mengukur nilai suhu cairan dengan *range* 18°C sampai 27°C. Dalam hal ini menggunakan sensor suhu air DS18B20.
- 5) Saklar pembatas (*limit switch*) sebagai sensor ketinggian air dengan ketinggian maksimum yaitu 2 cm.
- 6) Sensor suhu udara yang dapat mengukur nilai suhu udara dengan *range* 19°C sampai 21°C. Dalam hal ini menggunakan sensor suhu udara DHT22.
- 7) Menggunakan RTC DS3231.
- 8) Menggunakan mikroprosesor ATmega328.
- 9) Menggunakan transistor BC547 dan relay 5 volt sebagai *driver* aktuator.
- 10) Menggunakan *grow light* LED 220 VAC 45 watt.

11) Menggunakan pompa air celup mini 12 volt 8 watt.

12) Menggunakan *solenoid valve* 12 volt 0 MPa.

13) Catu daya sistem 12V dan 5V.

3.3. Studi Literatur

Pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi studi literatur (*literature study*), penelusuran informasi secara digital, dan wawancara narasumber dengan sasaran tinjauan yang dibutuhkan antara lain:

1. Pustaka referensi.
2. Pustaka penunjang.
3. Informasi internet.

Studi literatur (*literature study*) dilakukan untuk mengkaji hal-hal yang berkaitan dengan teori-teori pendukung dari perencanaan dan perealisasiian alat. Teori-teori yang dikaji adalah sebagai berikut:

1. Teori mengenai hidroponik.
2. Teori mengenai kebutuhan pertumbuhan dan perkembangan tanaman hidroponik.
3. Teori mengenai sensor-sensor yang digunakan.
4. Teori mengenai aktuator-aktuator yang digunakan.

Penelusuran informasi secara digital dilakukan melalui internet yang bertujuan untuk mencari dan mendapatkan informasi terkait teknologi serupa yang sudah ada dan sudah beredar dalam kehidupan masyarakat. Informasi tersebut akan dikaji dan menjadi dasar dalam melakukan inovasi melalui perencanaan dan perealisasiian alat.

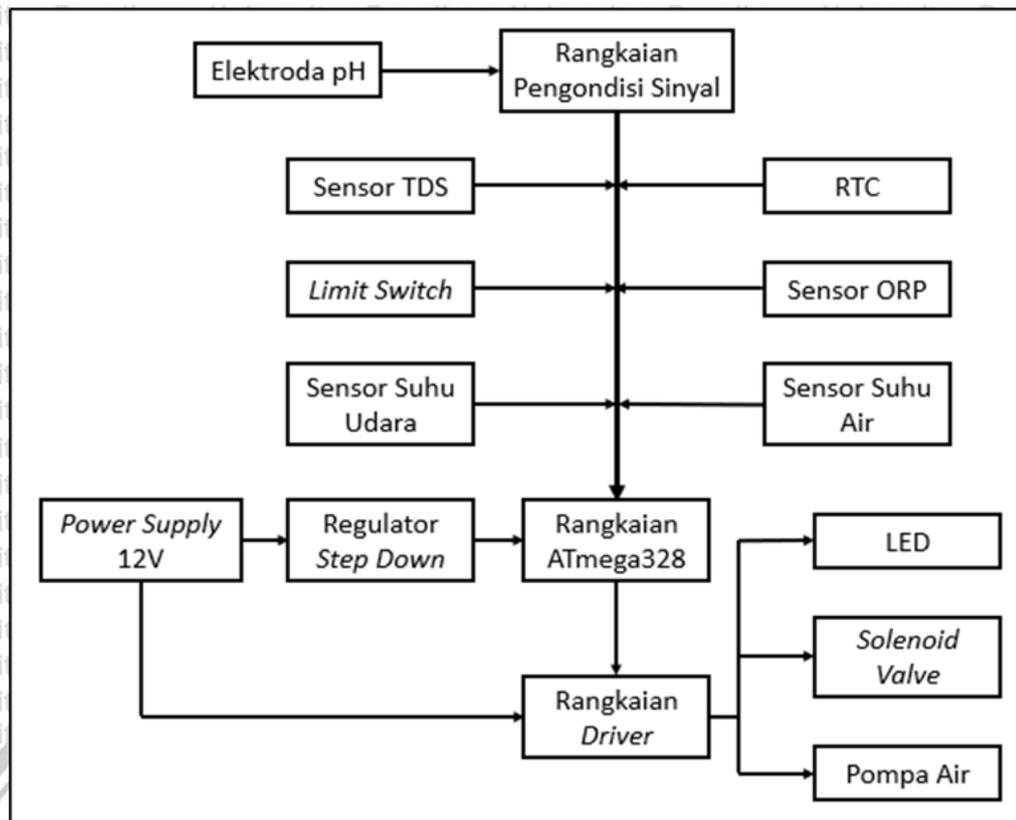
Wawancara narasumber bertujuan untuk mendapatkan informasi terkait kebutuhan dan permasalahan yang sebenarnya ada di lapangan. Informasi yang didapat akan menjadi dasar penentuan spesifikasi dari alat sehingga dapat direalisasiikan tepat sasaran.

3.4. Perancangan dan Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat berisi diagram blok keseluruhan alat serta perancangan dan pembuatan perangkat keras (*hardware*).

3.4.1. Diagram Blok Keseluruhan Alat

Diagram blok dibuat sebagai dasar dari perancangan alat agar perancangan dapat dilakukan secara terukur dan sistematis. Secara garis besar, diagram blok alat secara keseluruhan ditunjukkan dalam Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Diagram Blok Keseluruhan Alat

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Penjelasan dari masing-masing blok dalam Gambar 3.2 adalah sebagai berikut:

1. Mikroprosesor ATmega328 digunakan sebagai otak yang mengendalikan alat. ATmega328 akan menerima data hasil pembacaan sensor-sensor, lalu mengolahnya, dan kemudian mengaktifkan aktuator-aktuator berdasarkan hasil pengolahan data sensor-sensor tersebut.
2. Catu daya berupa *power supply* 12 volt.
3. Regulator *step down* digunakan untuk mengubah level tegangan 12 volt menjadi 5 volt sebagai catu daya ATmega328, sensor-sensor, dan *driver* aktuator.
4. Sensor suhu udara digunakan untuk membaca nilai suhu udara di sekitar tanaman yang kemudian datanya akan diolah oleh ATmega328.
5. Sensor suhu air digunakan untuk membaca nilai suhu cairan di tempat penampungan sebelum cairan tersebut dialirkan ke *gully* tanaman hidroponik. Data hasil pembacaan sensor suhu air akan diolah oleh ATmega328 dan menjadi dasar dalam mengaktifkan pompa air maupun *solenoid valve*.

6. Sensor ORP (*Oxidation-Reduction Potential*) digunakan untuk mengukur tingkat potensial reduksi oksidasi dari cairan sebelum dialirkan ke *gully* tanaman hidroponik. Data hasil pembacaan sensor ini akan diolah oleh ATmega328 dan menjadi dasar dalam mengaktifkan pompa air maupun *solenoid valve*.
7. Saklar pembatas (*limit switch*) sebagai sensor ketinggian air yang digunakan untuk mengetahui apakah ketinggian cairan yang mengalir ke *gully* tanaman sudah mencapai ketinggian maksimal atau belum. Data akan diolah oleh ATmega328 dan menjadi dasar dalam mengaktifkan/mematikan pompa air maupun *solenoid valve*.
8. Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) digunakan untuk mengukur total padatan atau partikel yang terlarut dalam cairan sebelum dialirkan ke *gully* tanaman hidroponik. Pengukuran ini sangat penting dalam proses pemberian nutrisi ke tanaman hidroponik agar dapat sesuai dengan kebutuhannya. Data hasil pembacaan sensor akan diolah oleh ATmega328 dan menjadi dasar dalam mengaktifkan pompa air maupun *solenoid valve*.
9. RTC (*Real Time Clock*) sebagai penghitung waktu yang digunakan untuk mengatur nyala atau matinya LED berdasarkan batas waktu yang telah diatur dalam program. Selain itu, RTC juga digunakan sebagai tolak ukur dalam pemberian banyaknya nutrisi sesuai dengan umur tanamannya.
10. Elektroda pH digunakan untuk melakukan konversi nilai pH menjadi nilai tegangan berdasarkan sifat kimia dari cairan. Tetapi, nilai tegangan dari elektroda pH sangat kecil dan sulit untuk dibaca oleh ATmega328, sehingga dibutuhkan rangkaian tambahan untuk memperbesar nilai tegangannya agar dapat dibaca dengan mudah oleh ATmega328.
11. Rangkaian pengondisi sinyal terdiri dari rangkaian penguat atau *operational amplifier* yang digunakan untuk membalikkan fasa dan memperbesar nilai tegangan dari elektroda pH agar dapat dibaca oleh ATmega328.
12. Rangkaian *driver* digunakan untuk mengatur aktif atau tidaknya LED, pompa air, dan *solenoid valve* berdasarkan hasil pengolahan data pembacaan sensor oleh ATmega328. Rangkaian *driver* ini menunggu perintah dari ATmega328 untuk mengaktifkan LED, pompa air, maupun *solenoid valve*, yaitu dengan memberikan tegangan *high* atau *low* pada pin *base* rangkaian *driver*.

13. LED digunakan sebagai aktuator yang berfungsi dalam pemberian cahaya pada tanaman hidroponik.
14. Pompa air digunakan sebagai aktuator yang berfungsi untuk mengalirkan cairan dari tempat penampungan ke rak tanaman hidroponik.
15. *Solenoid valve* digunakan sebagai aktuator yang berfungsi untuk mengalirkan cairan nutrisi ke tempat penampungan dan mengalirkan cairan dari rak tanaman hidroponik kembali ke tempat penampungan.

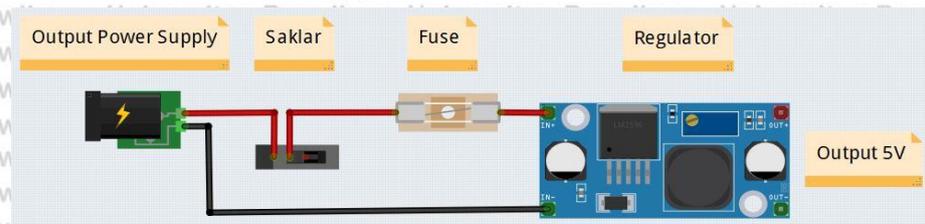
3.4.2. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras meliputi perancangan rangkaian catu daya serta rangkaian *input* dan *output* alat yang dihubungkan dengan rangkaian ATmega328.

Rangkaian *input* alat diantaranya yaitu sensor-sensor yang digunakan, sedangkan rangkaian *output* alat meliputi LED, pompa air, dan *solenoid valve*.

1. Rangkaian Catu Daya

Alat ini menggunakan catu daya yang berasal dari *power supply* dengan tegangan keluaran sekitar 12 volt DC. Keluaran dari *power supply* tersebut tidak langsung terhubung ke rangkaian ATmega328, melainkan sebelumnya terhubung ke beberapa komponen terlebih dahulu. Komponen-komponen yang dimaksud adalah saklar, *fuse*, dan rangkaian regulator tegangan *step down*. Komponen saklar digunakan untuk menghubungkan maupun memutuskan catu daya dari keluaran *power supply*, dimana hal ini sangat berguna ketika akan dilakukan *maintenance*. Komponen *fuse* digunakan sebagai pembatas arus yang mengalir dari keluaran *power supply*, dimana komponen ini dapat mencegah arus berlebih dan mampu meminimalisir kerusakan komponen lain ketika terjadi *short circuit* pada rangkaian. Selain itu, karena di dalam alat ini terdapat rangkaian ATmega328 dan sensor-sensor dengan tegangan *supply* tidak boleh lebih dari 5 volt, maka dibutuhkan rangkaian regulator tegangan *step down*. Rangkaian regulator *step down* pada alat ini adalah modul LM2596 yang berfungsi untuk mengubah level tegangan 12 volt menjadi 5 volt, sehingga dapat digunakan sebagai catu daya rangkaian ATmega328, sensor-sensor, dan komponen-komponen lainnya. Rangkaian catu daya pada alat ini dapat dilihat dalam Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Rangkaian Catu Daya Alat

Sumber: (Dokumen Pribadi)

2. Rangkaian ATmega328

Rangkaian mikrokontroler yang digunakan pada alat ini berupa rangkaian *minimum system* yang berbasis *chip* ATmega328. ATmega328 memiliki 14 pin *input/output* digital dan 6 pin analog yang dapat digunakan untuk menerima data hasil pembacaan sensor maupun mengaktifkan aktuator yang digunakan.

Penggunaan pin-pin ATmega328 pada alat ini dapat dilihat dalam Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Penggunaan Pin-Pin ATmega328 pada Alat

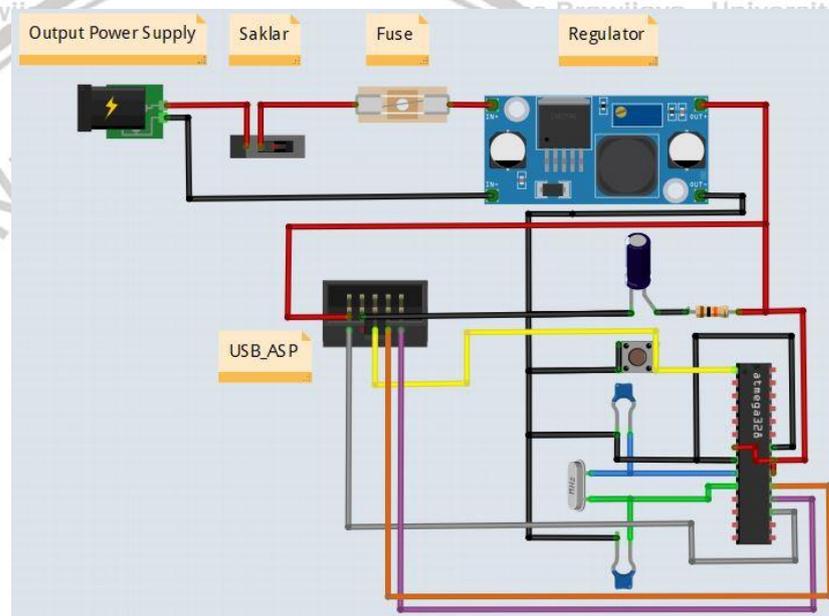
Sumber: (Dokumen Pribadi)

PIN ATMEGA328	KEGUNAAN
VCC, AREF, AVCC	Catu Daya dan Tegangan Referensi
GND	<i>Ground</i>
RESET	Tombol <i>Reset</i> dan <i>Reset</i> USB-ASP
A0	Data Pembacaan Sensor pH
A1	Data Pembacaan Sensor ORP
A2	Data Pembacaan Sensor TDS
A4	SDA <i>Real Time Clock</i> (RTC)
A5	SCL <i>Real Time Clock</i> (RTC)
D2	Data Pembacaan <i>Limit Switch</i>
D3	Data Pembacaan Sensor DHT22
D4	Menyalakan <i>Solenoid Valve</i> Nutrisi A
D5	Menyalakan <i>Solenoid Valve</i> Keluaran <i>Gully</i>
D6	Menyalakan <i>Solenoid Valve</i> Masukan <i>Gully</i>
D7	Menyalakan Pompa Air
D8	Menyalakan <i>Solenoid Valve</i> Nutrisi B
D9	Data Pembacaan Sensor DS18B20
D10	Menyalakan <i>Light Emitting Diode</i> (LED)

D11	MOSI USB-ASP
D12	MISO USB-ASP
D13	SCK USB-ASP

Selain ATmega328, pada rangkaian mikrokontroler ini juga terdapat komponen-komponen pendukung lainnya yang berupa *crystal* 16 MHz, kapasitor keramik 22 pF, *push-button*, resistor 10 k Ω , dan kapasitor elektrolit 10 μ F. Selain itu, rangkaian ini juga dilengkapi dengan *connector* USB-ASP yang digunakan dalam proses *upload* program ke ATmega328. Rangkaian *minimum system* ATmega328 yang digunakan pada alat ini dapat dilihat dalam

Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Rangkaian *Minimum System* ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

3. Rangkaian Input

Rangkaian input terdiri dari rangkaian sensor-sensor yang dihubungkan ke ATmega328. Sensor-sensor yang digunakan yaitu sensor pH, TDS, ORP, suhu air, ketinggian air, dan suhu udara. Selain itu, terdapat juga rangkaian *Real Time Clock* (RTC) yang terhubung ke ATmega328.

a. Perancangan Sensor pH Air

Perancangan sensor pH air ini berupa pembuatan rancangan rangkaian pengondisi sinyal yang berguna untuk menguatkan dan membalikkan fasa

tegangan dari keluaran *probe* atau elektroda pH, sehingga bisa dibaca oleh ATmega328. *Probe* atau elektroda ini akan dicelupkan ke dalam cairan dan akan menghasilkan tegangan berdasarkan nilai pH dalam cairan tersebut. Tegangan keluaran elektroda berdasarkan nilai pH cairan dapat dilihat dalam Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Tegangan Keluaran Elektroda Berdasarkan Nilai pH

Sumber: (DFRobot, n.d.)

Voltage (mV)	pH Value	Voltage (mV)	pH Value
414,12	0,00	-414,12	14,00
354,96	1,00	-354,96	13,00
295,80	2,00	-295,80	12,00
236,64	3,00	-236,64	11,00
177,48	4,00	-177,48	10,00
118,32	5,00	-118,32	9,00
59,16	6,00	-59,16	8,00
0,00	7,00	0,00	7,00

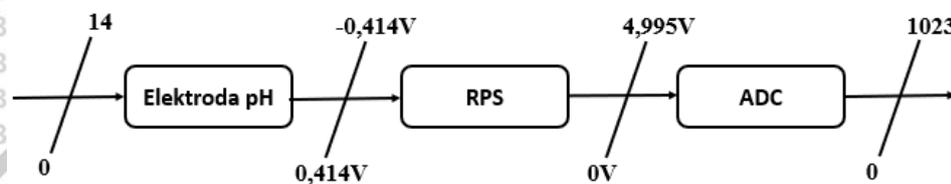
Berdasarkan Tabel 3.2, dapat dilihat bahwa nilai tegangan keluaran elektroda pH relatif kecil dan fasa tegangan masih ada yang negatif, sehingga sulit dibaca oleh ATmega328. Oleh karena itu, dibutuhkan rangkaian pengondisi sinyal untuk mengatasi masalah-masalah tersebut, sehingga ATmega328 dapat membaca tegangan keluaran elektroda dengan baik. Rangkaian pengondisi sinyal yang dirancang ini memiliki batas tegangan keluaran minimum sebesar 0 volt dan batas tegangan keluaran maksimum yang besarnya disesuaikan dengan jumlah bit ADC. Karena ADC (*Analog to Digital Converter*) dari ATmega328 adalah sebesar 10 bit ($n = 10$) dengan tegangan referensi (V_R) sebesar 5 volt, maka dapat dihitung batas tegangan keluaran maksimum dari rangkaian pengondisi sinyal dengan menggunakan persamaan (3.1) sebagai berikut:

$$V_{max} = \frac{2^n - 1}{2^n} \times V_R \quad (3.1)$$

$$V_{max} = \frac{2^{10} - 1}{2^{10}} \times 5 \text{ volt}$$

$$V_{max} = \frac{1023}{1024} \times 5 \text{ volt} = 4,995 \text{ volt}$$

Setelah ditentukan batas tegangan maksimum dan minimumnya, dibuatlah diagram blok untuk mempermudah perancangan rangkaian pengondisi sinyal sensor pH. Diagram blok tersebut dapat dilihat dalam Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Diagram Blok Perancangan RPS Sensor pH

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Untuk menentukan rangkaian pengondisi sinyal beserta komponen-komponen yang digunakan di dalamnya, dilakukanlah penurunan persamaan fungsi alih yaitu sebagai berikut:

$$V_{out} = AV_{in} + B \quad (3.2)$$

Berdasarkan persamaan (3.2), variabel A merupakan penguatan dari *op-amp* dan B merupakan tegangan *offset*. Variabel A dan B tersebut dapat dicari dengan menghitung penguatan nilai tegangan batas maksimum maupun minimum, yaitu dengan memasukkan nilai tegangan sebelum dan setelah rangkaian pengondisi sinyal ke persamaan (3.2) seperti:

$$0 = 0,414A + B \quad (3.3)$$

dan

$$4,995 = -0,414A + B \quad (3.4)$$

Dengan menggunakan cara eliminasi dan substitusi, maka dari persamaan (3.3) dan (3.4) dapat ditemukan variabel A sebesar -6,033 dan B sebesar 2,498, sehingga persamaan fungsi alihnya menjadi sebagai berikut:

$$V_{out} = -6,033V_{in} + 2,498 \quad (3.5)$$

Berdasarkan persamaan (3.5), dibuatlah rangkaian pengondisi sinyal dengan menggunakan rangkaian *op amp non inverting* dan *differential* dasar, dimana persamaan rangkaian *op amp non inverting* adalah sebagai berikut:

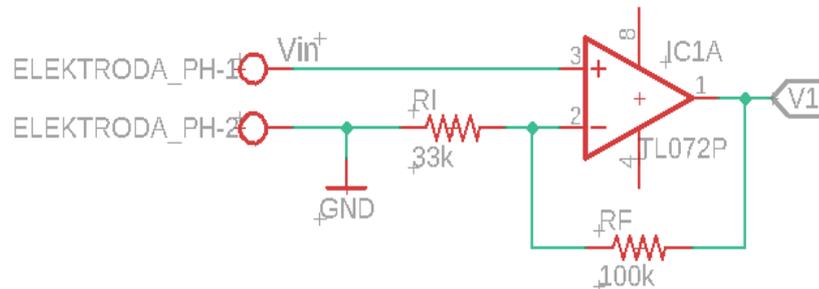
$$V_1 = \left(1 + \frac{R_f}{R_i}\right) V_{In} \quad (3.6)$$

Rangkaian *op amp non inverting* menggunakan nilai R_f sebesar 100 k Ω dan R_i sebesar 33 k Ω dengan V_{In} merupakan tegangan keluaran dari elektroda pH, sehingga nilai tegangan keluaran dari rangkaian ini berdasarkan persamaan (3.6) adalah sebagai berikut:

$$V_1 = \left(1 + \frac{100k}{33k}\right) V_{In}$$

$$V_1 = (1 + 3,03) V_{In} = 4,03V_{In} \quad (3.7)$$

Rangkaian *op amp non inverting* berdasarkan persamaan (3.6) dan (3.7) dapat dilihat dalam Gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian *Op Amp Non Inverting* yang Digunakan

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Kemudian, keluaran dari rangkaian *op amp non inverting* akan menjadi masukan rangkaian *differential* dasar, dimana persamaan dari rangkaian *op-amp differential* dasar adalah sebagai berikut:

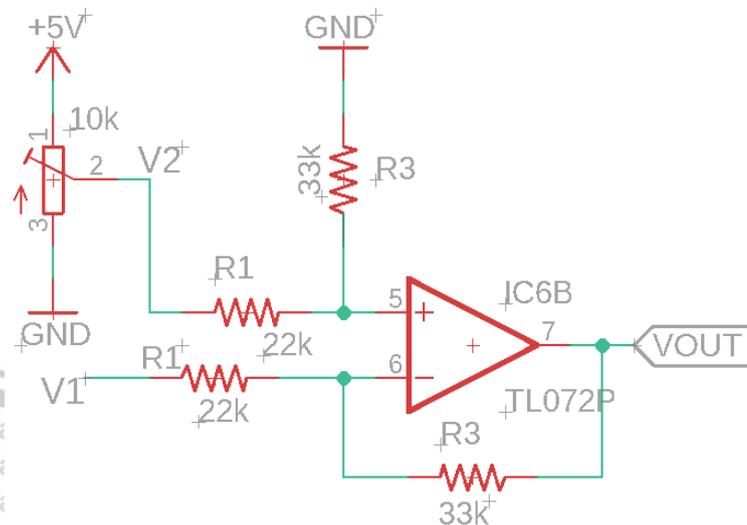
$$V_{out} = -V_1 \frac{R_3}{R_1} + V_2 \left(\frac{R_4}{R_2 + R_4}\right) \left(\frac{R_1 + R_3}{R_1}\right) \quad (3.8)$$

Dengan asumsi nilai $R_1 = R_2$ dan $R_3 = R_4$, serta dengan melakukan substitusi persamaan (3.7) ke (3.8), maka persamaan rangkaian *op amp differential* dasar menjadi sebagai berikut:

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - V_1)$$

$$V_{out} = \frac{R_3}{R_1} (V_2 - 4,03V_{In}) \quad (3.9)$$

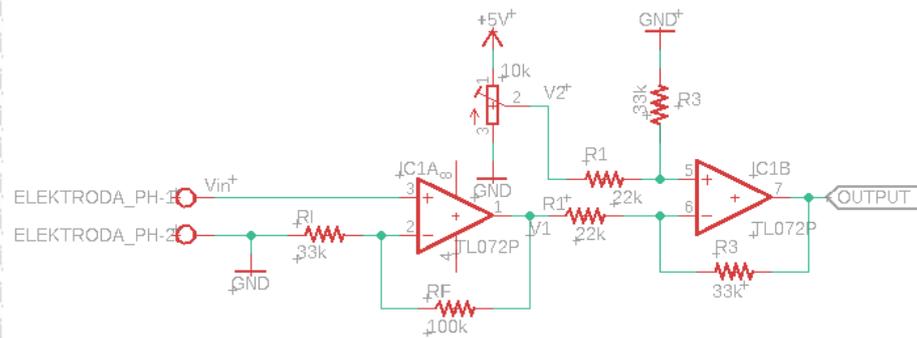
Dengan membandingkan persamaan (3.5) dan (3.9), dapat dilihat bahwa nilai 6,033 merupakan penguatan yang nilainya adalah perbandingan antara R_3 dengan R_1 yang kemudian dikalikan dengan keluaran rangkaian penguat *non inverting* dan nilai 2,498 merupakan perbandingan antara R_3 dengan R_1 yang kemudian dikalikan dengan nilai V_2 . Karena keluaran dari rangkaian penguat *non inverting* adalah sebesar 4,03 kali dari tegangan masukan (elektroda pH), maka penguatan dari rangkaian *differential* dasar adalah pembagian antara 6,033 dengan 4,03 yang hasilnya sebesar 1,497. Nilai penguatan tersebut tersusun dari nilai R_3 sebesar 33 k Ω dan R_1 sebesar 22 k Ω . Selain itu, digunakan pembagi tegangan yang nilai tegangan keluarannya merupakan perbandingan antara nilai 2,498 dengan 1,497 yang hasilnya adalah sekitar 1,669 volt. Rangkaian *op amp differential* dasar berdasarkan persamaan (3.8) dan (3.9) dapat dilihat dalam Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Rangkaian *Op Amp Differential* Dasar yang Digunakan

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Untuk rangkaian pengondisi sinyal sensor pH hasil rancangan berdasarkan persamaan (3.6) sampai (3.9) yang telah digabungkan dapat dilihat dalam Gambar 3.8.



Gambar 3.8 Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor pH

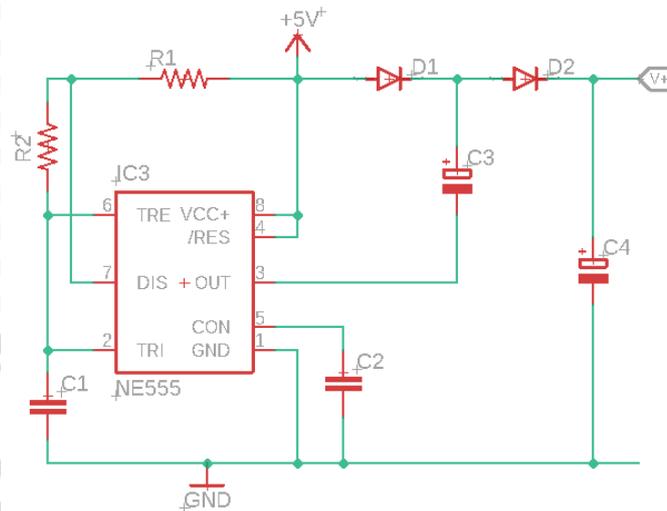
Sumber: (Dokumen Pribadi)

Di dalam rangkaian pengondisi sinyal seperti dalam Gambar 3.8, terlihat bahwa tipe *op amp* yang digunakan adalah TL072. Beberapa alasan pemilihan *op amp* TL072 adalah sebagai berikut:

- TL072 merupakan *dual channel op amp*, artinya di dalam satu IC (8 pin) terdapat dua *channel op amp* yang dapat digunakan. Rangkaian pengondisi sinyal sensor pH membutuhkan dua *channel op amp* sebagai penguat *non inverting* dan *differential* dasar, untuk itu penggunaan TL072 pada rangkaian ini dianggap tepat karena dapat menghemat penggunaan IC penguat (cukup 1 buah).
- Impedansi Keluaran (Z_o) yang dimiliki TL072 yaitu sebesar 125Ω lebih kecil dibandingkan Impedansi Masukan (Z_i) ATmega328 yang nilainya adalah $100 M\Omega$. Hal ini tentunya sangat baik bagi rangkaian pengondisi sinyal sensor pH, karena keluaran dari rangkaian tersebut dapat terbaca oleh ATmega328 dengan baik tanpa adanya masalah.

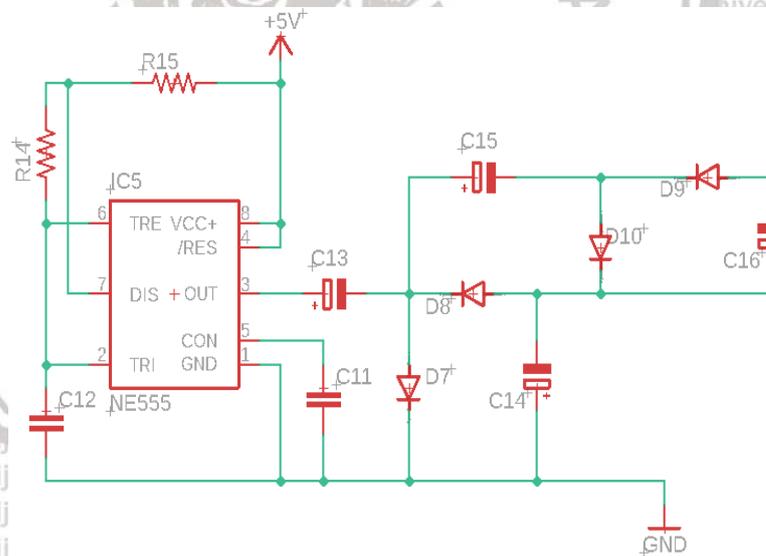
TL072 membutuhkan catu daya (V^+ dan V^-) sesuai spesifikasi agar dapat bekerja dengan baik. Biasanya, catu daya V^+ *op amp* ini dihubungkan ke pin 5 volt dan V^- dihubungkan ke pin *ground*. Namun, karena *op amp* di dalam rangkaian pengondisi sinyal ini memiliki tegangan keluaran maksimal sebesar 5 volt dan berfungsi untuk membalikkan fasa tegangan, maka *op amp* TL072 tidak akan bekerja dengan baik jika hanya menghubungkan V^+ ke pin 5 volt dan V^- ke pin *ground*. Untuk itu, digunakanlah suatu rangkaian sebagai catu daya V^+ *op amp* dengan nilai tegangan keluarannya lebih besar dari 5 volt, yang terdiri dari rangkaian osilator NE555 dan rangkaian *charge pump* pengganda tegangan.

Sedangkan, untuk catu daya V^- *op amp* berasal dari rangkaian osilator NE555 dan rangkaian *charge pump* pembalik fasa tegangan. Rangkaian- Rangkaian yang digunakan sebagai catu daya V^+ dan V^- *op amp* ini dapat dilihat dalam Gambar 3.9 dan 3.10.



Gambar 3.9 Rangkaian Catu Daya V^+ *Op Amp*

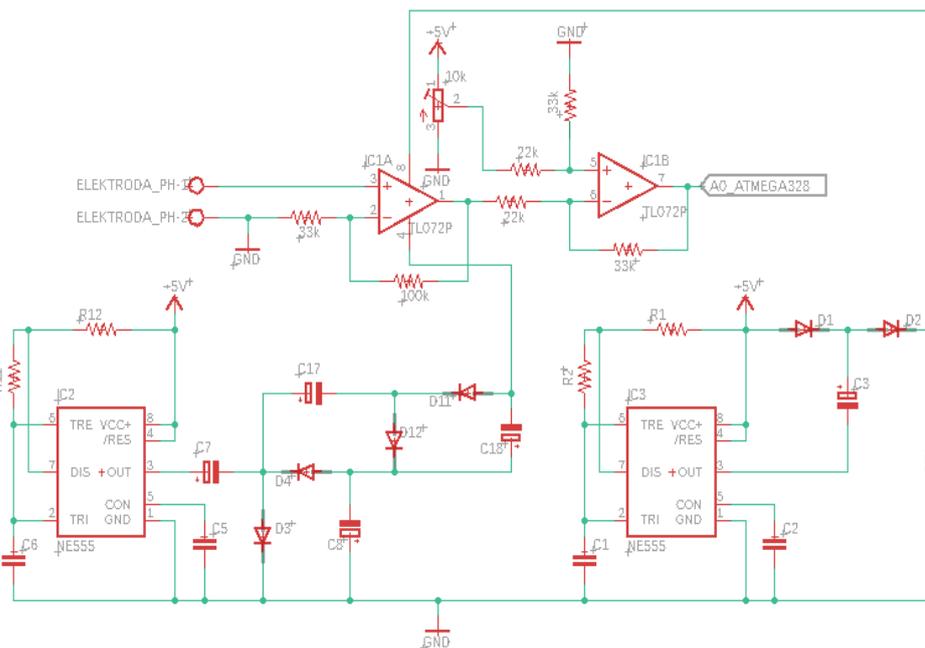
Sumber: (Dokumen Pribadi)



Gambar 3.10 Rangkaian Catu Daya V^- *Op Amp*

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Secara keseluruhan, keluaran dari rangkaian pengondisi sinyal sensor pH ini adalah berupa sinyal analog yang kemudian dihubungkan ke pin analog (A0) ATmega328, agar dapat dibaca data hasil pengukurannya. Rangkaian sensor pH keseluruhan dapat dilihat dalam Gambar 3.11.



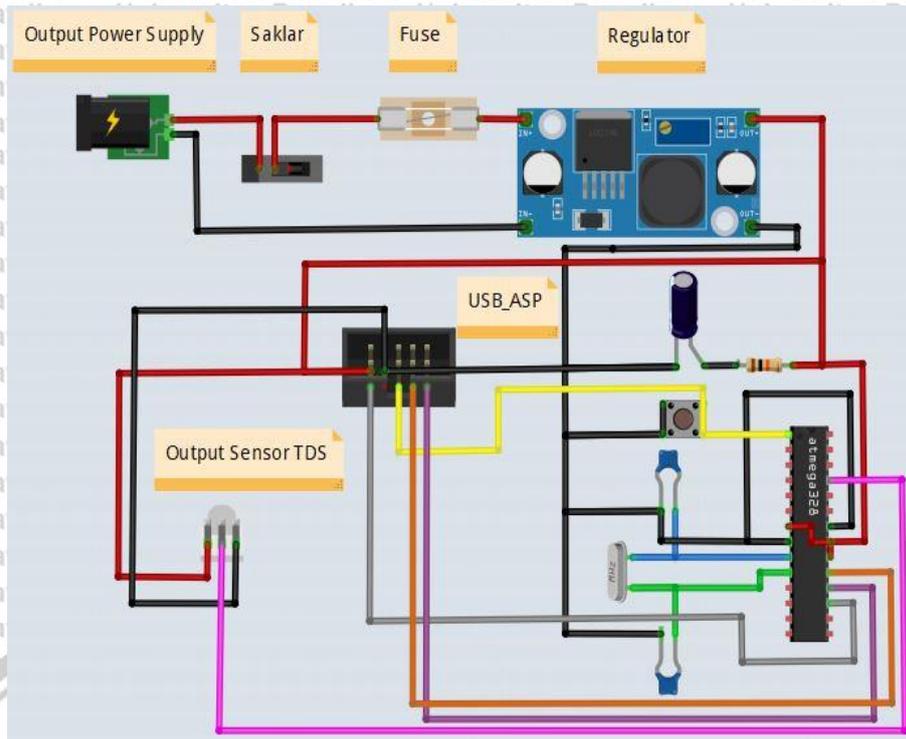
Gambar 3.11 Rangkaian Sensor pH Keseluruhan

Sumber: (Dokumen Pribadi)

b. Perancangan Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*) dalam Air

Sensor TDS memiliki *probe* atau elektroda yang dicelupkan ke dalam cairan dan berfungsi untuk mengukur kadar padatan terlarut di dalam air. *Probe* atau elektroda tersebut akan menghasilkan tegangan berdasarkan banyaknya padatan terlarut yang kemudian akan diproses oleh rangkaian pengondisi sinyal, sehingga dapat dibaca oleh ATmega328.

Modul sensor TDS yang digunakan pada alat ini adalah SEN0244 yang dibuat oleh DFRobot. Modul sensor ini memiliki 3 pin, yaitu pin VCC, GND, dan Data. Pin VCC dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin GND dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, dan pin Data dihubungkan ke pin analog (A2) ATmega328. Rangkaian sensor TDS yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.12.



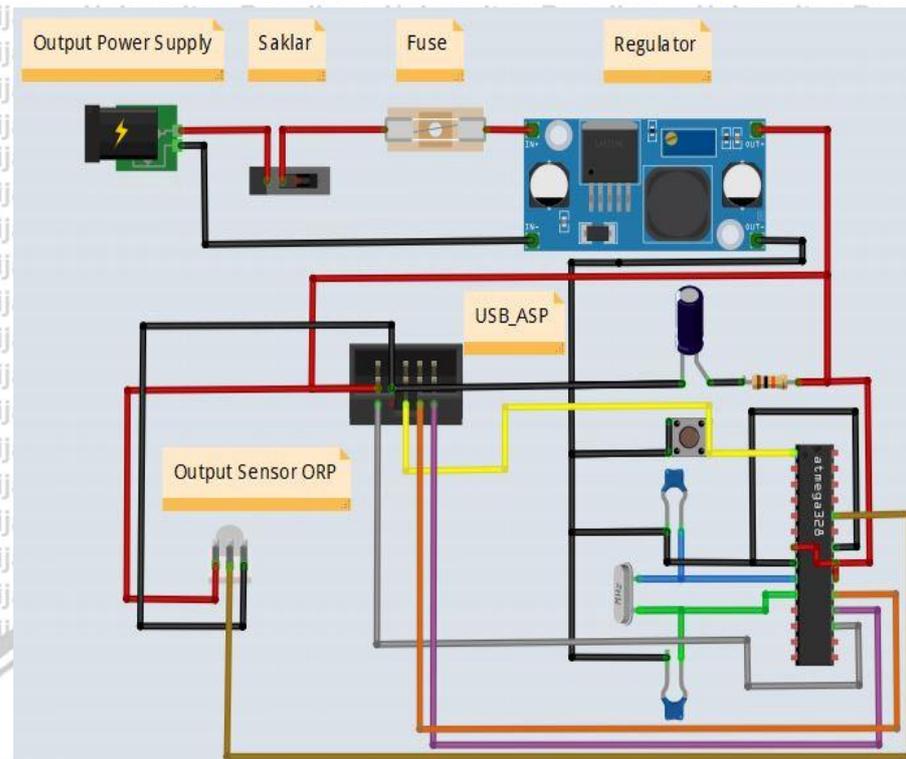
Gambar 3.12 Rangkaian Sensor TDS ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

c. Perancangan Sensor ORP (*Oxidation-Reduction Potensial*) dalam Air

Sensor ORP memiliki *probe* atau elektroda yang dicelupkan ke dalam cairan dan berfungsi untuk mengukur potensial reduksi oksidasi di dalam air. *Probe* atau elektroda tersebut akan menghasilkan tegangan berdasarkan nilai potensial redoks yang kemudian akan diproses oleh rangkaian pengondisi sinyal, sehingga dapat dibaca oleh ATmega328.

Modul sensor ORP yang digunakan pada alat ini adalah SEN0165 yang dibuat oleh DFRobot. Modul sensor ini memiliki 3 pin, yaitu pin VCC, GND, dan Data. Pin VCC dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin GND dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, dan pin Data dihubungkan ke pin analog (A1) ATmega328. Rangkaian sensor ORP yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.13.

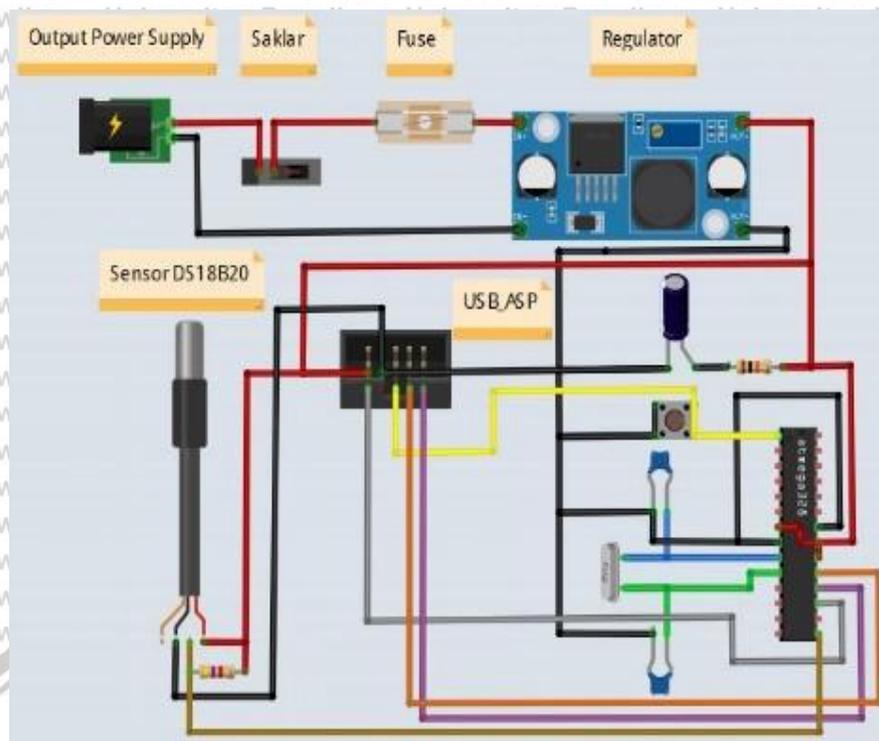


Gambar 3.13 Rangkaian Sensor ORP ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

d. Perancangan Sensor Suhu Air

Sensor suhu air yang digunakan pada alat ini adalah sensor DS18B20 yang telah dilindungi material tahan air, sehingga aman dan tidak rusak ketika dicelupkan ke dalam cairan. Sensor ini memiliki keluaran berupa data digital dan membutuhkan resistor *pull up* sebelum dihubungkan ke pin data ATmega328. Selain itu, sensor ini memiliki 3 pin, yaitu pin VCC, GND, dan Data. Pin VCC dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin GND dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, dan pin Data terhubung ke resistor *pull up* sebesar 4,7 k Ω yang selanjutnya dihubungkan ke pin digital (D9) ATmega328. Rangkaian sensor suhu air yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.14.



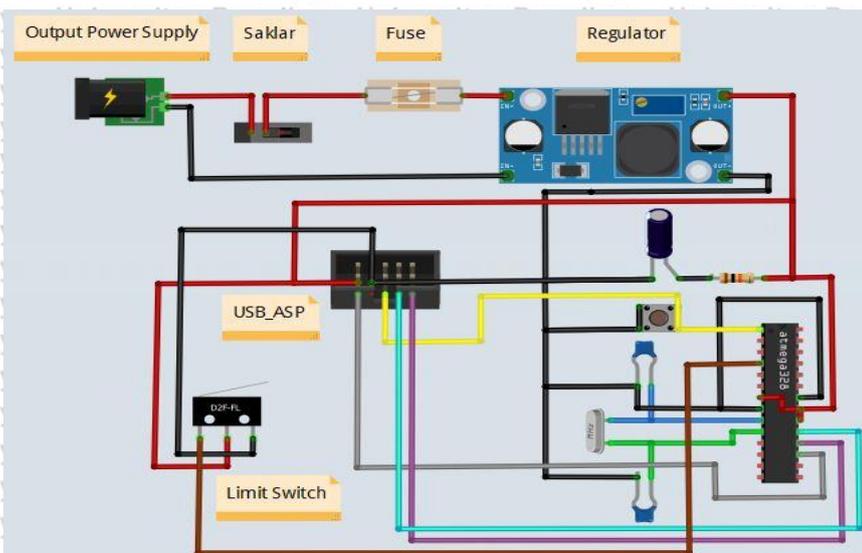
Gambar 3.14 Rangkaian Sensor Suhu Air ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

e. Perancangan Sensor Ketinggian Air

Alat ini memanfaatkan saklar pembatas (*limit switch*) sebagai sensor ketinggian air. Sensor ini bekerja berdasarkan kontak fisik antara katup *limit switch* dengan permukaan air yang menyebabkan tertekan atau tidaknya *limit switch* tersebut. Tertekan atau tidaknya *limit switch* ini yang menyebabkan perubahan nilai tegangan keluaran yang akan dibaca oleh ATmega328. Karena hanya terdapat 2 logika tegangan keluaran, yaitu 5 volt ketika tertekan atau 0 volt ketika terlepas, maka keluaran *limit switch* dihubungkan ke pin digital ATmega328.

Limit switch ini memiliki 3 pin yang harus terhubung ke ATmega328, yaitu pin *Normally Open* (NO), *Normally Close* (NC), dan *Central* (C). Pin *Normally Open* (NO) dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin *Normally Close* (NC) dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, dan pin *Central* (C) dihubungkan ke pin digital (D2) ATmega328. Rangkaian sensor ketinggian air yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.15.

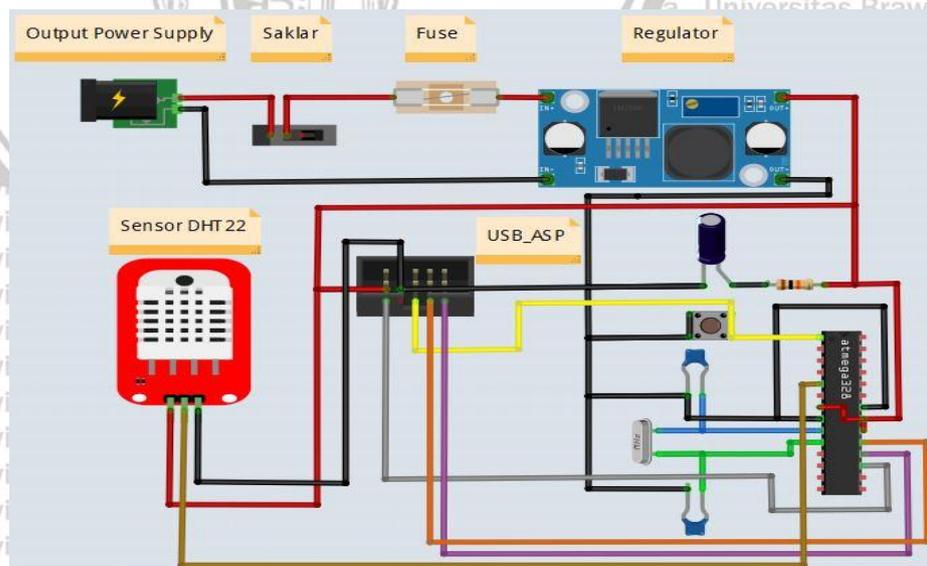


Gambar 3.15 Rangkaian Sensor Ketinggian Air ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

f. Perancangan Sensor Suhu Udara

Sensor suhu udara yang digunakan pada alat ini adalah sensor DHT22 yang memiliki keluaran berupa data digital. Sensor ini memiliki 3 pin, yaitu pin VCC, GND, dan Data. Pin VCC dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin GND dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, dan pin Data dihubungkan ke pin digital (D3) ATmega328. Rangkaian sensor suhu udara yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.16.



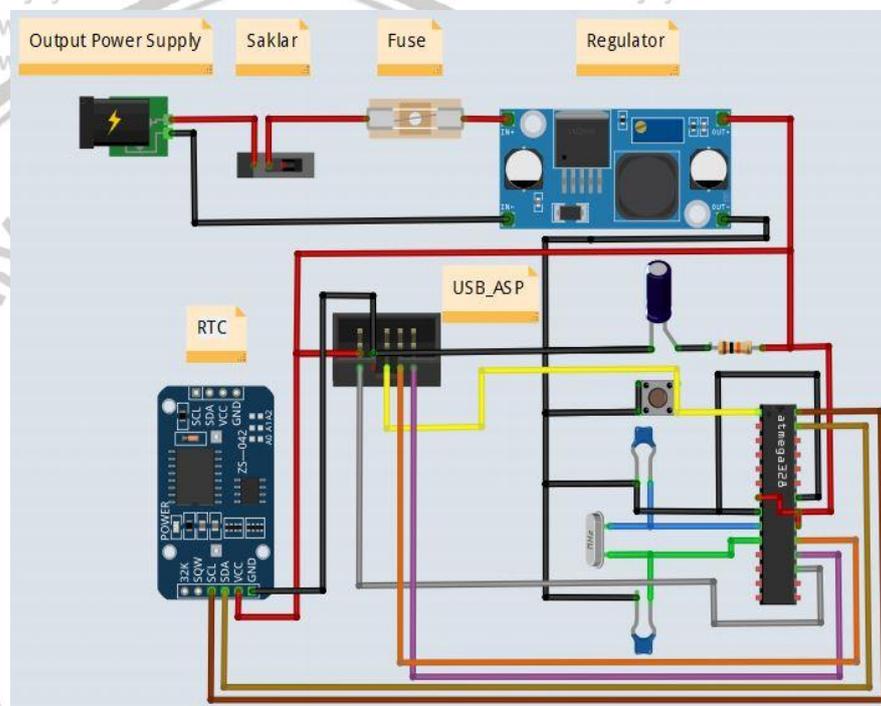
Gambar 3.16 Rangkaian Sensor Suhu Udara ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

g. Perancangan RTC (*Real Time Clock*)

RTC digunakan sebagai penghitung maupun pembatas waktu dalam pemberian pencahayaan dan nutrisi ke tanaman yang disesuaikan dengan kebutuhannya. Pada alat ini, digunakan RTC DS3231 yang memiliki 4 pin, yaitu pin VCC, GND, SDA, dan SCL yang harus terhubung ke ATmega328.

Pin VCC dihubungkan ke pin *output* regulator 5 volt atau pin VCC ATmega328, pin GND dihubungkan ke pin *ground* regulator atau *ground* ATmega328, pin SDA dihubungkan ke pin analog (A4) ATmega328, dan pin SCL dihubungkan ke pin analog (A5) ATmega328. Rangkaian RTC yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.17.

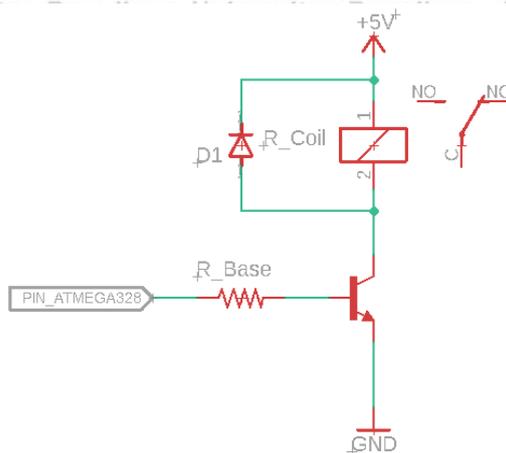


Gambar 3.17 Rangkaian RTC ke ATmega328

Sumber: (Dokumen Pribadi)

4. Rangkaian Output

Rangkaian *output* berupa rangkaian *driver* yang terdiri dari transistor dan relay yang dihubungkan ke aktuator. Relay yang digunakan adalah relay 5 VDC dengan hambatan dalam (R_{Coil}) sebesar 70Ω berdasarkan spesifikasinya. Rangkaian *driver* aktuator pada alat ini dapat dilihat dalam Gambar 3.18.



Gambar 3.18 Rangkaian *Driver* Aktuator

Sumber: (Dokumen Pribadi)

Dengan asumsi beda potensial antara pin *collector* dan *emitor* transistor (V_{CE}) ketika kondisi saturasi adalah sebesar 0 volt, maka arus yang mengalir pada pin *collector* dapat dihitung menggunakan rumus seperti persamaan (3.10) yaitu sebagai berikut:

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_{coil}} \quad (3.10)$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - 0}{R_{coil}} = \frac{V_{CC}}{R_{coil}}$$

$$I_C = \frac{5}{70} = 71,4 \text{ mA}$$

Berdasarkan perhitungan nilai I_C tersebut, dipilihlah transistor BC547 yang memiliki kemampuan mengalirkan arus dari pin *collector* ke *emitor* sampai 100 mA, sehingga cocok digunakan pada rangkaian *driver* yang memiliki arus I_C lebih rendah, yaitu sebesar 71,4 mA. Berdasarkan spesifikasinya, transistor ini memiliki penguatan arus DC (h_{FE}) saat saturasi sebesar 10, sehingga dapat dihitung nilai arus yang harus mengalir pada basis (I_B) agar transistor ini saturasi dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.11) yaitu sebagai berikut:

$$I_B = \frac{I_C}{h_{FE}} \quad (3.11)$$

$$I_B = \frac{71,4}{10} = 7,14 \text{ mA}$$

Setelah itu, dilakukan juga perhitungan resistansi pada pin *base* (R_B) untuk membatasi arus yang mengalir dari pin data ATmega328 ke pin *base* transistor BC547 ketika diberikan logika HIGH ($V_{BB} = 5$ volt) dengan menggunakan rumus pada persamaan (3.12) yaitu sebagai berikut:

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_B} \quad (3.12)$$

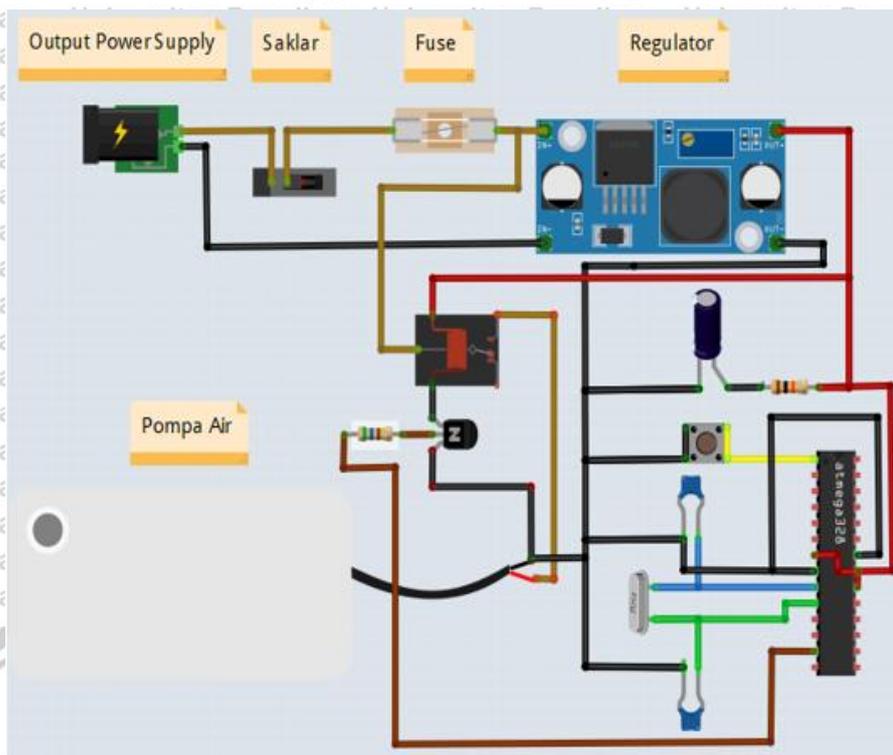
$$R_B = \frac{5 - 0,7}{0,00714} = 602 \Omega$$

Karena di pasaran sulit untuk menemukan nilai resistor sebesar 602Ω , maka digunakan nilai resistor yang mendekati yaitu sebesar 560Ω .

a. Perancangan Pompa Air

Pompa air yang digunakan pada alat ini membutuhkan tegangan masukan sekitar 12 volt DC dan mampu mengalirkan air sebanyak 600 liter/jam. Untuk menyalakan atau mematikan pompa air ini, digunakan rangkaian *driver* yang terdiri dari relay 5 volt dan transistor BC547, dimana nantinya pin *base* transistor akan dihubungkan ke pin digital (D7) ATmega328. Ketika pin *base* transistor diberikan logika HIGH (5 volt), maka pin *collector* transistor akan terhubung dengan *emitor* yang menyebabkan relay aktif, yaitu pin *Common* akan terhubung dengan pin *Normally Open*, sehingga catu 12 volt akan terhubung ke polaritas positif pompa air dan akan menyalakan pompa air tersebut. Sedangkan, ketika pin *base* transistor diberikan logika LOW (0 volt), maka pin *collector* transistor tidak terhubung dengan *emitor* yang menyebabkan relay tidak aktif, sehingga catu 12 volt tidak akan terhubung dan pompa air akan mati.

Rangkaian *driver* pompa air yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.19.

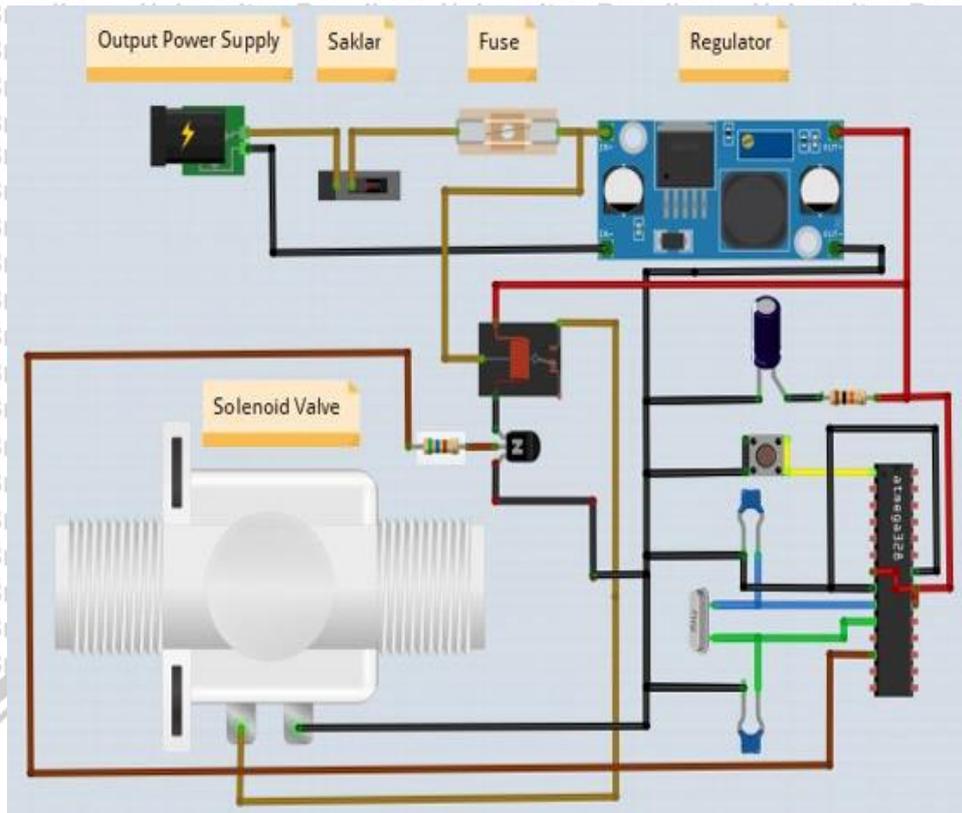


Gambar 3.19 Perancangan Pompa Air

Sumber: (Dokumen Pribadi)

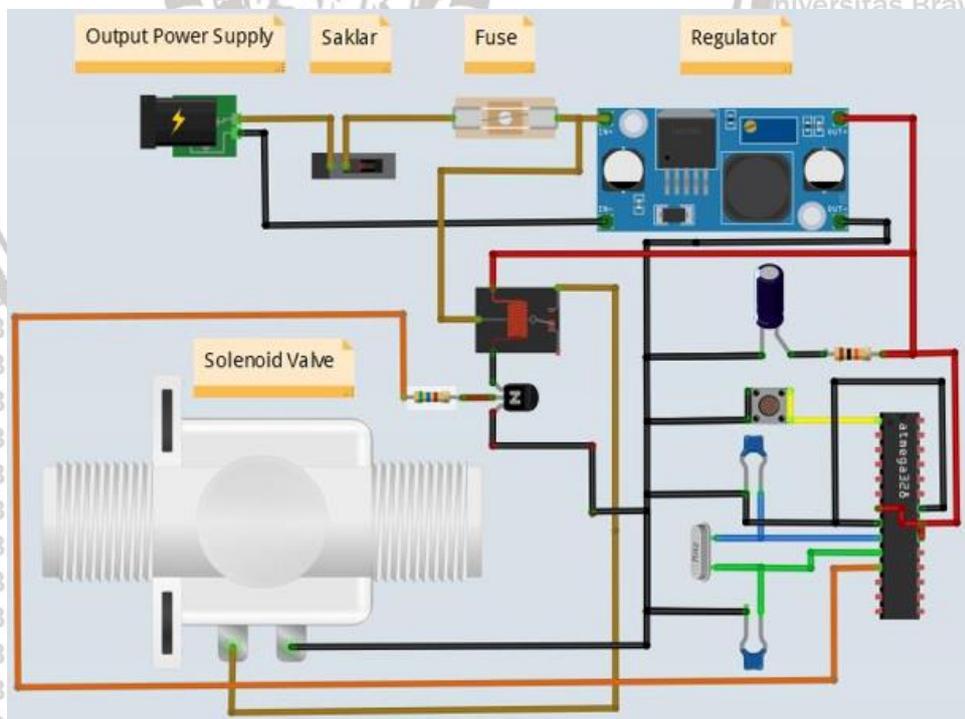
b. Perancangan Solenoid Valve

Alat ini menggunakan 4 buah *solenoid valve* yang membutuhkan tegangan masukan sekitar 12 volt DC dan mampu bekerja pada tekanan minimal 0 MPa. Untuk menyalakan atau mematikan 4 buah *solenoid valve* ini, digunakan 4 buah rangkaian *driver* yang masing-masing terdiri dari relay 5 volt dan transistor BC547, dimana nantinya masing-masing pin *base* transistor akan dihubungkan ke pin digital ATmega328 yang berbeda satu sama lain. Pin *base* transistor untuk *solenoid valve* nutrisi A dihubungkan ke pin D4, pin *base* transistor untuk *solenoid valve* keluaran *gully* dihubungkan ke pin D5, pin *base* transistor untuk *solenoid valve* masukan *gully* dihubungkan ke pin D6, dan pin *base* transistor untuk *solenoid valve* nutrisi B dihubungkan ke pin D8 ATmega328. Prinsip kerja dari rangkaian *driver* ini sama seperti rangkaian *driver* pompa air, yaitu menyala ketika diberi logika HIGH (5 volt) dan mati ketika diberi logika LOW (0 volt). Masing-masing rangkaian *driver solenoid valve* yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.20 sampai 3.23.



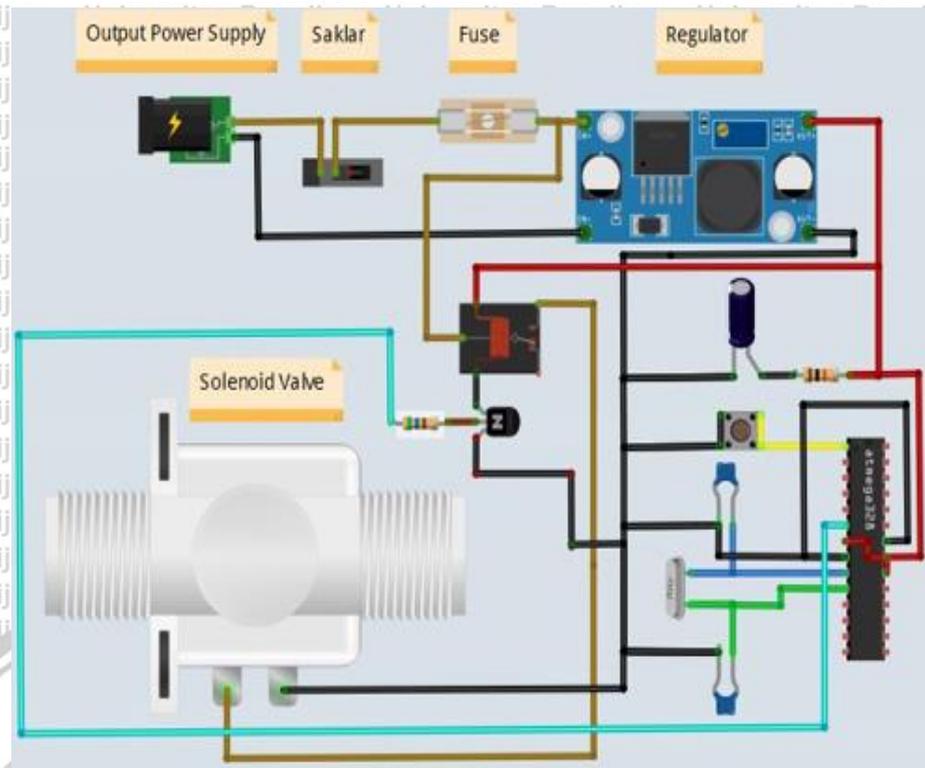
Gambar 3.20 Perancangan *Solenoid Valve* Masukan *Gully*

Sumber: (Dokumen Pribadi)



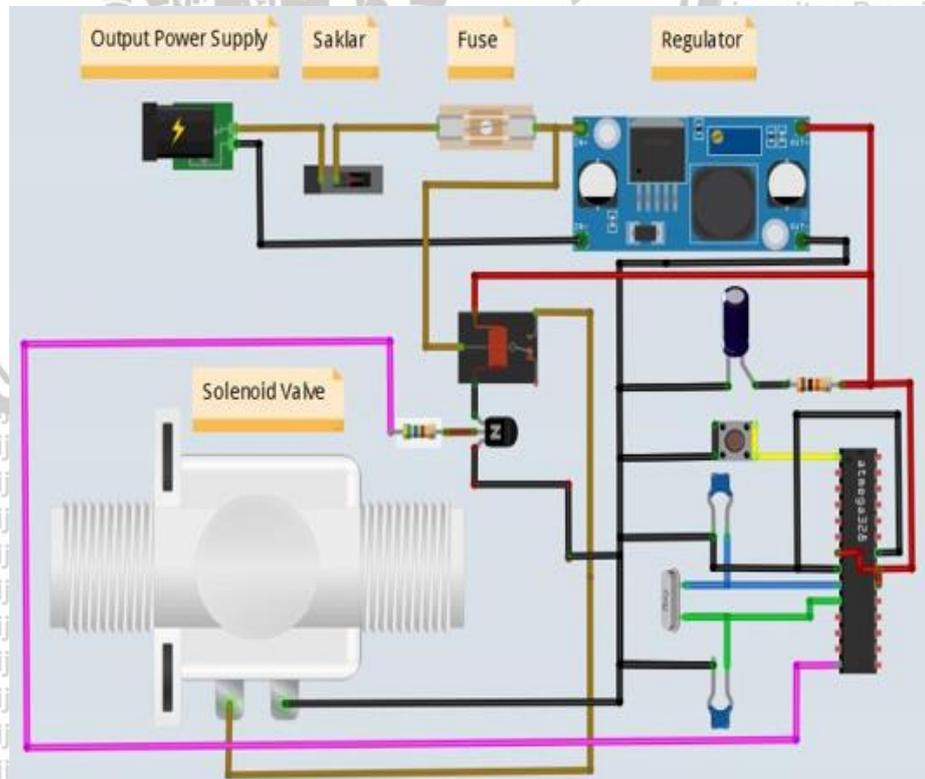
Gambar 3.21 Perancangan *Solenoid Valve* Keluaran *Gully*

Sumber: (Dokumen Pribadi)



Gambar 3.22 Perancangan Solenoid Valve Nutrisi A

Sumber: (Dokumen Pribadi)

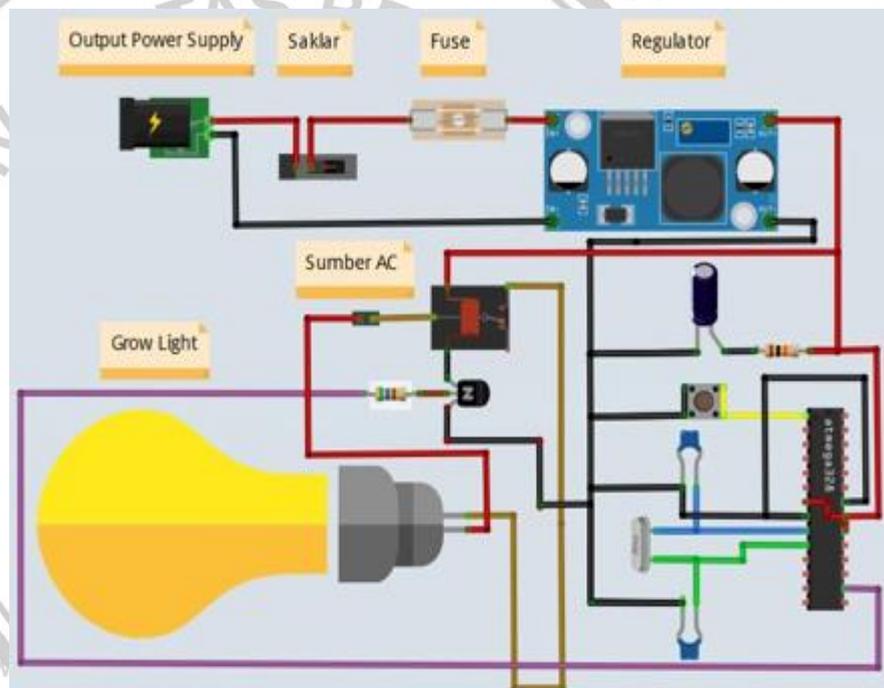


Gambar 3.23 Perancangan Solenoid Valve Nutrisi B

Sumber: (Dokumen Pribadi)

c. Perancangan LED (*Light Emitting Diode*)

Alat ini menggunakan LED sebagai *grow light* yang membutuhkan tegangan masukan sekitar 220 volt AC. Untuk menyalakan atau mematikan LED ini, digunakan rangkaian *driver* yang terdiri dari relay 5 volt dan transistor BC547, dimana nantinya pin *base* transistor akan dihubungkan ke pin digital (D10) ATmega328. Secara umum, prinsip kerja dari rangkaian *driver* ini sama seperti rangkaian *driver* pompa air dan *solenoid valve*, yaitu menyala ketika diberi logika HIGH (5 volt) dan mati ketika diberi logika LOW (0 volt). Bedanya, catu tegangan yang dikontrol oleh rangkaian *driver* pada LED ini adalah tegangan AC, sedangkan pada pompa air dan *solenoid valve* merupakan tegangan DC. Rangkaian *driver* LED yang terhubung ke ATmega328 dapat dilihat dalam Gambar 3.24.



Gambar 3.24 Perancangan LED (*Light Emitting Diode*)

Sumber: (Dokumen Pribadi)

3.5. Pengujian Alat

Untuk menganalisis kinerja alat, dilakukanlah pengujian. Pengujian dilakukan pada beberapa bagian diagram blok alat yang ditunjukkan dalam Gambar 3.2. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk mengetahui performa dari rangkaian pengondisi sinyal sensor pH yang telah dibuat, karakteristik dari masing-masing sensor, nilai hasil pembacaan dari masing-masing sensor, dan rangkaian *driver* aktuator.

3.5.1. Rangkaian Pengondisi Sinyal Sensor pH

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian pengondisi sinyal yang telah dibuat sudah sesuai dengan rancangan atau belum. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur nilai tegangan keluaran dari penguat *differential* dasar menggunakan voltmeter. Setelah itu, nilai tegangan keluaran dari penguat tersebut akan dibandingkan dengan nilai tegangan yang didapatkan dari perhitungan.

3.5.2. Karakteristik Sensor

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hubungan antara nilai tegangan dengan hasil pembacaan sensor atau alat ukur. Setelah itu, data-data hasil pengujiannya akan diolah pada *Microsoft Excel* untuk mendapatkan grafik dan persamaan matematis melalui analisis regresi linear sederhana atau analisis regresi polinomial orde 2. Persamaan matematis ini akan dimasukkan ke dalam program untuk mengganti program *default* dari sensor dan digunakan untuk melakukan konversi nilai tegangan menjadi nilai hasil pembacaan sensor.

3.5.3. Pembacaan Sensor

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui hasil pembacaan sensor setelah dilakukan konversi nilai tegangan sensor menjadi nilai pembacaan sensor melalui persamaan yang didapat pada pengujian karakteristik sensor. Nantinya, hasil pembacaan sensor ini akan dibandingkan dengan alat ukur pembanding untuk mengetahui persentase perbedaan pembacaan antara sensor dengan alat ukur pembanding tersebut.

3.5.4. Rangkaian *Driver* Aktuator

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah rangkaian *driver* aktuator yang terdiri dari rangkaian transistor dan relay dapat berfungsi dengan baik atau tidak. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan tegangan berlogika *HIGH* dan *LOW* ke pin *base* transistor secara bergantian, kemudian dilakukan pengecekan aktif atau tidaknya aktuator yang terhubung dengan keluaran rangkaian *driver*.



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Suatu pengujian dilakukan guna mengetahui kinerja sistem yang dirancang sesuai dengan yang diharapkan atau tidak. Dalam hal ini, pengujian yang dilakukan adalah pengujian setiap bagian dalam sistem. Adapun pengujian yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pengujian sensor pH
2. Pengujian sensor SEN0244
3. Pengujian sensor SEN0165
4. Pengujian sensor DS18B20
5. Pengujian sensor DHT22
6. Pengujian sensor *limit switch*
7. Pengujian rangkaian transistor

4.1. Pengujian Sensor pH

Pengujian sensor pH diawali dengan pengujian rangkaian pengondisi sinyal yang terdiri dari rangkaian catu daya V^+ *op-amp*, rangkaian catu daya V^- *op-amp*, dan rangkaian penguat tegangan. Setelah itu, dilakukan pengujian rangkaian keseluruhan (elektroda dan rangkaian pengondisi sinyal) yang berupa pengujian karakteristik dan pembacaan nilai pH oleh sensor. Pengujian karakteristik sensor dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor dengan nilai pH. Sedangkan, pengujian pembacaan nilai pH sensor dilakukan untuk mengetahui persentase perbedaan pembacaan nilai pH oleh sensor yang dibandingkan dengan alat ukur pH yaitu pH meter.

4.1.1. Pengujian Rangkaian Catu Daya V^+ *Operational Amplifier*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya V^+ *op amp* yang telah dibuat agar *op amp* tersebut dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasinya.

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya V^+ *op amp* adalah sebagai berikut:

- a. Rangkaian catu daya V^+ *op amp* yang telah dibuat (1 buah)
- b. Kabel *jumper*
- c. Voltmeter (1 buah)
- d. Catu daya 5 volt

2. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian catu daya V^+ *op amp* dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian tersebut menggunakan voltmeter. Langkah-langkah untuk melakukan pengujian rangkaian ini adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan tegangan 5 volt sebagai masukan rangkaian catu daya V^+ *op-amp* dengan menggunakan kabel *jumper*.
- b. Pasang voltmeter pada keluaran rangkaian catu daya V^+ *op amp*. Kemudian, catat nilai tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- c. Ulangi langkah kedua sampai mendapatkan 3 kali data hasil pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian V^+ *op amp* dapat dilihat dalam Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya V^+ *Op Amp*

V_{in} (volt)	V_{out} Tanpa Beban (volt)			Rata-Rata V_{out} Tanpa Beban (volt)	V_{out} Berbeban (volt)			Rata-Rata V_{out} Berbeban (volt)
	1	2	3		1	2	3	
5	8,92	8,95	8,93	8,93	7,23	7,24	7,24	7,24

Dari Tabel 4.1 dapat dilihat bahwa rata rata tegangan keluaran rangkaian catu daya V^+ *op amp* ketika tidak dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal adalah sebesar 8,93 volt. Sedangkan, ketika dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal, rata-rata tegangan keluarannya turun menjadi 7,24 volt. Penurunan tegangan keluaran rangkaian catu daya ini disebabkan karena rangkaian hanya dapat mengalirkan arus beban yang relatif kecil, sehingga terjadi *drop* tegangan ketika dihubungkan ke beban. Namun, *drop* tegangan yang terjadi ini dapat ditoleransi karena nilai 7,24 volt masih berada di atas tegangan minimal catu daya V^+ *op amp* agar dapat bekerja dengan baik sesuai rancangan.

4.1.2. Pengujian Rangkaian Catu Daya V^- Operational Amplifier

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya V^- *op amp* yang telah dibuat agar *op amp* tersebut dapat bekerja dengan baik sesuai spesifikasinya.

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji nilai tegangan keluaran rangkaian catu daya V^- *op amp* adalah sebagai berikut:

- Rangkaian catu daya V^- *op amp* yang telah dibuat (1 buah)
- Kabel *jumper*
- Voltmeter (1 buah)
- Catu daya 5 volt

2. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian catu daya V^- *op amp* dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran rangkaian tersebut menggunakan voltmeter. Langkah-langkah untuk melakukan pengujian rangkaian ini adalah sebagai berikut:

- Hubungkan tegangan 5 volt sebagai masukan rangkaian catu daya V^- *op amp* dengan menggunakan kabel *jumper*.
- Pasang voltmeter pada keluaran rangkaian catu daya V^- *op amp*. Kemudian, catat nilai tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- Ulangi langkah kedua sampai mendapatkan 3 kali data hasil pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian V^- *op amp* dapat dilihat dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Rangkaian Catu Daya V^- *Op Amp*

V_{in} (volt)	V_{out} Tanpa Beban (volt)			Rata-Rata V_{out} Tanpa Beban (volt)	V_{out} Berbeban (volt)			Rata-Rata V_{out} Berbeban (volt)
	1	2	3		1	2	3	
5	-5,12	-5,12	-5,12	-5,12	-3,24	-3,24	-3,24	-3,24

Dari Tabel 4.2 dapat dilihat bahwa rata rata tegangan keluaran rangkaian catu daya V^- *op amp* ketika tidak dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal

adalah sebesar $-5,12$ volt. Sedangkan, ketika dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal, rata-rata tegangan keluarannya turun menjadi $-3,24$ volt. Penurunan tegangan keluaran rangkaian catu daya ini disebabkan karena rangkaian hanya dapat mengalirkan arus beban yang relatif kecil, sehingga terjadi *drop* tegangan ketika dihubungkan ke beban. Namun, *drop* tegangan yang terjadi ini dapat ditoleransi karena nilai $-3,24$ volt masih berada di atas tegangan minimal catu daya $V_{op amp}$ agar dapat bekerja dengan baik sesuai rancangan.

4.1.3. Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan keluaran rangkaian penguat diferensial dasar ketika diberikan tegangan masukan yang bervariasi. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk membandingkan nilai tegangan keluaran hasil perhitungan teori dengan hasil pengukuran oleh voltmeter.

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji tegangan keluaran rangkaian penguat tegangan adalah sebagai berikut:

- Rangkaian penguat tegangan yang telah dibuat (1 buah)
- Kabel *jumper*
- Voltmeter (1 buah)
- Potensiometer (1 buah)
- Catu daya 5 volt dan $-3,24$ volt

2. Prosedur Pengujian

Pengujian rangkaian penguat tegangan ini dilakukan dengan memberikan variasi tegangan masukan dan mengukur tegangan keluaran dengan menggunakan voltmeter, kemudian membandingkannya dengan nilai tegangan keluaran hasil perhitungan teori. Langkah-langkah untuk melakukan pengujian rangkaian ini adalah sebagai berikut:

- Hubungkan catu daya 5 volt ke potensiometer dengan menggunakan kabel *jumper* dan hubungkan keluaran potensiometer ke masukan rangkaian penguat tegangan.
- Pasang voltmeter pada keluaran potensiometer.
- Putar potensiometer sampai terukur tegangan sebesar 400 mV, lalu pasang voltmeter pada keluaran rangkaian penguat tegangan.

- d. Catat nilai tegangan keluaran rangkaian penguat tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- e. Ulangi langkah kedua sampai keempat dengan nilai tegangan keluaran potensiometer diubah-ubah sampai sebesar 0 mV.
- f. Setelah itu, ganti catu daya yang terhubung ke potensiometer menjadi -3,24 volt dengan menggunakan kabel *jumper* dan hubungkan keluaran potensiometer ke masukan rangkaian penguat tegangan.
- g. Pasang voltmeter pada keluaran potensiometer. Kemudian, putar potensiometer sampai terukur tegangan sebesar -400 mV, lalu pasang voltmeter pada keluaran rangkaian penguat tegangan.
- h. Catat nilai tegangan keluaran rangkaian penguat tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- i. Ulangi langkah ketujuh dan kedelapan dengan nilai tegangan keluaran potensiometer diubah-ubah sampai sebesar -100 mV.
- j. Ulangi langkah-langkah pengujian untuk mendapatkan 3 data hasil pengujian.

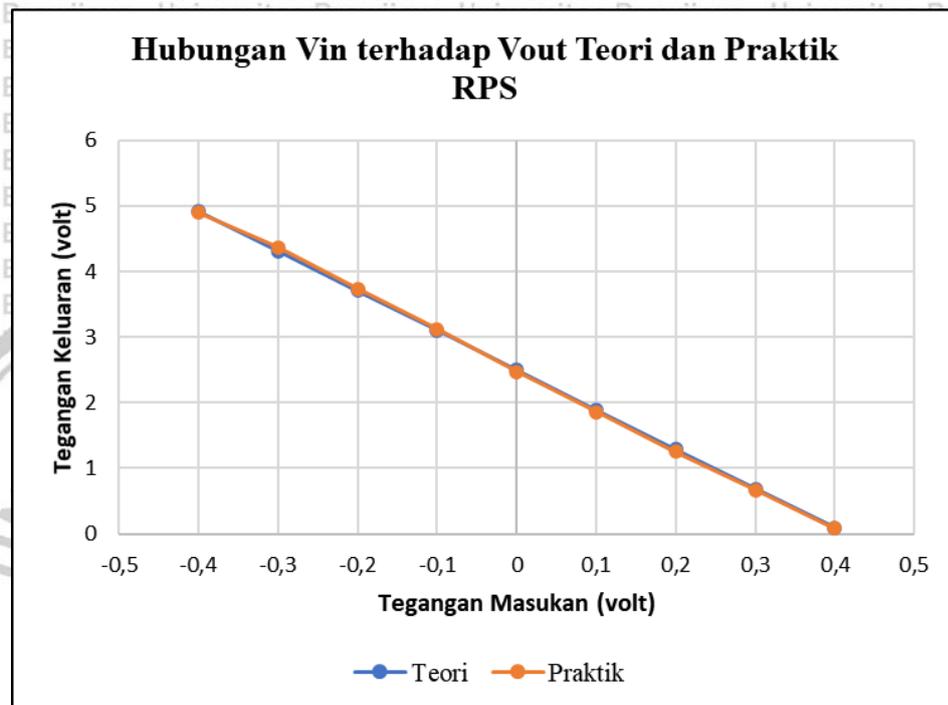
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian tegangan keluaran rangkaian penguat dengan nilai tegangan masukan yang diubah ubah dapat dilihat dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Rangkaian Penguat Tegangan

No.	V_{in} RPS (V)	V_{out} RPS Teori (V)	V_{out} RPS Praktik (V)			V_{out} RPS Praktik Rata-Rata (V)	Error (%)
			1	2	3		
1	-0,4	4,91	4,90	4,91	4,90	4,90	0,20
2	-0,3	4,31	4,38	4,36	4,36	4,37	1,39
3	-0,2	3,71	3,74	3,74	3,75	3,74	0,81
4	-0,1	3,10	3,11	3,12	3,12	3,12	0,65
5	0	2,50	2,47	2,47	2,47	2,47	1,20
6	0,1	1,89	1,86	1,86	1,85	1,86	1,59
7	0,2	1,29	1,24	1,26	1,25	1,25	3,10
8	0,3	0,69	0,67	0,67	0,66	0,67	2,90
9	0,4	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	11,11
Rata-Rata Error							2,55

Dalam Tabel 4.3 terdapat V_{out} RPS teori yang merupakan hasil perhitungan berdasarkan persamaan (3.9) dan V_{out} RPS praktik yang merupakan hasil pengukuran oleh voltmeter. Persentase rata-rata kesalahan yang didapatkan antara V_{out} RPS teori dengan V_{out} RPS praktik adalah sebesar 2,55%. Grafik hubungan antara V_{in} RPS terhadap V_{out} RPS teori dan praktik dapat dilihat dalam Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan V_{in} terhadap V_{out} Teori dan Praktik RPS

Berdasarkan hasil pengujian rangkaian penguat tegangan seperti dalam Tabel 4.3 dan Gambar 4.1, dapat disimpulkan bahwa rangkaian penguat ini memiliki kemampuan yang cukup baik dalam melakukan penguatan tegangan ketika diberikan tegangan masukan yang bervariasi. Hal ini dapat dibuktikan dengan nilai *error* rata-rata antara hasil pengujian terhadap perhitungan teori yaitu sebesar 2,55%. Kesalahan (*error*) ini dapat terjadi karena adanya sifat tidak ideal nilai resistor yang digunakan pada rangkaian penguat.

4.1.4. Pengujian Karakteristik Sensor

Sensor pH terdiri dari elektroda pH yang telah dihubungkan ke rangkaian pengondisi sinyal agar tegangan keluarannya dapat diperkuat. Pengujian sensor ini dilakukan untuk mengetahui respons sensor pH berupa perubahan nilai tegangan keluaran sensor terhadap perubahan nilai pH dalam cairan yang telah

diukur oleh pH meter. Tipe pH meter yang digunakan adalah ATC yang mampu mengukur nilai pH dengan rentang 0 sampai 14 (pada suhu 0°C sampai 50°C), memiliki resolusi sebesar 0,1 pH, dan memiliki akurasi sebesar $\pm 0,2$ pH (0,1 pH pada suhu 20°C).

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji karakteristik sensor pH adalah sebagai berikut:

- a. Sensor pH (1 buah)
- b. pH meter ATC (1 buah)
- c. Voltmeter (1 buah)
- d. Kabel *jumper*
- e. Catu daya 5 volt
- f. Berbagai jenis larutan dengan pH yang berbeda-beda (9 jenis)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian sensor pH dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran sensor ketika dicelupkan ke larutan-larutan yang memiliki nilai pH yang berbeda. Setelah itu, diperoleh grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai pH larutan dan akan didapatkan persamaan garis dari grafik tersebut. Persamaan garis tersebut akan dimasukkan sebagai rumus ke dalam program hasil rancangan sendiri (bukan program *default/example*). Langkah-langkah untuk melakukan pengujian sensor pH adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan catu daya 5 volt ke sensor dengan menggunakan kabel *jumper*.
- b. Celupkan elektroda pH dan pH meter ATC ke dalam larutan yang sama.
- c. Hubungkan voltmeter ke keluaran rangkaian pengondisi sinyal.
- d. Catat nilai pH yang terbaca pada pH meter ATC dan catat juga tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- e. Ulangi langkah kedua sampai keempat dengan menggunakan 8 jenis larutan lainnya.
- f. Ulangi langkah-langkah pengujian untuk mendapatkan 3 data hasil pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari karakteristik sensor pH terhadap 9 jenis larutan yang berbeda ditunjukkan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor pH

Larutan	pH	V _{out} Sensor (volt)			V _{out} Rata-Rata Sensor (volt)
		1	2	3	
A	0,1	-0,003	0,030	0,035	0,021
B	1,0	0,350	0,353	0,348	0,350
C	2,1	0,723	0,725	0,738	0,729
D	2,9	1,044	0,987	0,979	1,003
E	4,0	1,343	1,339	1,326	1,336
F	6,0	2,110	2,040	2,120	2,090
G	6,9	2,432	2,428	2,402	2,421
H	9,0	3,050	3,102	2,924	3,043
I	10,5	3,668	3,732	3,744	3,715

Dari Tabel 4.4 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai pH suatu larutan, maka nilai tegangan keluaran sensor yang terukur pada rangkaian pengondisi sinyal juga akan semakin besar atau berbanding lurus. Setelah itu, dilakukanlah analisis regresi linear untuk mendapatkan persamaan matematis dari hubungan nilai tegangan terhadap perubahan nilai pH dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$y = a + bx \quad (4.1)$$

dimana

x = variabel faktor (nilai pH)

y = variabel respons (nilai tegangan sensor)

a = konstanta

b = koefisien regresi

dengan rumus konstanta adalah

$$a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4.2)$$

dan rumus koefisien regresi adalah

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2} \quad (4.3)$$

Untuk mempermudah perhitungan regresi linear berdasarkan rumus di atas, masukkan data nilai tegangan sensor sebagai variabel x dan nilai pH sebagai variabel y ke dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Perhitungan Regresi Linear Karakteristik Sensor pH

n	x_i	y_i	x_i^2	y_i^2	$x_i \cdot y_i$
1	0,021	0,1	0,0004	0,01	0,0021
2	0,350	1,0	0,1225	1,00	0,3500
3	0,729	2,1	0,5314	4,41	1,5309
4	1,003	2,9	1,0060	8,41	2,9087
5	1,336	4,0	1,7849	16,00	5,3440
6	2,090	6,0	4,3681	36,00	12,5400
7	2,421	6,9	5,8612	47,61	16,7049
8	3,043	9,0	9,2598	81,00	27,3870
9	3,715	10,5	13,8012	110,25	39,0075
Σ	14,708	42,5	36,7355	304,69	105,7751

Dari Tabel 4.5 di atas, dapat dihitung nilai konstanta dan koefisien regresi dengan cara sebagai berikut:

a. Menghitung nilai konstanta

$$a = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}, \text{ dengan } n = 9$$

$$a = \frac{(42,5)(36,7355) - (14,708)(105,7751)}{9(36,7355) - (14,708)^2}$$

$$a = \frac{1561,2588 - 1555,7402}{330,6195 - 216,3253}$$

$$a = \frac{5,5186}{114,2942} = \mathbf{0,0482}$$

b. Menghitung nilai koefisien regresi

$$b = \frac{n(\Sigma xy) - (\Sigma x)(\Sigma y)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}, \text{ dengan } n = 9$$

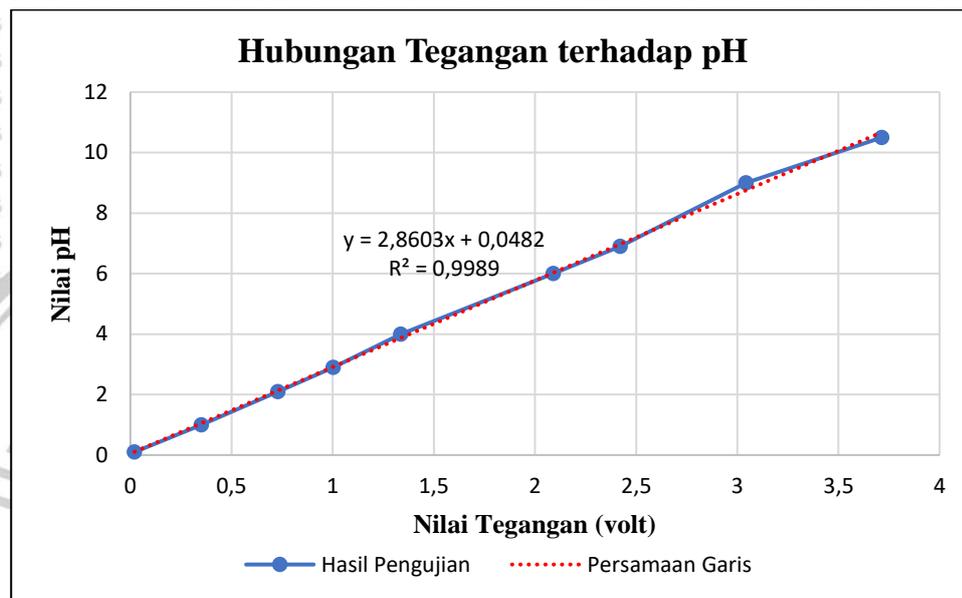
$$b = \frac{9(105,7751) - (14,708)(42,5)}{9(36,7355) - (14,708)^2}$$

$$b = \frac{951,9759 - 625,09}{330,6195 - 216,3253}$$

$$b = \frac{326,8859}{114,2838} = 2,8603$$

Setelah menghitung nilai konstanta dan koefisien regresi, maka akan didapatkan persamaan regresi linear karakteristik sensor pH yaitu:

$$y = 0,0482 + 2,8603x$$



Gambar 4.2 Grafik Karakteristik Sensor pH

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik sensor pH seperti dalam Tabel 4.4 dan Gambar 4.2 terlihat bahwa sensor dapat merespons perubahan nilai pH di dalam cairan, yaitu semakin tinggi nilai pH cairan atau bersifat basa, maka tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 juga semakin besar.

Dari grafik dalam Gambar 4.2 serta berdasarkan perhitungan nilai konstanta dan koefisien regresi, didapatkan persamaan regresi linear sensor pH yaitu $y = 0,0482 + 2,8603x$, dimana y adalah nilai pH dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328. Persamaan ini digunakan untuk mengubah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 menjadi nilai pH hasil pembacaan sensor dengan rentang 0 sampai 14.

4.1.5. Pengujian Pembacaan pH oleh Sensor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pembacaan pH oleh sensor setelah dilakukan konversi nilai tegangan sensor menjadi nilai pH melalui persamaan

yang didapat pada pengujian karakteristik sensor. Nantinya, nilai pH hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai pembacaan alat ukur pembanding, yaitu berupa pH meter. Tipe pH meter yang digunakan adalah ATC yang mampu mengukur nilai pH dengan rentang 0 sampai 14 (pada suhu 0°C sampai 50°C), memiliki resolusi sebesar 0,1 pH, dan memiliki akurasi sebesar $\pm 0,2$ pH (0,1 pH pada suhu 20°C).

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji pembacaan pH oleh sensor adalah sebagai berikut:

- a. Sensor pH (1 buah)
- b. Arduino UNO (1 buah)
- c. Laptop (1 buah)
- d. Kabel *jumper*
- e. pH meter ATC (1 buah)
- f. Berbagai jenis larutan dengan pH yang berbeda-beda (9 jenis)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian pembacaan pH sensor dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan pH oleh sensor dengan nilai pembacaan pH pada pH meter. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan keluaran sensor ke pin analog A0 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- b. Upload program yang berisi persamaan hasil pengujian karakteristik ke Arduino dan buka *serial monitor*.
- c. Celupkan elektroda pH dan pH meter ke dalam larutan yang sama.
- d. Catat nilai pH yang terbaca oleh sensor pH pada *serial monitor* dan pH meter.
- e. Ulangi langkah ketiga dan keempat dengan menggunakan 8 jenis larutan lainnya.
- f. Ulangi langkah-langkah pengujian untuk mendapatkan 3 data hasil pengujian.

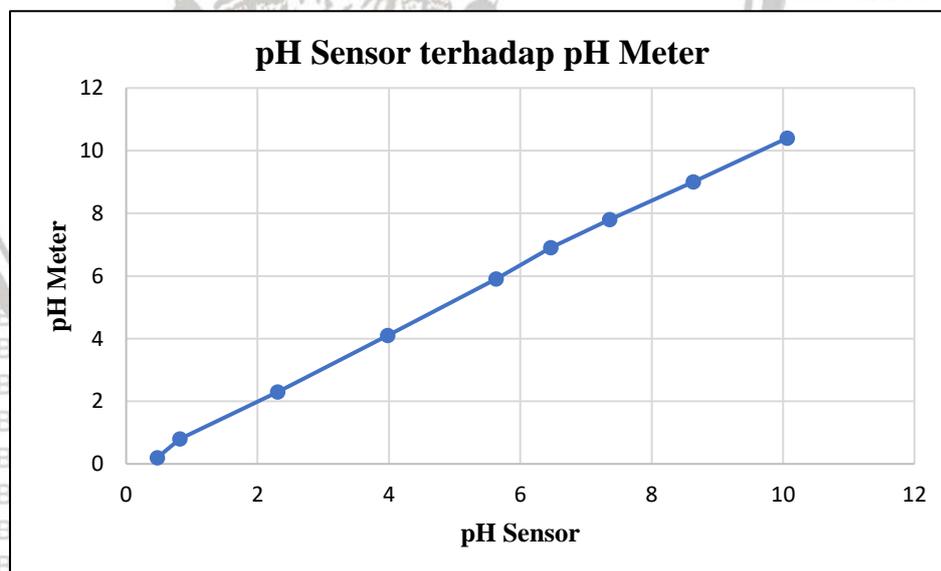
3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari pembacaan pH oleh sensor yang dibandingkan dengan hasil pembacaan pH oleh pH meter ditunjukkan dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Pembacaan pH oleh Sensor

No.	pH Meter	pH Sensor			Rata-Rata pH Sensor	Perbedaan Pembacaan (%)
		1	2	3		
1	0,20	0,50	0,47	0,45	0,47	135,00
2	0,80	0,79	0,82	0,84	0,82	2,50
3	2,30	2,31	2,27	2,34	2,31	0,43
4	4,10	4,00	3,98	3,97	3,98	2,93
5	5,90	5,67	5,60	5,62	5,63	4,58
6	6,90	6,44	6,46	6,50	6,47	6,23
7	7,80	7,34	7,38	7,36	7,36	5,64
8	9,00	8,61	8,66	8,63	8,63	4,11
9	10,40	10,06	10,05	10,08	10,06	3,27
Rata-Rata Perbedaan Pembacaan						18,30

Adapun grafik hasil pengujian pembacaan pH oleh sensor yang dibandingkan dengan hasil pembacaan pH oleh pH meter berdasarkan Tabel 4.6 dapat dilihat dalam Gambar 4.3.

**Gambar 4.3** Grafik Pembacaan pH oleh Sensor

Dari Tabel 4.6 dan Gambar 4.3 diperoleh rata-rata persentase perbedaan pembacaan nilai pH oleh sensor yang dibandingkan dengan pembacaan nilai pH oleh pH meter adalah sebesar 18,30%. Persentase perbedaan pembacaan yang paling besar terjadi ketika pH meter mengukur nilai pH sebesar 0,20,

sedangkan rata-rata pengukuran sensor adalah 0,47, dimana hal ini menghasilkan persentase perbedaan pembacaan sebesar 135% yang mengakibatkan rata-rata persentase perbedaan pembacaan antara sensor dengan pH meter menjadi lebih besar yaitu 18,30%. Selain itu, hal lain yang dapat menyebabkan besarnya persentase perbedaan pembacaan nilai pH antara sensor dengan pH meter adalah adanya ketidaksesuaian nilai tegangan keluaran sensor yang terukur oleh voltmeter pada saat pengujian karakteristik dengan nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh mikrokontroler, sehingga mempengaruhi konversi nilai tegangan menjadi nilai pH hasil pembacaan sensor oleh mikrokontroler.

4.2. Pengujian Sensor SEN0244

Pengujian sensor TDS SEN0244 yang dilakukan berupa pengujian karakteristik dan pembacaan nilai TDS oleh sensor. Pengujian karakteristik sensor dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor dengan nilai TDS. Sedangkan, pengujian pembacaan nilai TDS sensor dilakukan untuk mengetahui persentase perbedaan pembacaan nilai TDS oleh sensor yang dibandingkan dengan alat ukur TDS yaitu TDS meter.

4.2.1. Pengujian Karakteristik Sensor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respons sensor TDS terhadap perubahan nilai TDS dalam air yang memiliki suhu sebesar 26,3°C. Respons dari sensor yang dimaksud adalah nilai tegangan keluaran sensor terhadap nilai TDS.

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji karakteristik sensor TDS SEN0244 adalah sebagai berikut:

- a. Sensor TDS SEN0244 (1 buah)
- b. Arduino UNO (1 buah)
- c. Voltmeter (1 buah)
- d. Laptop (1 buah)
- e. Kabel *jumper*
- f. Air (3000 ml)
- g. Larutan nutrisi A (27 ml)
- h. Larutan nutrisi B (27 ml)
- i. Wadah air (1 buah)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian sensor TDS SEN0244 dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran sensor setiap penambahan larutan nutrisi AB mix. Setelah itu, diperoleh grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai TDS dalam air dan akan didapatkan persamaan garis dari grafik tersebut. Persamaan garis tersebut akan dimasukkan sebagai rumus ke dalam program hasil rancangan sendiri (bukan program *default/example*). Langkah-langkah untuk melakukan pengujian sensor TDS SEN0244 adalah sebagai berikut:

- a. Masukkan air sebanyak 1 liter ke dalam wadah.
- b. Hubungkan keluaran sensor ke pin analog A2 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- c. Upload program *default/example* sensor SEN0244 yang didapatkan dari *website* DFRobot dan buka *serial monitor*.
- d. Celupkan elektroda sensor SEN0244 ke dalam air dan hubungkan voltmeter ke keluaran sensor atau pin A2 Arduino.
- e. Catat nilai TDS yang terbaca pada *serial monitor* dan catat juga tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- f. Masukkan larutan nutrisi A dan nutrisi B masing-masing sebanyak 0,5 ml ke dalam wadah air tadi dan biarkan tercampur. Setelah itu, catat nilai TDS yang terbaca pada *serial monitor* dan catat juga tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- g. Lakukan langkah keenam sampai 18 kali penambahan.
- h. Ulangi langkah-langkah pengujian untuk mendapatkan 3 data hasil pengujian.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari karakteristik sensor TDS SEN0244 pada cairan dengan suhu 26,3°C ditunjukkan dalam Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor SEN0244 pada Suhu 26,3°C

No.	Volume Air (ml)	Volume Nutrisi (ml)		Percobaan	Nilai TDS Sensor (ppm)	Nilai TDS Rata-Rata (ppm)	V _{out} Sensor (V)	V _{out} Rata-Rata (V)
		A	B					
1	1000	0,0	0,0	1	267	267,0	0,738	0,738

				2	267		0,738	
				3	267		0,738	
				1	350		0,978	
2	1000	0,5	0,5	2	348	348,0	0,975	0,974
				3	346		0,970	
				1	414		1,148	
3	1000	1,0	1,0	2	416	415,3	1,155	1,153
				3	416		1,155	
				1	457		1,262	
4	1000	1,5	1,5	2	473	467,0	1,293	1,282
				3	471		1,292	
				1	531		1,429	
5	1000	2,0	2,0	2	525	529,0	1,414	1,424
				3	531		1,429	
				1	602		1,576	
6	1000	2,5	2,5	2	597	599,3	1,564	1,569
				3	599		1,567	
				1	661		1,688	
7	1000	3,0	3,0	2	658	659,0	1,680	1,683
				3	658		1,680	
				1	707		1,775	
8	1000	3,5	3,5	2	713	711,0	1,790	1,782
				3	713		1,780	
				1	772		1,882	
9	1000	4,0	4,0	2	760	766,0	1,864	1,873
				3	766		1,873	
				1	817		1,951	
10	1000	4,5	4,5	2	810	809,3	1,935	1,935
				3	801		1,920	
				1	836		1,983	
11	1000	5,0	5,0	2	836	839,3	1,983	1,986
				3	846		1,991	
				1	884		2,047	
12	1000	5,5	5,5	2	870	880,3	2,028	2,041
				3	887		2,047	
				1	912		2,091	
13	1000	6,0	6,0	2	923	914,7	2,094	2,089
				3	909		2,081	
				1	934		2,114	
14	1000	6,5	6,5	2	938	931,7	2,117	2,108
				3	923		2,094	
15	1000	7,0	7,0	1	956	940,0	2,145	2,120

				2	934		2,109	
				3	930		2,106	
16	1000	7,5	7,5	1	945	953,7	2,131	2,140
				2	945		2,131	
				3	971		2,158	
17	1000	8,0	8,0	1	998	1000,7	2,194	2,199
				2	1002		2,202	
				3	1002		2,202	
18	1000	8,5	8,5	1	1042	1030,0	2,247	2,235
				2	1034		2,241	
				3	1014		2,216	
19	1000	9,0	9,0	1	1034	1034,0	2,241	2,241
				2	1034		2,241	
				3	1034		2,241	

Dari Tabel 4.7 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai TDS suatu larutan, maka nilai tegangan keluaran sensor juga akan semakin besar. Setelah itu, dilakukanlah analisis regresi polinomial orde-2 untuk mendapatkan persamaan matematis dari hubungan nilai tegangan terhadap perubahan nilai TDS pada suhu 26,3°C dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$y = a + bx + cx^2 \quad (4.4)$$

dimana

x = variabel faktor (nilai TDS)

y = variabel respons (nilai tegangan sensor)

a = konstanta

b = koefisien regresi orde-1

c = koefisien regresi orde-2

dan bentuk matriks dari persamaan regresi polinomial orde-2 adalah

$$\begin{bmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \sum x_i y_i^2 \end{bmatrix} \quad (4.5)$$

dengan determinan matriksnya

$$D = \begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \sum x_i^4 \end{vmatrix} \quad (4.6)$$

$$D_a = \begin{vmatrix} \sum y_i & \sum x_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i y_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 \\ \sum x_i y_i^2 & \sum x_i^2 & \sum x_i^4 \end{vmatrix} \quad (4.7)$$

$$D_b = \begin{vmatrix} n & \sum y_i & \sum x_i^2 \\ \sum x_i & \sum x_i y_i & \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 & \sum x_i y_i^2 & \sum x_i^4 \end{vmatrix} \quad (4.8)$$

$$D_c = \begin{vmatrix} n & \sum x_i & \sum y_i \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i \\ \sum x_i^2 & \sum x_i^2 & \sum x_i y_i^2 \end{vmatrix} \quad (4.9)$$

dengan rumus konstanta adalah

$$a = \frac{D_a}{D} \quad (4.10)$$

rumus koefisien regresi orde-1 adalah

$$b = \frac{D_b}{D} \quad (4.11)$$

dan rumus koefisien regresi orde-2 adalah

$$c = \frac{D_c}{D} \quad (4.12)$$

Untuk mempermudah perhitungan regresi polinomial orde-2 berdasarkan rumus di atas, masukkan data nilai tegangan sensor sebagai variabel x dan nilai TDS sebagai variabel y ke dalam Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Perhitungan Regresi Polinomial Orde-2 Karakteristik SEN0244

n	x_n	y_n	x_n^2	x_n^3	x_n^4	$x_n \cdot y_n$	$x_n^2 \cdot y_n$
1	0,738	267	0,545	0,402	0,297	197,046	145,420
2	0,974	348	0,949	0,924	0,900	338,987	330,207
3	1,153	415,33	1,329	1,531	1,765	478,738	551,827
4	1,282	467	1,644	2,109	2,704	598,848	767,921
5	1,424	529	2,028	2,888	4,112	753,296	1072,694
6	1,569	599,33	2,462	3,863	6,060	940,349	1475,407
7	1,683	659	2,831	4,764	8,017	1108,880	1865,878
8	1,782	711	3,174	5,656	10,076	1266,767	2256,961

9	1,873	766	3,508	6,571	12,307	1434,718	2687,227
10	1,935	809,33	3,746	7,249	14,029	1566,321	3031,347
11	1,986	839,33	3,943	7,829	15,546	1666,632	3309,382
12	2,041	880,33	4,164	8,498	17,342	1796,463	3665,988
13	2,089	914,67	4,363	9,112	19,032	1910,444	3990,287
14	2,108	931,67	4,445	9,371	19,757	1964,240	4141,207
15	2,120	940	4,494	9,528	20,200	1992,800	4224,736
16	2,140	953,67	4,580	9,800	20,973	2040,854	4367,427
17	2,199	1000,67	4,837	10,638	23,397	2200,804	4840,293
18	2,235	1030	4,994	11,159	24,938	2301,710	5143,563
19	2,241	1034	5,022	11,254	25,221	2317,194	5192,832
Σ	33,571	14095,33	63,057	123,147	246,673	26875,090	53060,604

Dari Tabel 4.8 di atas, dengan memasukkan seluruh nilai variabel ke dalam matriks sesuai dengan persamaan (4.5), akan dapat dihitung nilai determinan D , D_a , D_b , dan D_c dengan menggunakan rumus pada persamaan (4.6), (4.7), (4.8), dan (4.9) yang nilainya adalah sebagai berikut:

$$D = 42,94$$

$$D_a = 8027,20$$

$$D_b = -145,56$$

$$D_c = 7257,29$$

Kemudian dapat dihitung nilai konstanta, koefisien regresi orde-1, dan koefisien regresi orde-2 dengan cara sebagai berikut:

- Menghitung nilai konstanta

$$a = \frac{D_a}{D}$$

$$a = \frac{8027,2}{42,94} = 186,94$$

- Menghitung nilai koefisien regresi orde-1

$$b = \frac{D_b}{D}$$

$$b = \frac{-145,56}{42,94} = -3,3898$$

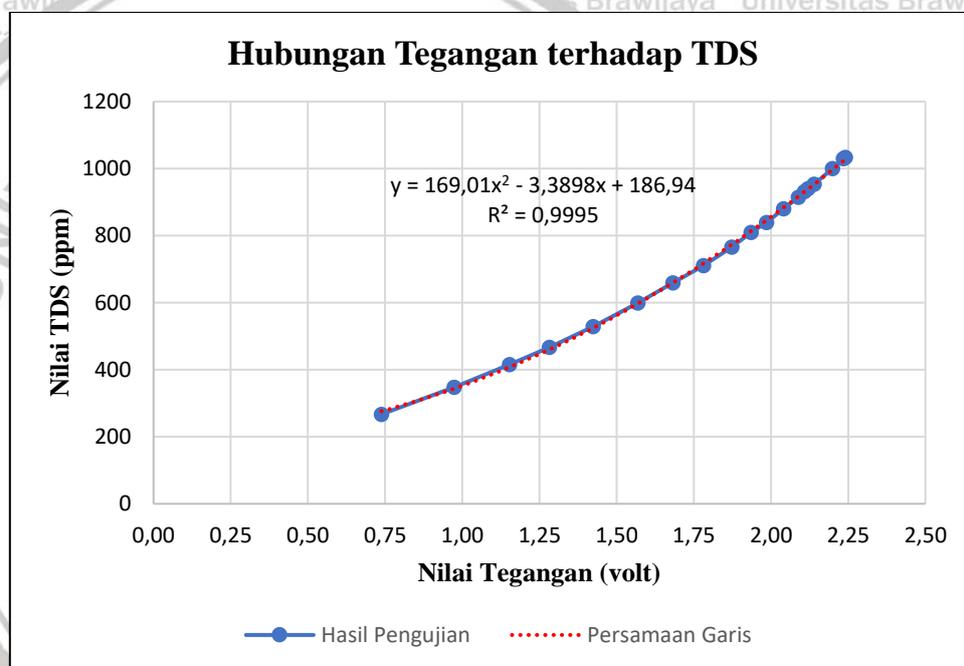
- Menghitung nilai koefisien regresi orde-2

$$c = \frac{D_c}{D}$$

$$c = \frac{7257,29}{42,94} = 169,01$$

Setelah menghitung nilai konstanta, koefisien regresi orde-1, dan koefisien regresi orde-2, maka akan didapatkan persamaan regresi polinomial orde-2 karakteristik sensor TDS SEN0244 pada suhu cairan sebesar 26,3°C yaitu:

$$y = 186,94 - 3,3898x + 169,01x^2$$



Gambar 4.4 Grafik Karakteristik Sensor SEN0244 pada Suhu 26,3°C

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik sensor TDS SEN0244 seperti dalam Tabel 4.7 dan Gambar 4.4 terlihat bahwa sensor dapat merespons perubahan nilai TDS di dalam cairan yang memiliki suhu sebesar 26,3°C, dimana semakin tinggi nilai TDS dalam cairan, maka tegangan keluaran sensor tersebut juga akan semakin meningkat walaupun tidak linear. Dari grafik dalam Gambar 4.4 dan berdasarkan perhitungan analisis regresi polinomial orde-2, didapatkan persamaan regresi sensor TDS SEN0244 pada suhu cairan 26,3°C yaitu $y = 186,94 - 3,3898x + 169,01x^2$, dimana y adalah nilai TDS dalam cairan

dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor. Persamaan ini digunakan untuk mengubah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 menjadi nilai TDS (ppm) hasil pembacaan sensor.

4.2.2. Pengujian Pembacaan TDS oleh Sensor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pembacaan total padatan terlarut oleh sensor TDS SEN0244 setelah dilakukan konversi nilai tegangan sensor menjadi nilai TDS melalui persamaan yang didapat pada pengujian karakteristik sensor. Nantinya, nilai TDS hasil pembacaan sensor akan dibandingkan dengan nilai pembacaan alat ukur pembanding, yaitu berupa TDS meter. Tipe TDS meter yang digunakan adalah TDS-3 yang memiliki tingkat akurasi sebesar $\pm 2\%$ FS, resolusi sebesar 1 ppm (pada pengukuran 0 ppm sampai 999 ppm) hingga 10 ppm (pada pengukuran 1000 ppm sampai 9999 ppm), dan rentang pengukuran mulai dari 0 ppm sampai 9999 ppm.

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji pembacaan total padatan terlarut oleh sensor TDS SEN0244 adalah sebagai berikut:

- Sensor TDS SEN0244 (1 buah)
- Arduino UNO (1 buah)
- Laptop (1 buah)
- Kabel *jumper*
- TDS meter tipe TDS-3 (1 buah)
- Berbagai jenis larutan dengan nilai TDS yang berbeda-beda (31 jenis)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian pembacaan TDS sensor SEN0244 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan total padatan terlarut oleh sensor SEN0244 dengan nilai pembacaan total padatan terlarut pada TDS meter. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Hubungkan keluaran sensor ke pin analog A2 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- Upload program yang berisi persamaan hasil pengujian karakteristik ke Arduino dan buka *serial monitor*.
- Celupkan elektroda sensor SEN0244 dan TDS meter ke dalam larutan yang sama.

d. Catat nilai TDS yang terbaca oleh sensor SEN0244 pada *serial monitor* dan TDS meter.

e. Ulangi langkah ketiga dan keempat dengan menggunakan 30 jenis larutan lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

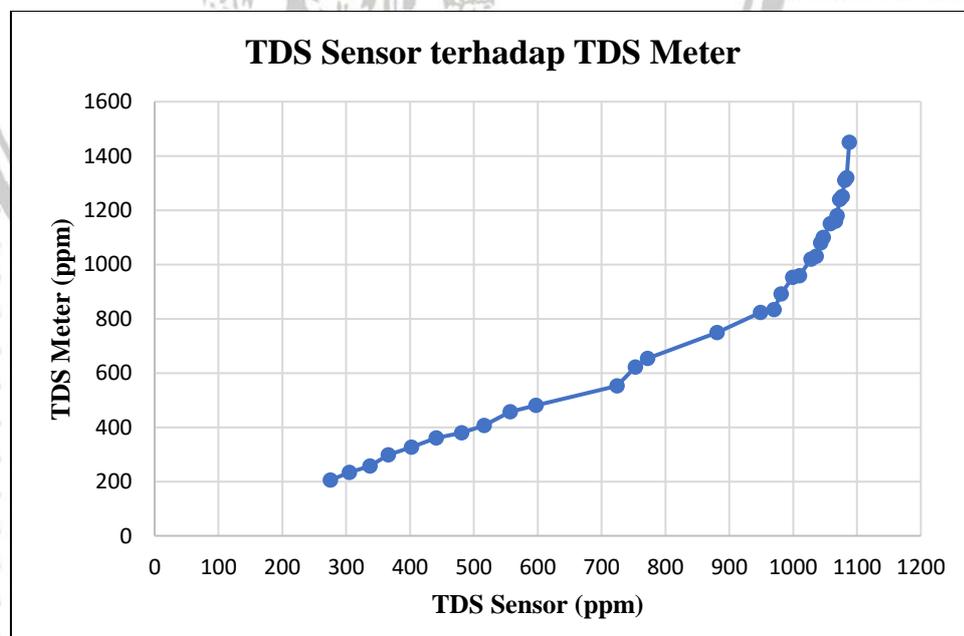
Hasil pengujian dari pembacaan total padatan terlarut oleh sensor SEN0244 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan total padatan terlarut oleh TDS meter ditunjukkan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Pembacaan TDS oleh Sensor SEN0244

No.	TDS Meter (ppm)	TDS Sensor (ppm)	Perbedaan Pembacaan (%)
1	205	275	34,146
2	234	305	30,342
3	257	362	40,856
4	298	366	22,819
5	329	439	33,435
6	361	441	22,161
7	380	481	26,579
8	407	516	26,781
9	457	557	21,882
10	481	597	24,116
11	553	724	30,922
12	622	753	21,061
13	654	772	18,043
14	749	881	17,623
15	823	949	15,310
16	834	970	16,307
17	891	981	10,101
18	953	999	4,827
19	958	1010	5,428

20	1020	1028	0,784
21	1030	1036	0,583
22	1080	1043	3,426
23	1100	1047	4,818
24	1150	1058	8,000
25	1160	1066	8,103
26	1180	1069	9,407
27	1240	1073	13,468
28	1250	1077	13,840
29	1310	1081	17,481
30	1320	1084	17,879
31	1450	1088	24,966
Rata-Rata Perbedaan Pembacaan			17,596

Adapun grafik hasil pengujian pembacaan total padatan terlarut oleh sensor SEN0244 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan total padatan terlarut oleh TDS meter berdasarkan Tabel 4.9 dapat dilihat dalam Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Grafik Pembacaan TDS oleh Sensor SEN0244

Dari Tabel 4.9 dan Gambar 4.5 diperoleh rata-rata persentase perbedaan pembacaan total padatan terlarut oleh sensor SEN0244 yang dibandingkan

dengan pembacaan total padatan terlarut oleh TDS meter adalah sebesar 17,596%. Persentase perbedaan pembacaan yang besar ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor SEN0244 dan TDS meter TDS-3 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor SEN0244 memiliki tingkat akurasi yang kurang baik dibandingkan TDS-3 yaitu sebesar $\pm 10\%$ FS (25°C), sedangkan TDS-3 memiliki akurasi sebesar $\pm 2\%$ FS. Selain itu, dari rentang pengukurannya, TDS-3 dapat mengukur total padatan terlarut mulai dari 0 ppm sampai 9999 ppm, sedangkan sensor SEN0244 hanya dapat mengukur total padatan terlarut mulai dari 0 ppm sampai 1000 ppm. Namun, berdasarkan data hasil pengujian seperti dalam Tabel 4.9, sensor SEN0244 dapat mengukur total padatan terlarut hingga 1066 ppm dengan perbedaan pembacaan dengan TDS-3 sebesar <100 ppm, sedangkan persentase perbedaan pembacaan total padatan terlarut diatas 1066 ppm antara sensor SEN0244 dengan TDS-3 semakin membesar. Berdasarkan hal tersebut dan spesifikasi alat yang ingin dicapai, dapat disimpulkan bahwa kemampuan sensor SEN0244 dalam mengukur total padatan terlarut memenuhi spesifikasi alat yang ingin dicapai, yaitu kemampuan sensor SEN0244 dalam mengukur total padatan terlarut sesuai dengan kebutuhan tanaman pakcoy yang berkisar 500 ppm sampai 1050 ppm.

4.3. Pengujian Sensor ORP SEN0165

Pengujian sensor ORP SEN0165 yang dilakukan berupa pengujian karakteristik sensor. Pengujian karakteristik sensor dilakukan untuk mengetahui hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor dengan nilai ORP.

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji karakteristik sensor ORP SEN0165 adalah sebagai berikut:

- a. Sensor ORP SEN0165 (1 buah)
- b. Arduino UNO (1 buah)
- c. Voltmeter (1 buah)
- d. Laptop (1 buah)
- e. Kabel *jumper*
- f. Berbagai jenis larutan dengan nilai ORP yang berbeda-beda (10 jenis)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian sensor ORP SEN0165 dilakukan dengan cara mengukur tegangan keluaran sensor ketika dicelupkan ke larutan-larutan yang memiliki nilai ORP yang berbeda. Setelah itu, diperoleh grafik hubungan antara tegangan keluaran sensor dengan nilai ORP larutan dan akan didapatkan persamaan garis dari grafik tersebut.

Persamaan garis tersebut akan dimasukkan sebagai rumus ke dalam program hasil rancangan sendiri (bukan program *default/example*). Langkah-langkah untuk melakukan pengujian sensor ORP SEN0165 adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan keluaran sensor ke pin analog A1 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- b. Upload program *default/example* sensor SEN0165 yang didapatkan dari *website* DFRobot dan buka *serial monitor*.
- c. Celupkan elektroda sensor SEN0165 ke dalam larutan dan hubungkan voltmeter ke keluaran sensor atau pin A1 Arduino.
- d. Catat nilai ORP yang terbaca pada *serial monitor* dan catat juga tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- e. Ulangi langkah ketiga dan keempat dengan menggunakan 9 jenis larutan lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari karakteristik sensor ORP SEN0165 terhadap 10 jenis larutan yang berbeda ditunjukkan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Karakteristik Sensor ORP SEN0165

Larutan	ORP (V)	V_{out} Sensor (V)
A	0,100	1,902
B	0,181	1,818
C	0,253	1,749
D	0,323	1,679
E	0,342	1,659
F	0,419	1,582
G	0,448	1,552
H	0,481	1,521
I	0,508	1,493
J	0,517	1,485

Dari Tabel 4.10 dapat dilihat bahwa semakin besar nilai ORP suatu larutan, maka nilai tegangan keluaran sensor akan semakin kecil atau berbanding terbalik. Setelah itu, dilakukanlah analisis regresi linear untuk mendapatkan persamaan matematis hubungan antara nilai tegangan terhadap nilai ORP. Analisis regresi linear ini dilakukan dengan menggunakan rumus pada persamaan (4.1), (4.2), dan (4.3).

Untuk mempermudah perhitungan regresi linear, masukkan data nilai tegangan sebagai variabel x dan nilai ORP sebagai variabel y ke dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Perhitungan Regresi Linear Karakteristik Sensor ORP SEN0165

n	x_n	y_n	x_n^2	y_n^2	$x_n \cdot y_n$
1	1,902	0,100	3,618	0,010	0,190
2	1,818	0,181	3,305	0,033	0,329
3	1,749	0,253	3,059	0,064	0,442
4	1,679	0,323	2,819	0,104	0,542
5	1,659	0,342	2,752	0,117	0,567
6	1,582	0,419	2,503	0,176	0,663
7	1,552	0,448	2,409	0,201	0,695
8	1,521	0,481	2,313	0,231	0,732
9	1,493	0,508	2,229	0,258	0,758
10	1,485	0,517	2,205	0,267	0,768
Σ	16,440	3,572	27,212	1,461	5,687

Dari Tabel 4.11 di atas, dapat dihitung nilai konstanta dan koefisien regresi dengan cara sebagai berikut:

- Menghitung nilai konstanta

$$a = \frac{(\Sigma y)(\Sigma x^2) - (\Sigma x)(\Sigma xy)}{n(\Sigma x^2) - (\Sigma x)^2}, \text{ dengan } n = 10$$

$$a = \frac{(3,572)(27,212) - (16,44)(5,687)}{10(27,212) - (16,44)^2}$$

$$a = \frac{97,2013 - 93,4943}{272,12 - 270,2736}$$

$$a = \frac{3,707}{1,8464} = 2,0077$$

- Menghitung nilai koefisien regresi

$$b = \frac{n(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}, \text{ dengan } n = 10$$

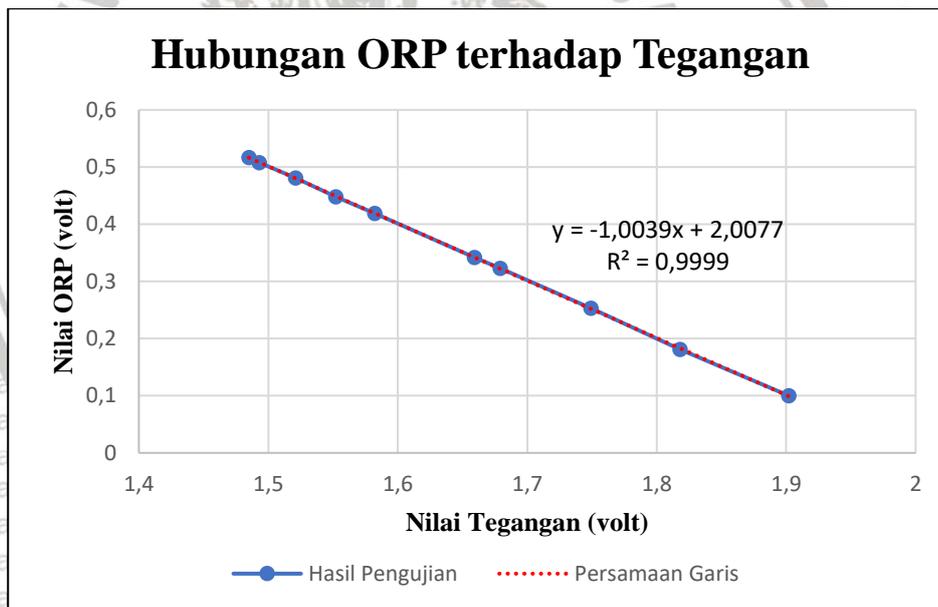
$$b = \frac{10(5,687) - (16,44)(3,572)}{10(27,212) - (16,44)^2}$$

$$b = \frac{56,87 - 58,7237}{272,12 - 270,2736}$$

$$b = \frac{-1,8537}{1,8464} = -1,0039$$

Setelah menghitung nilai konstanta dan koefisien regresi, maka akan didapatkan persamaan regresi linear karakteristik sensor ORP SEN0165 yaitu:

$$y = 2,0077 - 1,0039x$$



Gambar 4.6 Grafik Karakteristik Sensor ORP SEN0165

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik sensor ORP SEN0165 seperti dalam Tabel 4.10 dan Gambar 4.6 terlihat bahwa sensor dapat merespons perubahan nilai ORP di dalam cairan, yaitu semakin tinggi nilai ORP cairan, maka tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 akan semakin rendah atau berbanding terbalik.

Dari grafik dalam Gambar 4.6 serta berdasarkan perhitungan nilai konstanta dan koefisien regresi, didapatkan persamaan regresi sensor ORP SEN0165 yaitu $y =$

$2,0077 - 1,0039x$, dimana y adalah nilai ORP dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328. Persamaan ini digunakan untuk mengubah nilai tegangan keluaran sensor menjadi nilai ORP hasil pembacaan sensor.

4.4. Pengujian Sensor Suhu Air DS18B20

Pengujian sensor suhu air DS18B20 yang dilakukan berupa pengujian pembacaan suhu air oleh sensor yang dibandingkan dengan pembacaan alat ukur pembanding, yaitu berupa termometer air. Tipe termometer air yang digunakan adalah TP101 yang memiliki tingkat akurasi sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$, resolusi sebesar $0,1^\circ\text{C}$, dan rentang pengukuran mulai dari -50°C sampai 300°C .

1. Alat dan Bahan yang Digunakan

Alat dan bahan yang digunakan untuk menguji pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 adalah sebagai berikut:

- a. Sensor suhu air DS18B20 (1 buah)
- b. Arduino UNO (1 buah)
- c. Laptop (1 buah)
- d. Kabel *jumper*
- e. Termometer air TP101 (1 buah)
- f. *Heater* (1 buah)
- g. Air

2. Prosedur Pengujian

Pengujian pembacaan suhu air sensor DS18B20 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 dengan nilai pembacaan suhu pada termometer air. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan keluaran sensor ke pin digital D9 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- b. Upload program ke Arduino dan buka *serial monitor*.
- c. Masukkan air ke dalam *heater*, lalu celupkan sensor DS18B20 dan termometer air ke dalamnya.
- d. Panaskan air dengan menggunakan *heater* sampai suhu yang terbaca pada termometer air sebesar $57,1^\circ\text{C}$, lalu matikan *heater*.
- e. Catat nilai suhu air yang terbaca oleh sensor DS18B20 pada *serial monitor* dan termometer air.

f. Diamkan sampai 5 menit. Setelah itu, catat kembali nilai suhu air yang terbaca oleh sensor DS18B20 pada *serial monitor* dan termometer air.

g. Ulangi langkah keenam sampai suhu yang terbaca pada termometer air mencapai nilai minimum, dalam pengujian ini sebesar 25,6°C.

3. Hasil dan Pembahasan

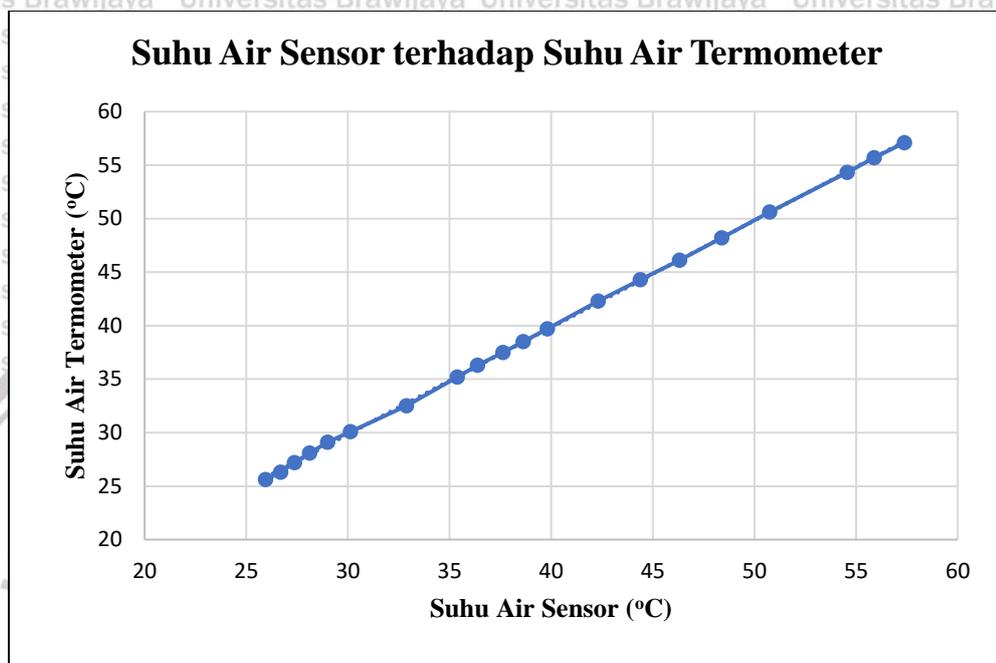
Hasil pengujian dari pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan suhu oleh termometer air ditunjukkan dalam Tabel 4.12.

Tabel 4.12 Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Air oleh Sensor DS18B20

No.	Suhu Termometer (°C)	Suhu Sensor (°C)	Perbedaan Pembacaan (%)
1	57,1	57,38	0,49
2	55,7	55,88	0,32
3	54,3	54,56	0,48
4	50,6	50,75	0,30
5	48,2	48,38	0,37
6	46,1	46,31	0,46
7	44,3	44,38	0,18
8	42,3	42,31	0,02
9	39,7	39,81	0,28
10	38,5	38,63	0,34
11	37,5	37,63	0,35
12	36,3	36,38	0,22
13	35,2	35,38	0,51
14	32,5	32,88	1,17
15	30,1	30,12	0,07
16	29,1	29,00	0,34
17	28,1	28,12	0,07
18	27,2	27,37	0,63
19	26,3	26,69	1,48

20	25,6	25,94	1,33
Rata-Rata Perbedaan Pembacaan			0,47

Adapun grafik hasil pengujian pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan suhu oleh termometer air berdasarkan Tabel 4.12 dapat dilihat dalam Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Grafik Pembacaan Suhu Air oleh Sensor DS18B20

Dari Tabel 4.12 dan Gambar 4.7 diperoleh rata-rata persentase perbedaan pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 yang dibandingkan dengan pembacaan suhu oleh termometer air adalah sebesar 0,47%. Persentase perbedaan pembacaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor DS18B20 dan termometer air TP101 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan termometer air TP101 yaitu sebesar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan termometer air TP101 memiliki akurasi sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$.

4.5. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 yang dilakukan berupa pengujian pembacaan suhu udara oleh sensor yang dibandingkan dengan pembacaan alat ukur pembanding, yaitu berupa termometer udara. Tipe termometer udara yang digunakan adalah UT333 yang memiliki tingkat akurasi sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$, resolusi sebesar $0,1^{\circ}\text{C}$, dan rentang pengukuran mulai dari -10°C sampai 60°C .

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 adalah sebagai berikut:

- a. Sensor DHT22 (1 buah)
- b. Arduino UNO (1 buah)
- c. Laptop (1 buah)
- d. Kabel *jumper*
- e. Termometer udara UT333 (1 buah)
- f. *Hairdryer* (1 buah)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian pembacaan suhu udara sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 dengan nilai pembacaan suhu pada termometer udara. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan keluaran sensor ke pin digital D3 Arduino dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri catu daya 5V.
- b. Upload program ke Arduino dan buka *serial monitor*.
- c. Catat nilai suhu udara yang terbaca oleh sensor pada *serial monitor* sebagai suhu udara awal. Sebagai pembanding, catat juga nilai suhu udara yang terbaca pada termometer udara.
- d. Naikkan suhu udara dengan menggunakan *hairdryer*, lalu catat nilai suhu udara yang terbaca oleh sensor pada *serial monitor* dan termometer.
- e. Ulangi langkah keempat sampai suhu yang terbaca pada termometer udara sebesar 40,4°C.

3. Hasil dan Pembahasan

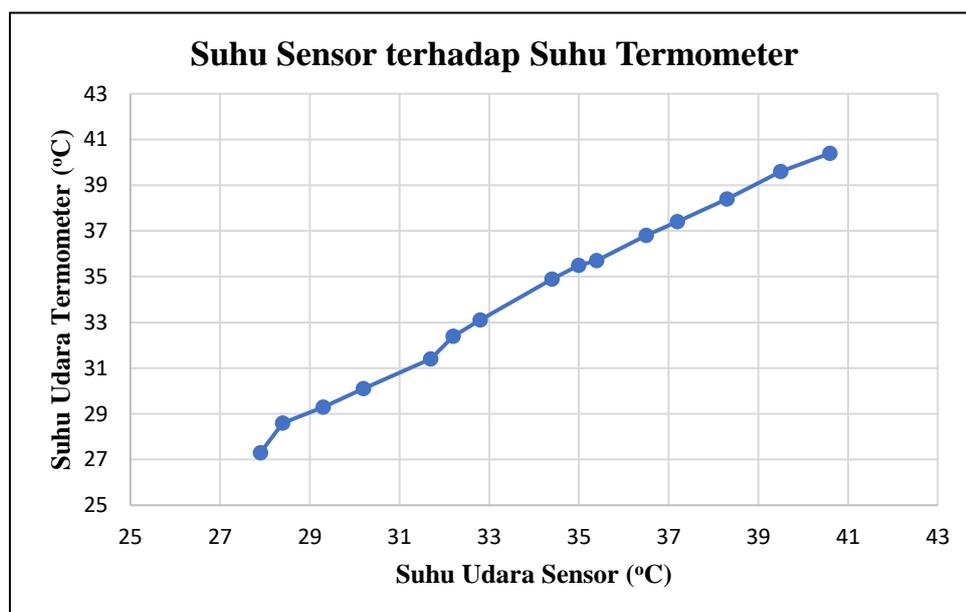
Hasil pengujian dari pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan suhu oleh termometer udara ditunjukkan dalam Tabel 4.13.

Tabel 4.13 Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Udara oleh Sensor DHT22

No.	Suhu Termometer (°C)	Suhu Sensor (°C)	Perbedaan Pembacaan (%)
1	27,3	27,9	2,20

2	28,6	28,4	0,70
3	29,3	29,3	0,00
4	30,1	30,2	0,33
5	31,4	31,7	0,96
6	32,4	32,2	0,62
7	33,1	32,8	0,91
8	34,9	34,2	2,00
9	35,5	34,8	1,97
10	35,7	35,4	0,84
11	36,8	36,5	0,82
12	37,4	37,0	1,07
13	38,4	38,3	0,26
14	39,6	39,6	0,00
15	40,4	40,6	0,50
Rata-Rata Perbedaan Pembacaan			0,88

Adapun grafik hasil pengujian pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 yang dibandingkan dengan hasil pembacaan suhu oleh termometer udara berdasarkan Tabel 4.13 dapat dilihat dalam Gambar 4.8.



Gambar 4.8 Grafik Pembacaan Suhu Udara oleh Sensor DHT22

Dari Tabel 4.13 dan Gambar 4.8 diperoleh rata-rata persentase perbedaan pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 yang dibandingkan dengan pembacaan suhu oleh termometer udara adalah sebesar 0,88%. Persentase perbedaan pembacaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor DHT22 dan termometer udara UT333 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan termometer udara UT333 yaitu $\leq \pm 0,5^\circ\text{C}$, sedangkan termometer udara UT333 memiliki akurasi sebesar $\pm 1^\circ\text{C}$.

4.6. Pengujian *Limit Switch*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai tegangan pada pin *Central (C)* ketika *limit switch* ditekan atau dilepas. *Limit switch* ini digunakan sebagai sensor ketinggian air yang diletakkan setinggi 2 cm di atas permukaan *gully* tanaman hidroponik. Ketika ketinggian air sudah mencapai maksimum yaitu mencapai 2 cm, maka katup *limit switch* akan tertekan, dan sebaliknya.

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji nilai tegangan pada pin *Central (C) limit switch* adalah sebagai berikut:

- a. *Limit Switch* (1 buah)
- b. Kabel *jumper*
- c. Voltmeter (1 buah)
- d. Catu daya 5 volt

2. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan mengukur tegangan pada pin *Central (C) limit switch*. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- a. Hubungkan pin *Central limit switch* ke voltmeter, pin *Normally Close limit switch* ke GND, dan pin *Normally Open limit switch* ke catu daya 5 volt dengan menggunakan kabel *jumper*.
- b. Tekan *limit switch*. Kemudian, catat nilai tegangan yang terbaca pada voltmeter.
- c. Ulangi langkah kedua untuk kondisi *limit switch* dilepas.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian nilai tegangan pada pin *Central (C) limit switch* ditunjukkan dalam Tabel 4.14.

Tabel 4.14 Hasil Pengujian *Limit Switch*

<i>Limit Switch</i>	Kondisi	Tegangan (V)
Ditekan	<i>HIGH</i>	4,98
Dilepas	<i>LOW</i>	0

Dari Tabel 4.14 dapat dilihat bahwa ketika *limit switch* ditekan, maka nilai tegangan yang terukur oleh voltmeter adalah 4,98 volt. Sedangkan, ketika *limit switch* dilepas, nilai tegangannya adalah 0 volt. Hal ini dikarenakan, pin *Normally Open* (NO) *limit switch* terhubung dengan catu daya 5 volt dan pin *Normally Close* (NC) *limit switch* terhubung dengan GND. Ketika *limit switch* ditekan, pin *Normally Open* (NO) akan terhubung dengan pin *Central* (C), sehingga tegangan yang terukur pada pin *Central* adalah tegangan catu daya yaitu sebesar 4,98 volt. Sedangkan, ketika *limit switch* dilepas, pin *Normally Close* (NC) akan terhubung dengan pin *Central* (C), sehingga tegangan yang terukur pada pin *Central* adalah tegangan GND yaitu sebesar 0 volt. Oleh karena itu, keluaran dari pin *Central* dihubungkan ke pin digital ATmega328 sebagai masukan dan akan didapatkan dua kondisi, yaitu logika *HIGH* ketika *limit switch* tertekan atau ketinggian air sudah mencapai maksimum yaitu setinggi 2 cm dan logika *LOW* ketika *limit switch* terlepas atau ketinggian air belum mencapai maksimum.

4.7. Pengujian Rangkaian Transistor

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh pemberian nilai tegangan pada pin *base* transistor oleh pin digital ATmega328 terhadap aktif atau tidaknya aktuatur yang berupa pompa air, *solenoid valve*, dan *grow light* LED.

1. Alat yang Digunakan

Alat yang digunakan untuk menguji rangkaian transistor terhadap aktif atau tidaknya aktuatur adalah sebagai berikut:

- Rangkaian Transistor BC547 dan Relay 5 volt (1 buah)
- Rangkaian *board* utama yang telah terpasang ATmega328 (1 buah)
- Laptop (1 buah)
- Kabel *jumper*
- Voltmeter dan Amperemeter (1 buah)

2. Prosedur Pengujian

Pengujian dilakukan dengan memberikan nilai tegangan berlogika *HIGH* atau *LOW* secara bergantian oleh pin digital ATmega328 ke pin *base* transistor BC547.

Setelah itu, dilakukan pengukuran tegangan antara pin *base* dengan *emitter* (V_{BE}), tegangan antara pin *collector* dengan *emitter* (V_{CE}), arus yang mengalir melalui pin *base* (I_B), dan arus yang mengalir melalui pin *collector* (I_C) dengan tetap memperhatikan keadaan aktuator aktif atau tidak. Langkah-langkah pengujiannya adalah sebagai berikut:

- Hubungkan pin *base* transistor ke pin digital D4, D5, D6, D7, atau D8 ATmega328 (pilih salah satu) dengan menggunakan kabel *jumper* dan beri tegangan 5 volt sebagai catu daya relay.
- Upload program sederhana ke ATmega328 yang berisi pemberian kondisi pin digital *HIGH* atau *LOW* secara bergantian.
- Ketika pin digital ATmega328 dalam kondisi *HIGH*, hubungkan voltmeter ke antara pin *base* dan pin *emitter* transistor dan catat nilai tegangannya. Lalu, hubungkan voltmeter ke antara pin *collector* dan pin *emitter* dan catat kembali nilai tegangannya.
- Setelah itu, hubungkan amperemeter pada pin *base* secara seri dan catat nilai arusnya. Lalu, hubungkan amperemeter ke pin *collector* secara seri dan catat kembali nilai arus yang terbaca pada amperemeter.
- Ulangi langkah ketiga dan keempat ketika pin digital ATmega328 dalam kondisi *LOW*.

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dari pemberian nilai tegangan ke pin *base* rangkaian transistor terhadap aktif atau tidaknya aktuator ditunjukkan dalam Tabel 4.15.

Tabel 4.15 Hasil Pengujian Rangkaian Transistor dan Relay

Kondisi Pin ATmega328	V_{BE} (V)	V_{CE} (V)	I_B (mA)	I_C (mA)	Kondisi Kerja	Keadaan Switch Transistor	Keadaan Aktuator
<i>HIGH</i>	0,832	0,092	7,17	65,31	Saturasi	<i>On</i>	Aktif
<i>LOW</i>	0,009	4,980	0	0	<i>Cut off</i>	<i>Off</i>	Mati

Dari Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa ketika pin data dalam kondisi *HIGH*, maka akan mengalir arus ke pin *base* transistor yang menyebabkan transistor tersebut dalam kondisi saturasi. Kondisi ini artinya transistor bekerja seperti saklar tertutup, yaitu pin *collector* akan terhubung dengan *emitter*, sehingga arus dari *collector* akan mengalir ke *emitter* dan mengaktifkan relay. Relay yang aktif ini akan mengakibatkan aktuator ikut bekerja/aktif, karena terminal *Common* relay terhubung dengan pin *Normally Open*, sehingga catu daya aktuator dapat terhubung. Dalam kondisi saturasi, tegangan yang terukur antara pin *base* dan *emitter* (V_{BE}) adalah sebesar 0,832 volt, tegangan antara pin *collector* dan *emitter* (V_{CE}) sebesar 0,092 volt, arus yang mengalir ke pin *base* (I_B) sebesar 7,17 mA, dan arus yang mengalir melalui pin *collector* (I_C) adalah sebesar 65,31 mA.

Berbeda dengan saturasi, kondisi *cut off* merupakan kondisi kerja transistor yang terjadi ketika pin data dalam kondisi *LOW*. Kondisi ini terjadi karena tidak ada arus yang mengalir ke pin *base* transistor, sehingga transistor bekerja seperti saklar terbuka, artinya arus tidak akan mengalir dari *collector* ke *emitter* dan relay tidak akan aktif. Jika relay tidak aktif, maka pin *Common* relay tidak terhubung dengan pin *Normally Open*, sehingga catu daya aktuator juga tidak terhubung dan mengakibatkan aktuator tersebut mati. Dalam kondisi *cut off*, tegangan yang terukur antara pin *base* dan *emitter* (V_{BE}) adalah sebesar 0,009 volt, tegangan antara pin *collector* dan *emitter* (V_{CE}) sebesar 4,980 volt, arus yang mengalir ke pin *base* (I_B) sebesar 0 mA, dan arus yang mengalir melalui pin *collector* (I_C) sebesar 0 mA.

4.8. Ringkasan Pengujian yang Dilakukan

Dalam sub-bab ini berisi pemaparan terkait pengujian-pengujian yang telah dilakukan serta pembahasan hasil pengujiannya secara ringkas. Pengujian-pengujian yang dimaksud meliputi pengujian penguat tegangan sensor pH, pengujian karakteristik sensor (pH, TDS, dan ORP), pengujian pembacaan sensor (pH, TDS, suhu air, dan suhu udara), pengujian sensor ketinggian air (*limit switch*), dan pengujian rangkaian transistor (*driver* aktuator). Ringkasan dari pengujian-pengujian yang telah dilakukan serta pembahasan hasil pengujiannya dapat dilihat dalam Tabel 4.16.

Tabel 4.16 Ringkasan Pengujian yang Dilakukan

Pengujian	Parameter	Pembahasan Hasil Pengujian
Rangkaian Penguat Tegangan	pH	Rangkaian penguat ini memiliki nilai <i>error</i> rata-rata hasil pengujian terhadap perhitungan teori sebesar 2,55%. Kesalahan (<i>error</i>) ini dapat terjadi karena adanya sifat tidak ideal nilai resistor yang digunakan pada rangkaian penguat.
Karakteristik Sensor	pH	Sensor dapat merespons perubahan nilai pH di dalam cairan, yaitu semakin tinggi nilai pH cairan atau bersifat basa, maka tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 juga semakin besar. Persamaan regresi sensor pH yang menyatakan hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor terhadap nilai pH yaitu $y = 0,0482 + 2,8603x$, dimana y adalah nilai pH dengan rentang 0 sampai 14 dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328.
	TDS (ppm)	Sensor dapat merespons perubahan nilai TDS di dalam cairan yang memiliki suhu sebesar 26,3°C, dimana semakin tinggi nilai TDS dalam cairan, maka tegangan keluaran sensor tersebut juga akan semakin meningkat walaupun tidak linear. Persamaan regresi sensor TDS yang menyatakan hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor terhadap nilai TDS pada suhu cairan 26,3°C yaitu $y = 186,94 - 3,3898x + 169,01x^2$, dimana y adalah nilai TDS dalam cairan dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor.
	ORP (mV)	Sensor dapat merespons perubahan nilai ORP di dalam cairan, yaitu semakin tinggi nilai ORP cairan, maka tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328 akan semakin rendah atau berbanding terbalik. Persamaan regresi sensor ORP yang menyatakan

		<p>hubungan antara nilai tegangan keluaran sensor terhadap nilai ORP yaitu $y = 2,0077 - 1,0039x$, dimana y adalah nilai ORP dan x adalah nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh ATmega328.</p>
<p>Pembacaan Sensor terhadap Alat Ukur Pemanding</p>	<p>pH</p>	<p>Rata-Rata persentase perbedaan pembacaan nilai pH oleh sensor yang dibandingkan dengan pembacaan nilai pH oleh pH meter adalah sebesar 18,30%. Persentase perbedaan pembacaan yang paling besar terjadi ketika pH meter mengukur nilai pH sebesar 0.20, sedangkan rata-rata pengukuran sensor adalah 0.47, dimana hal ini menghasilkan persentase perbedaan pembacaan sebesar 135%. Selain itu, terdapat ketidaksesuaian nilai tegangan keluaran sensor yang terukur oleh voltmeter pada saat pengujian karakteristik dengan nilai tegangan keluaran sensor yang terbaca oleh mikrokontroler, sehingga mempengaruhi konversi nilai tegangan menjadi nilai pH hasil pembacaan sensor oleh mikrokontroler.</p>
	<p>TDS (ppm)</p>	<p>Rata-Rata persentase perbedaan pembacaan total padatan terlarut oleh sensor yang dibandingkan dengan pembacaan TDS meter adalah sebesar 17,596%. Persentase perbedaan pembacaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor SEN0244 dan TDS meter TDS-3 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor SEN0244 memiliki tingkat akurasi yang kurang baik dibandingkan TDS-3 yaitu sebesar $\pm 10\%$ FS (25°C), sedangkan TDS-3 memiliki akurasi sebesar $\pm 2\%$ FS. Selain itu, dari rentang pengukurannya, TDS-3 dapat mengukur total padatan terlarut mulai dari 0 ppm sampai 9999 ppm, sedangkan sensor SEN0244 hanya dapat mengukur total padatan terlarut mulai dari 0 ppm sampai 1000 ppm.</p>

		<p>Namun, berdasarkan data hasil pengujian, sensor SEN0244 dapat mengukur total padatan terlarut hingga 1066 ppm dengan perbedaan pembacaan dengan TDS-3 sebesar <100 ppm, sedangkan persentase perbedaan pembacaan total padatan terlarut diatas 1066 ppm antara sensor SEN0244 dengan TDS-3 semakin membesar.</p>
	<p>Suhu Air (°C)</p>	<p>Rata-Rata persentase perbedaan pembacaan suhu air oleh sensor DS18B20 yang dibandingkan dengan pembacaan suhu oleh termometer air adalah sebesar 0,47%. Persentase perbedaan pembacaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor DS18B20 dan termometer air TP101 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor DS18B20 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan termometer air TP101 yaitu sebesar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan termometer air TP101 memiliki akurasi sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$.</p>
	<p>Suhu Udara (°C)</p>	<p>Rata-Rata persentase perbedaan pembacaan suhu udara oleh sensor DHT22 yang dibandingkan dengan pembacaan suhu oleh termometer udara adalah sebesar 0,88%. Persentase perbedaan pembacaan ini dapat terjadi karena adanya perbedaan spesifikasi dari sensor DHT22 dan termometer udara UT333 yang digunakan. Dilihat dari segi akurasi, sensor DHT22 memiliki tingkat akurasi yang lebih baik dibandingkan termometer udara UT333 yaitu $\leq \pm 0,5^{\circ}\text{C}$, sedangkan termometer udara UT333 memiliki akurasi sebesar $\pm 1^{\circ}\text{C}$.</p>
<p>Limit Switch</p>	<p>Ketinggian Air (cm)</p>	<p>Keluaran dari pin <i>Central Limit Switch</i> dihubungkan ke pin digital ATmega328 sebagai masukan dan akan didapatkan dua kondisi, yaitu logika <i>HIGH</i> ketika <i>limit switch</i> tertekan atau ketinggian air sudah mencapai</p>

		maksimum setinggi 2 cm dan logika <i>LOW</i> ketika <i>limit switch</i> terlepas atau ketinggian air belum mencapai maksimum.
Rangkaian Transistor dan Relay	<i>Driver</i> Aktuator	Ketika kondisi pin data yang diberikan mikrokontroler dalam kondisi <i>HIGH</i> , maka akan mengalir arus ke pin <i>base</i> transistor yang menyebabkan transistor tersebut dalam kondisi saturasi. Kondisi ini akan mengaktifkan relay, dan mengakibatkan aktuator ikut bekerja/aktif. Berbeda dengan saturasi, kondisi <i>cut off</i> merupakan kondisi kerja transistor yang terjadi ketika pin data dalam kondisi <i>LOW</i> . Kondisi ini tidak dapat mengaktifkan relay, sehingga aktuator akan mati/ <i>off</i> .

Berdasarkan pemaparan terkait pengujian-pengujian yang telah dilakukan seperti dalam Tabel 4.16 dan spesifikasi sensor-sensor yang digunakan sesuai *datasheet*, maka dapat dibandingkan performa atau kemampuan alat yang telah dibuat dengan spesifikasi alat yang diharapkan seperti penjelasan dalam sub-bab 3.2. Perbandingan performa dari alat yang telah dibuat terhadap spesifikasi alat yang diharapkan dapat dilihat dalam Tabel 4.17.

Tabel 4.17 Perbandingan Performa Alat terhadap Spesifikasi yang Diharapkan

Parameter	Satuan	Spesifikasi Alat yang Diharapkan	Kemampuan Alat
pH		Dapat mengukur nilai pH cairan nutrisi hidroponik dengan <i>range</i> 5,5 sampai 7,0.	Sensor pH yang dirancang mampu mengukur nilai pH dengan <i>range</i> 0 sampai 14, sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
TDS	ppm	Dapat mengukur nilai total padatan terlarut cairan nutrisi hidroponik	Sensor TDS SEN0244 yang telah dilakukan pengujian pembacaan sensor mampu mengukur nilai TDS dengan

		dengan <i>range</i> 500 ppm sampai 1050 ppm.	<i>range</i> 0 ppm sampai 1066 ppm, sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
ORP	mV	Dapat mengukur nilai potensial redoks cairan nutrisi hidoponik dengan <i>range</i> 250 mV sampai 400 mV.	Sensor ORP SEN0165 berdasarkan spesifikasinya dalam <i>datasheet</i> mampu mengukur nilai ORP dengan <i>range</i> -2000 mV sampai 2000 mV, sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
Suhu Air	°C	Dapat mengukur nilai suhu air dengan <i>range</i> 18°C sampai 27°C.	Sensor suhu DS18B20 berdasarkan spesifikasinya dalam <i>datasheet</i> mampu mengukur suhu air dengan <i>range</i> -55°C sampai 125°C, sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
Ketinggian Air	cm	Membatasi ketinggian air maksimum setinggi 2 cm.	Sensor ketinggian air dengan menggunakan <i>limit switch</i> dapat membatasi ketinggian air pada <i>gully</i> tanaman maksimal 2 cm, sehingga dapat memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
Suhu Udara	°C	Dapat mengukur nilai suhu udara dengan <i>range</i> 19°C sampai 21°C.	Sensor suhu udara DHT22 berdasarkan spesifikasinya dalam <i>datasheet</i> mampu mengukur suhu udara dengan <i>range</i> -40°C sampai 80°C,

		sehingga memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.
<i>Driver</i> Aktuator	Dapat menyalakan maupun mematikan aktuator berdasarkan logika tegangan (<i>HIGH</i> atau <i>LOW</i>) yang diberikan ATmega328.	Rangkaian transistor dan relay yang telah dibuat dapat menyalakan aktuator ketika diberikan logika <i>HIGH</i> oleh ATmega328 dan dapat mematikan aktuator ketika diberikan logika <i>LOW</i> oleh ATmega328, sehingga memenuhi spesifikasi alat yang diharapkan.

Berdasarkan perbandingan performa dari alat yang telah dibuat terhadap spesifikasi alat yang diharapkan seperti dalam Tabel 4.17, dapat dilihat kemampuan dari alat yang dibagi menjadi beberapa parameter selalu memenuhi spesifikasi dari alat yang telah ditentukan diawal perancangan, sehingga dapat disimpulkan bahwa alat ini memiliki kemampuan yang sesuai dengan spesifikasi alat yang diinginkan seperti yang dijelaskan dalam sub-bab 3.2.



BAB V PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan dalam penelitian ini, maka dapat disimpulkan:

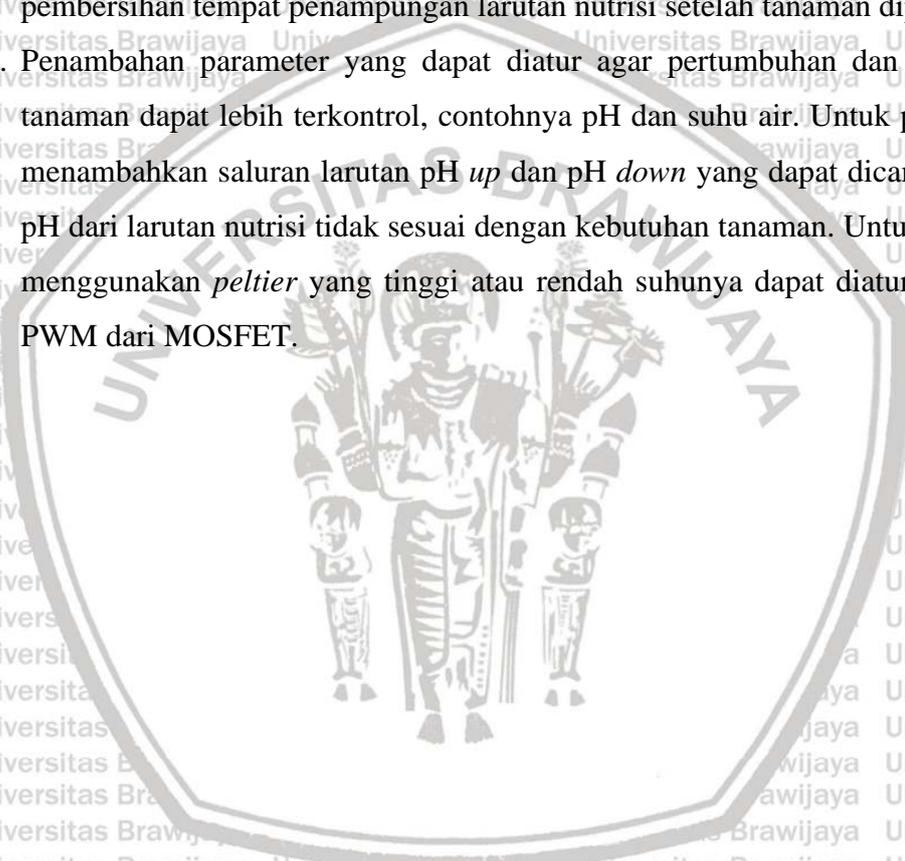
1. Rancang bangun perangkat keras alat untuk memberikan pencahayaan ke tanaman telah sesuai dengan spesifikasi alat yang diharapkan, yaitu dengan menggunakan *grow light* yang nyala atau matinya diatur oleh rangkaian *driver* berdasarkan RTC sebagai parameter waktu yang terhubung ke ATmega328. Rangkaian *driver* ini terdiri dari rangkaian transistor BC547 dan relay 5 volt, dimana terminal *base* transistor BC547 dihubungkan ke pin digital D10 ATmega328. Ketika ATmega328 memberikan logika *HIGH* berdasarkan parameter waktu RTC ke *base* transistor, maka transistor dalam kondisi saturasi dan terminal *collector* transistor akan terhubung dengan terminal *emitter*. Kondisi saturasi transistor ini akan menyebabkan relay aktif dan akan menyalakan *grow light*. Hal ini berlaku sebaliknya ketika ATmega328 memberikan logika *LOW*, dimana *grow light* akan mati.
2. Rancang bangun perangkat keras alat untuk memberikan nutrisi ke tanaman telah sesuai dengan spesifikasi alat yang diharapkan, yaitu didasari oleh hasil *monitoring* sensor dan RTC sebagai parameter waktu. Sensor-sensor yang digunakan adalah sensor pH, TDS, ORP, suhu air, ketinggian air, dan suhu udara. Namun, pada alat ini hanya parameter TDS dan ketinggian air saja yang dilakukan tindakan pengontrolan selain dilakukan *monitoring*, yaitu dengan menyalakan atau mematikan pompa air dan *solenoid valve* menggunakan rangkaian *driver* yang terhubung ke pin digital ATmega328 untuk mengatur kadar padatan terlarut larutan nutrisi dan ketinggian air.

Karena pada alat ini peran dari sensor sangat penting, maka diperlukan pengujian karakteristik maupun pembacaan sensor, dimana pengujian-pengujian tersebut akan menghasilkan persamaan matematis yang dapat digunakan untuk mengetahui perbedaan pembacaan sensor yang dibandingkan dengan alat ukur pembanding.

5.2. Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Penambahan *solenoid valve* atau pompa air celup untuk mengalirkan air dari kran ke tempat penampungan larutan nutrisi tanaman dan untuk mengalirkan air dari tempat penampungan larutan nutrisi tanaman ke saluran pembuangan air. Hal ini sangat penting ketika kondisi larutan nutrisi sudah tidak layak untuk tanaman, sehingga harus dibuang dan diganti dengan larutan nutrisi yang baru. Selain itu, dengan penambahan *solenoid valve* atau pompa air celup pada saluran masukan maupun keluaran ini juga ditujukan untuk menghemat waktu dan mempermudah proses pembersihan tempat penampungan larutan nutrisi setelah tanaman dipanen.
2. Penambahan parameter yang dapat diatur agar pertumbuhan dan perkembangan tanaman dapat lebih terkontrol, contohnya pH dan suhu air. Untuk pH bisa dengan menambahkan saluran larutan pH *up* dan pH *down* yang dapat dicampurkan ketika pH dari larutan nutrisi tidak sesuai dengan kebutuhan tanaman. Untuk suhu air, bisa menggunakan *peltier* yang tinggi atau rendah suhunya dapat diatur menggunakan PWM dari MOSFET.



DAFTAR PUSTAKA

- Adhitya, S. W., Bayu, S. A., Nurjanah, S., & Syakur, A. (2013). Peningkatan Kualitas Air Pantai menjadi Air Bersih dengan Penerapan Teknologi Plasma Non-Thermal dan Multi-Step Filter. *Dipa Ipteks*, 1, (1), 4-5.
- Amrullah, N. A. (2017). *Alat Kontrol Suhu dan Kelembapan Otomatis pada Ruang Budidaya Jamur Tiram Berbasis ATmega328*. Surabaya: Universitas 17 Agustus 1945.
- Aosong Electronics Co., Ltd. (n.d.). *Digital-Output Relative Humidity & Temperature Sensor/Module DHT22 (DHT22 also named as AM2302)*. Retrieved from sparkfun: <https://www.sparkfun.com/>
- Ardiansyah, N. (2015). *Rancang Bangun pH Meter Air di Utilities Refinery Unit IV Cilacap PT Pertamina (Persero) Berbasis Arduino Uno R3*. Purwokerto: Universitas Muhammadiyah Purwokerto.
- Asyiah, S. (2013). *Kajian Penggunaan Macam Air dan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Baby Kailan (brassica oleraceae var.alboglabra)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Asyiah, S. (2013). *Kajian Penggunaan Macam Air dan Nutrisi pada Hidroponik Sistem DFT (Deep Flow Technique) terhadap Pertumbuhan dan Hasil Baby Kailan (Brassica Oleraceae Var.Alboglabra)*. Surakarta: Universitas Sebelas Maret.
- Barta, D., Tibbits, T., Bula, R., & Morrow, R. (1992). Evaluation of Light Emitting Diode Characteristics for A Space-Based Plant Irradiationsource. *Adv Space Res Vol. 12 No. 5*, 141-149.
- Bruno, J. T., & Paris, D. N. (2005). *CRC Handbook of Fundamental Spectroscopic Correlation Charts*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Cahyono, B. (2003). *Cabai Paprika Teknik Budi Daya dan Analisis Usaha Tani*. Yogyakarta: Kanisius.
- Cahyono, B. (2003). *Teknik dan Strategi Budidaya Sawi Hijau*. Yogyakarta: Yayasan Pustaka Nusantara.
- Darmawan, H. T. (2019). *Rancang Bangun Otomatis Menghidupkan dan Mematikan Saklar Listrik Sesuai dengan Waktu yang Sudah Ditentukan Menggunakan Arduino*. Semarang: Universitas Semarang.
- Dea, G. D., Sugeng, T., & Nugroho, H. (2016). Pengaruh Penggunaan Beberapa Warna Lampu Neon terhadap Pertumbuhan Tanaman Kailan (Brassica Oleraceae) pada Sistem Hidroponik Indoor. *Jurnal Teknik Pertanian Lampung Vol. 5 No. 1*, 13-24.
- DFRobot. (n.d.). *Analog ORP Meter SKU SEN0165*. Retrieved from dfrobot: <https://wiki.dfrobot.com>
- DFRobot. (n.d.). *Gravity Analog TDS Sensor Meter for Arduino SKU SEN0244*. Retrieved from dfrobot: <https://wiki.dfrobot.com>

DFRobot. (n.d.). *pH Meter SKU SEN0161*. Retrieved from dfrobot: <https://wiki.dfrobot.com/>

Djamil, F., & Asriani. (2020). *Rancang Bangun Monitoring dan Kontrol pada Sistem Hidroponik*. Makassar: Universitas Muhammadiyah Makassar.

Endah, J. (2001). *Membuat Tabulampot Rajin Berbuah*. Depok: AgroMedia Pustaka.

Fauzi, R. (2012). *Alat Penambal Ban Elektrik Otomatis Berbasis ATmega8535*. Bandung: Politeknik Negeri Bandung.

Firnanda, D. R. (2017). *Pengaruh Lama Penyinaran Kombinasi Lampu LED dan Lampu Neon terhadap Pertumbuhan Tanaman Selada (*Lactuca Sativa L*) dengan Variasi Jarak pada Sistem Hidroponik Rakit Apung*. Malang: Universitas Brawijaya.

Hanna Instruments. (n.d.). *Hydroponics ORP*. Retrieved from Hanna Instruments: <https://hannainst.com.au/hydroponics-orp>

Haryadi, Rudi, Saputra, D., Wijayanti, F., Aulia Yusofa, D., Nurliana Ferlis, N., & Tri Priane, W. (2017). Pengaruh Cahaya Lampu 15 Watt Terhadap Pertumbuhan Tanaman Pandan (*Pandanus Amaryllifolius*). *Gravity*, 100-109.

Ihza, M. F. (2018). *Timbangan Digital Berbasis Mikrokontroler ATmega328*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Indariani, S. (2003). *Hidup Sehat dengan Produk Hortikultura Nusantara*. Jakarta: Ditjen Bina Pengolahan dan Pemasaran Hasil Pertanian, DEPTAN.

Istiqomah, S. (2007). *Menanam Hidroponik*. Jakarta: Azka Press.

Juju. (2012). *Parameter Fisika, Kimia, Biologi Penentu Kualitas Air*. Bandung: Jujubandung.

Kencana, I., & Lestari. (2008). *Galeri Tanaman Hias Lanskap*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Lim, A. B. (2020). *Sistem Kendali Hidroponik Dalam Ruangan Berbasis Raspberry Pi*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma Yogyakarta.

Lingga, P. (1984). *Hidroponik Bercocok Tanam Tanpa Tanah*. Jakarta: Penebar Swadaya.

Martani, M., & Endarko. (2014). Perancangan dan Pembuatan Sensor TDS pada Proses Pengendapan CaCO₃ dalam Air dengan Metode Pelucutan Elektron dan Medan Magnet. *Berkala Fisika, Vol. 17, No. 3*, 99-108.

maxim integrated. (2015). *DS3231, Extremely Accurate I2C-Integrated RTC/TCXO/Crystal*. Retrieved from maxim integrated: <https://datasheets.maximintegrated.com/>

maxim integrated. (2019). *DS18B20, Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer*. Retrieved from maxim integrated: <https://datasheets.maximintegrated.com/>

Orsini, F., Michelon, N., & Gianquinto, G. P. (2012). *Simplified Soilless Systems for Urban Vegetable Production*. Bologna: Hortis – Horticulture in towns for inclusion and socialisation (n. 526476-LLP-1-2012-1-IT-GRUNDTVIG-GMP).

- Pakpahan, F. (2018). *Termometer Digital menggunakan Sensor DS18B20 Berbasis ATmega328P*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Parks, S., & Murray, C. (2011). *Leafy Asian Vegetables and Their Nutrition in Hydroponics*. New South Wales: Industry & Investment NSW.
- Pratiwi, R. (2009). *Penentuan Sumber Panas dengan Metode Tomografi menggunakan Sensor Termometer Digital DS18B20*. Depok: Universitas Indonesia.
- Purbajanti, E. D., Slamet, W., & Kusmiyati, F. (2017). *Hydroponic Bertanam Tanpa Tanah*. Semarang: EF Press Digimedia.
- Raihan, M. N. (2017). *Pertumbuhan dan Perkembangan Tanaman Pakcoy (Brassica chinensis L.) pada Berbagai Konsentrasi Pupuk AB mix dan Pupuk Organik Cair (POC) dengan Teknik Hidroponik*. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic Food Production, A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*. Boca Raton: CRC Press.
- Roidah, I. S. (2014). Pemanfaatan Lahan dengan Menggunakan Sistem Hidroponik. *Jurnal Universitas Tulungagung Bonorowo Vol. 1, No. 2*.
- Rukmana, R. (1994). *Bertanam Petsai dan Sawi*. Yogyakarta: Kanisium.
- Saleh, M., & Haryanti, M. (2017). Rancang Bangun Sistem Keamanan Rumah Menggunakan Relay. *Jurnal Teknologi Elektro, Universitas Mercu Buana Vol. 8 No. 2*, 87-94.
- Sanjaya, H. (2007). *Filter Pelewat Rendah Terkendali Digital*. Yogyakarta: Universitas Sanata Dharma.
- Sihombing, E. N. (2011). *Keanekaragaman dan Distribusi Ikan serta Hubungannya dengan Kualitas Air Danau Siats kabupaten Tapanuli Selatan*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Siswadi, & Teguh, Y. (2013). Uji Hasil Tanaman Sawi pada Berbagai Media Tanam secara Hidroponik. *Jurnal Innofarm Vol. II, No. 1*, 44-50.
- Sudarto, Retnowaty, S. F., Fitri, Y., & Suroso, A. (2015). Uji pH dan Fisis Air Minum Isi Ulang di Kecamatan Tapung Kabupaten Kampar. *Jurnal Photon Vol. 5 No. 2*, 63-70.
- Sumber Makmur. (2016, April 3). *Tabel Pemberian Nutrisi Hidroponik Sederhana - Hydro Power*. Retrieved from UD. Sumber Makmur: <https://www.sumbermakmur.net/2016/04/tabel-pemberian-nutrisi-hidroponik.html>
- Suprayitno, E. A., Dijaya, R., & Atho'illah, M. (2018). Otomasi Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique) Berbasis Arduino Android dengan Memanfaatkan Panel Surya sebagai Energi Alternatif. *ELINVO (Electronics, Informatics, and Vocational Education)*, 1-8.
- Swastika, S., Yulfida, A., & Sumitro, Y. (2018). *Budidaya Sayuran Hidroponik (Bertanam Tanpa Media Tanah)*. Pekanbaru: Balai Pengkajian Teknologi Pertanian.

- Tando, E. (2019). Review: Pemanfaatan Teknologi Greenhouse dan Hidroponik sebagai Solusi Menghadapi Perubahan Iklim dalam Budidaya Tanaman Hortikultura. *Buana Sains Vol. 19 No. 1*, 91-102.
- Trejo-Tellez, L. I., & Gomez-Merino, F. C. (2012). Nutrient Solutions for Hydroponic Systems. In D. T. Asao, *Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches*. Texcoco: InTech.
- Wibowo, A. (2017). *Rancang Bangun Aktuator Solenoid Valve pada Pengendalian Pressure Reaktor OAW (Oxygen Acetylene Welding) di Bengkel Las Diral Menur Surabaya*. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Yana, Y. (2016). *Rancang Bangun Solar Tracker Berdasarkan Waktu Menggunakan RTC DS3231*. Palembang: Politeknik Negeri Sriwijaya.
- Yeh, N., & Chung, J.-P. (2009). High-Brightness LEDs-Energy Efficient Lighting Sources and Their Potential in Indoor Plant Cultivation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews 13*, 2175-2180.
- Yusuf, M. (2019). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembapan dan Suhu pada Budi Daya Lombok dengan Pemberian Pupuk Tanaman secara Otomatis Menggunakan Raspberry Pi*. Semarang: Universitas Semarang.



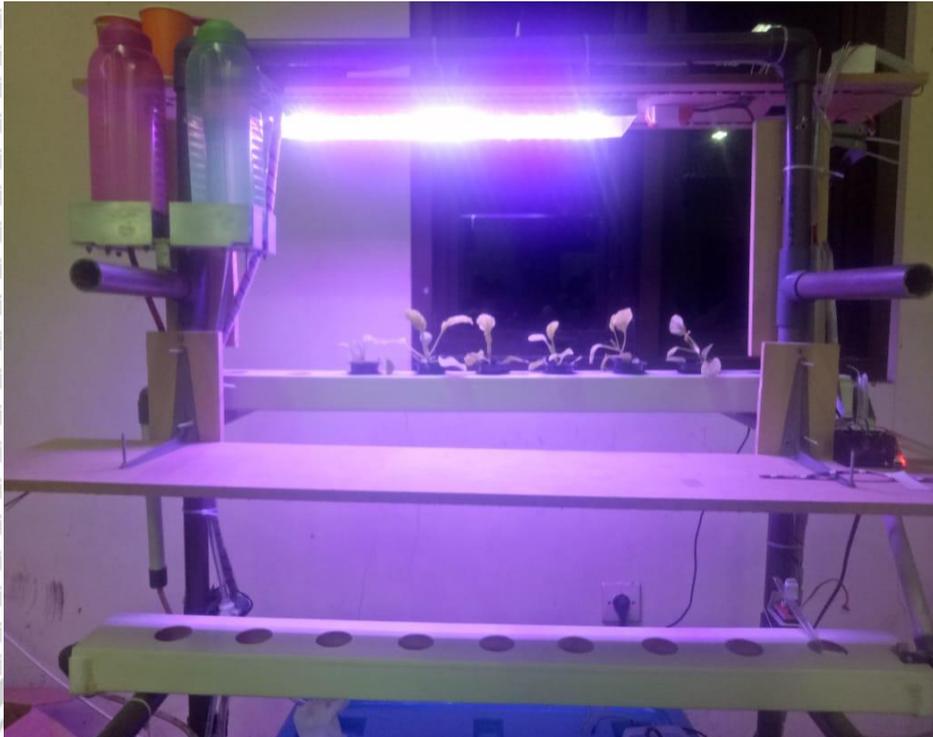


LAMPIRAN 1

DOKUMENTASI ALAT



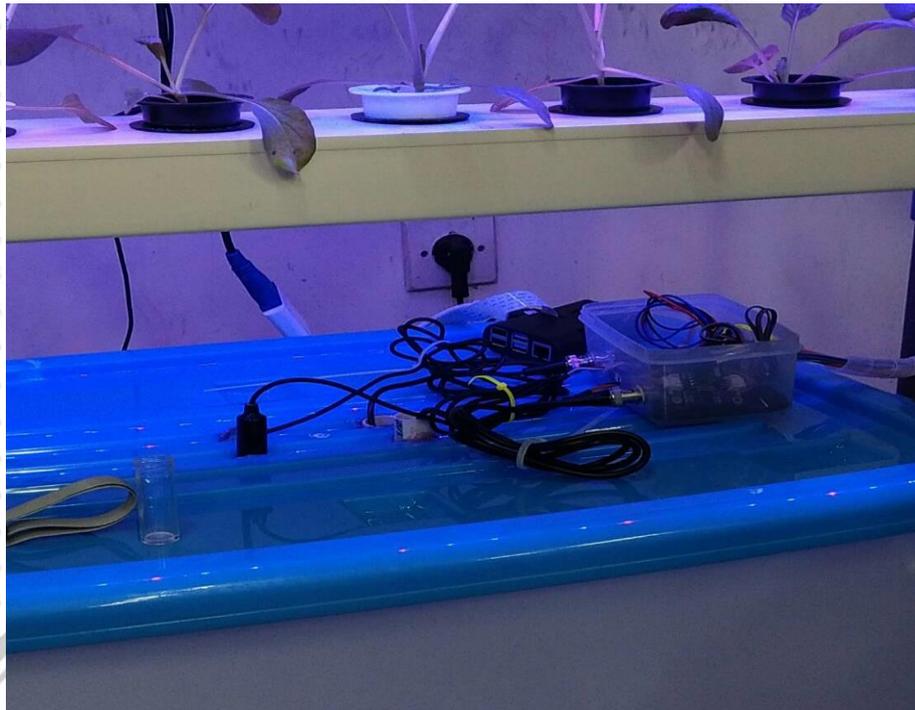
- Implementasi Alat pada Rak Tanaman Hidroponik



- Tampilan Fisik *Board* Utama



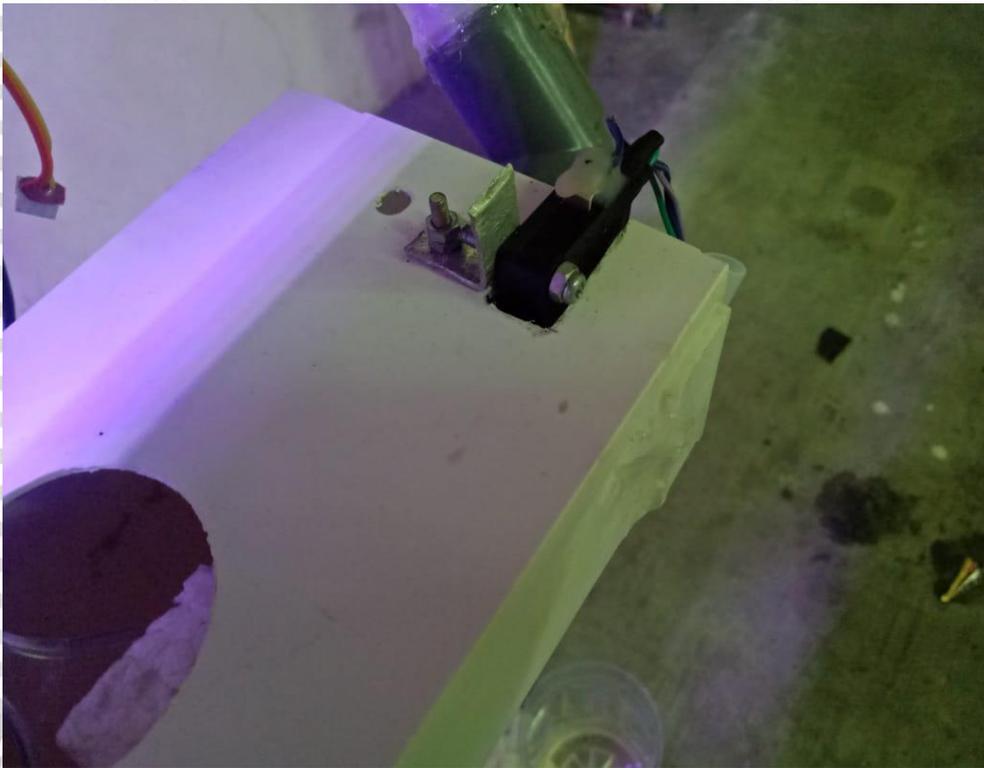
- Peletakan Sensor pH, TDS, ORP, dan Suhu Air



- Peletakan Sensor Suhu Udara



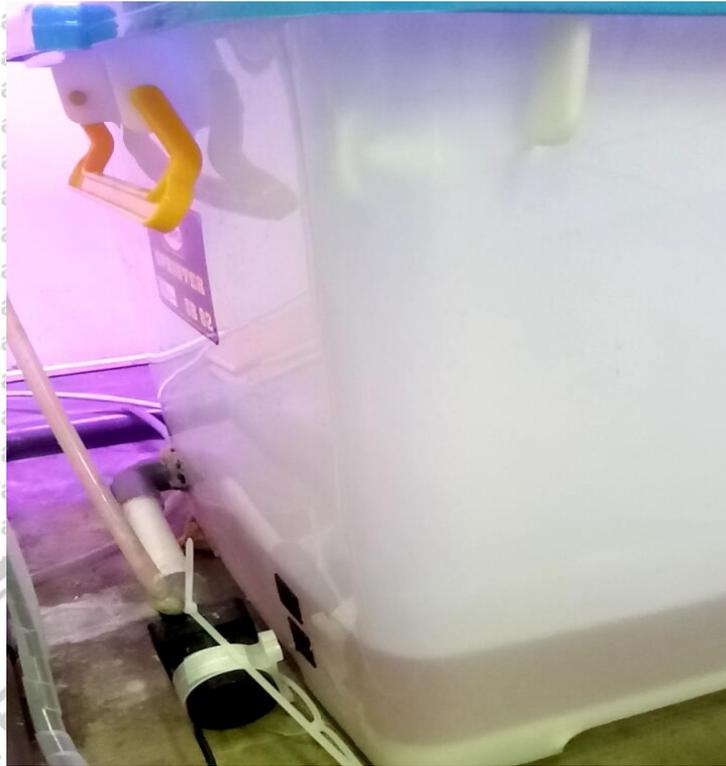
- Peletakan *Limit Switch*



- Peletakan *Grow Light*



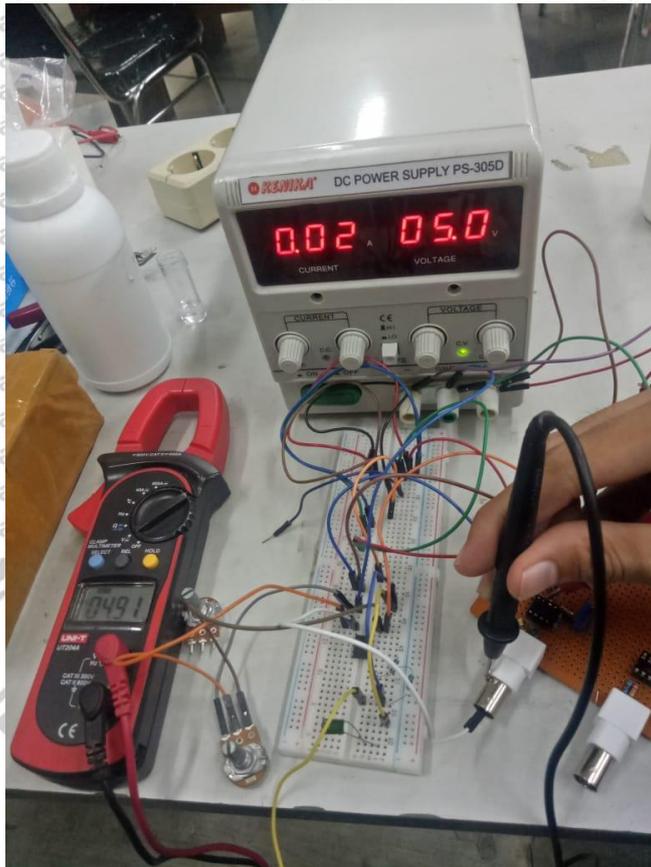
- Peletakan Pompa Air



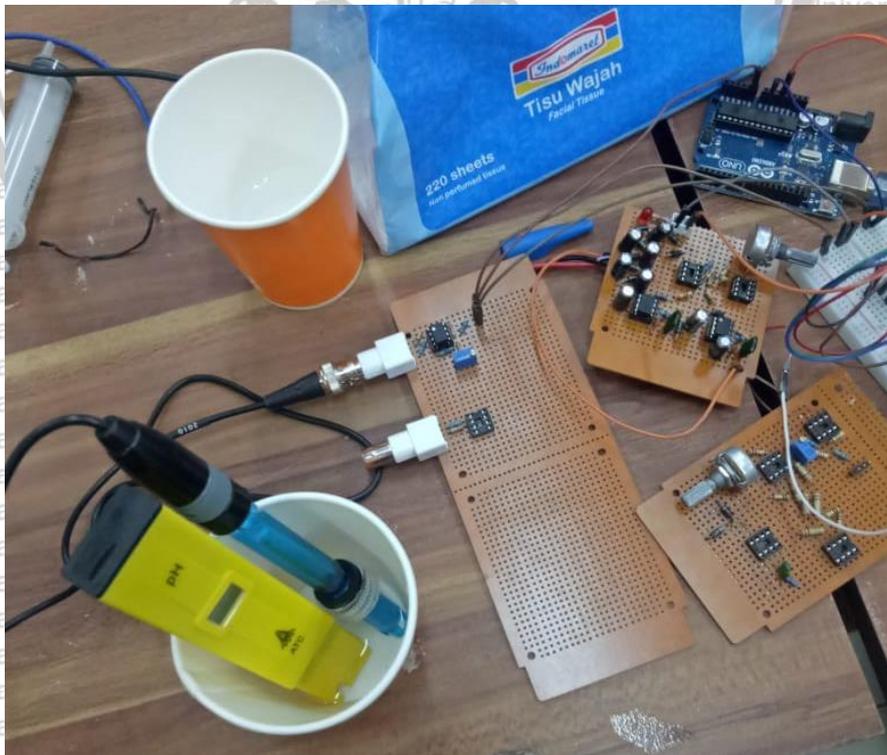
- Peletakan *Board Driver* Aktuator



- **Pengujian Rangkaian Penguat Sensor pH**



- **Pengujian Sensor pH**



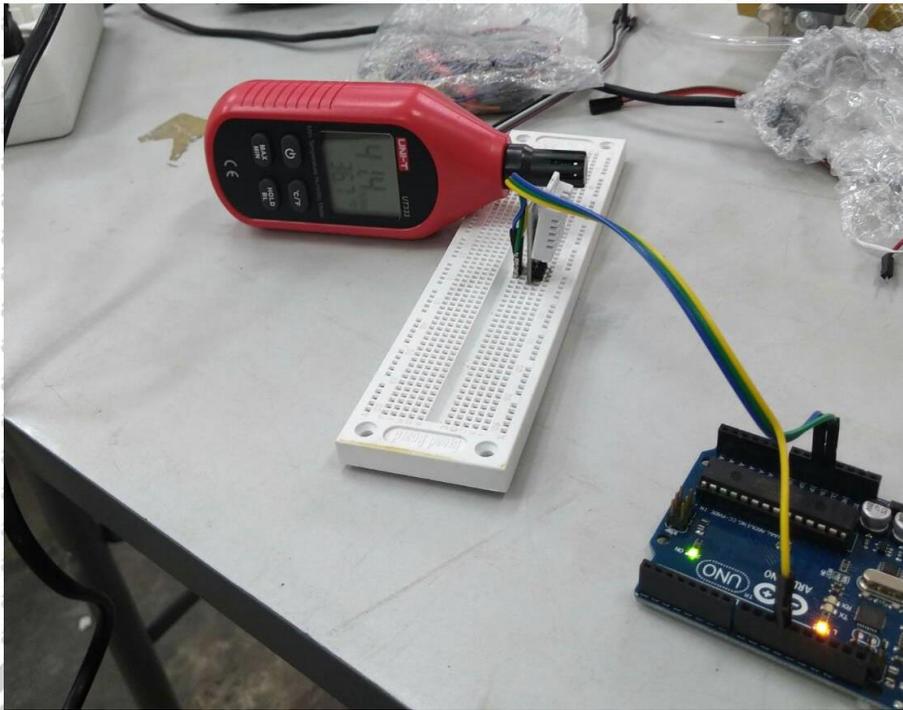
- **Pengujian Sensor TDS**

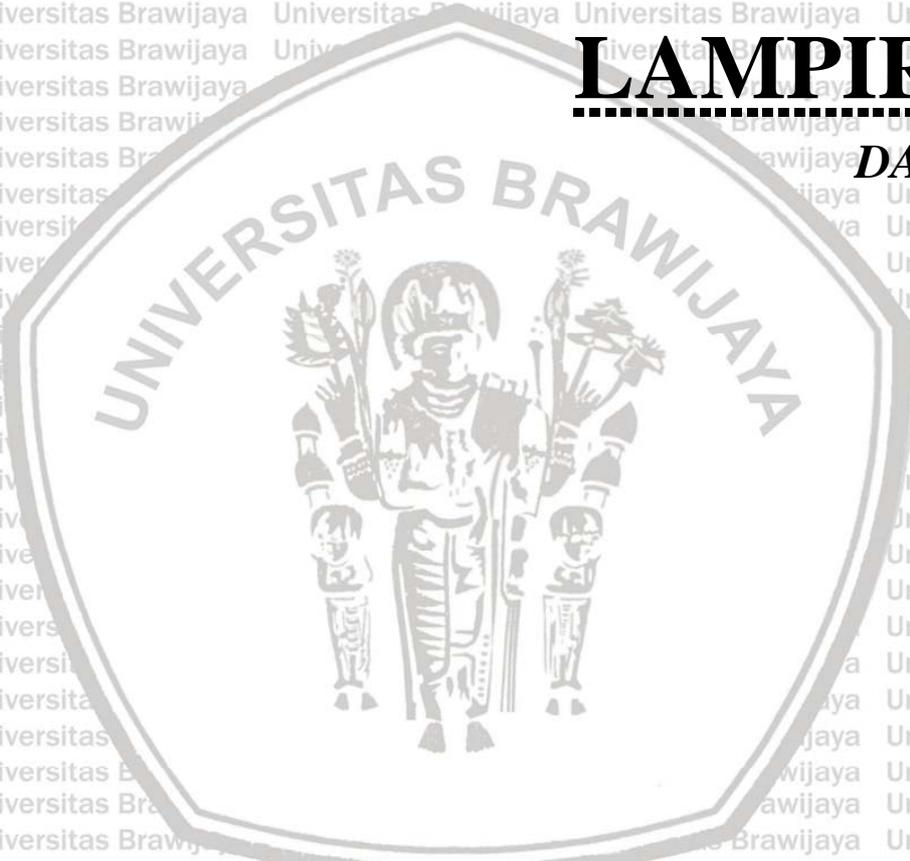


- **Pengujian Sensor DS18B20**



- **Pengujian Sensor DHT22**





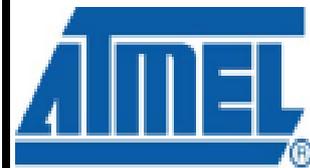
LAMPIRAN 2 DATASHEET

- **ATmega328**

Features

- High Performance, Low Power AVR[®] 8-Bit Microcontroller
- Advanced RISC Architecture
 - 131 Powerful Instructions – Most Single Clock Cycle Execution
 - 32 x 8 General Purpose Working Registers
 - Fully Static Operation
 - Up to 20 MIPS Throughput at 20 MHz
 - On-chip 2-cycle Multiplier
- High Endurance Non-volatile Memory Segments
 - 4K/16/32K Bytes of In-System Self-Programmable Flash program memory (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 256/512/512/1K Bytes EEPROM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - 512/1K/1K/2K Bytes Internal SRAM (ATmega48P/88P/168P/328P)
 - Write/Erase Cycles: 10,000 Flash/100,000 EEPROM
 - Data retention: 20 years at 85°C/100 years at 25°C⁽¹⁾
 - Optional Boot Code Section with Independent Lock Bits
 - In-System Programming by On-chip Boot Program
 - True Read-While-Write Operation
 - Programming Lock for Software Security
- Peripheral Features
 - Two 8-bit Timer/Counters with Separate Prescaler and Compare Mode
 - One 16-bit Timer/Counter with Separate Prescaler, Compare Mode, and Capture Mode
 - Real Time Counter with Separate Oscillator
 - Six PWM Channels
 - 8-channel 10-bit ADC in TQFP and QFN/MLF package
 - Temperature Measurement
 - 6-channel 10-bit ADC in PDIP Package
 - Temperature Measurement
 - Programmable Serial USART
 - Master/Slave SPI Serial Interface
 - Byte-oriented 2-wire Serial Interface (Philips I²C compatible)
 - Programmable Watchdog Timer with Separate On-chip Oscillator
 - On-chip Analog Comparator
 - Interrupt and Wake-up on Pin Change
- Special Microcontroller Features
 - Power-on Reset and Programmable Brown-out Detection
 - Internal Calibrated Oscillator
 - External and Internal Interrupt Sources
 - Six Sleep Modes: Idle, ADC Noise Reduction, Power-save, Power-down, Standby, and Extended Standby
- I/O and Packages
 - 23 Programmable I/O Lines
 - 28-pin PDIP, 32-lead TQFP, 28-pad QFN/MLF and 32-pad QFN/MLF
- Operating Voltage:
 - 1.8 - 5.5V for ATmega48P/88P/168PV
 - 2.7 - 5.5V for ATmega48P/88P/168P
 - 1.8 - 5.5V for ATmega328P
- Temperature Range:
 - -40°C to 85°C
- Speed Grade:
 - ATmega48P/88P/168PV: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V
 - ATmega48P/88P/168P: 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
 - ATmega328P: 0 - 4 MHz @ 1.8 - 5.5V, 0 - 10 MHz @ 2.7 - 5.5V, 0 - 20 MHz @ 4.5 - 5.5V
- Low Power Consumption at 1 MHz, 1.8V, 25°C for ATmega48P/88P/168P:
 - Active Mode: 0.3 mA
 - Power-down Mode: 0.1 µA
 - Power-save Mode: 0.8 µA (including 32 kHz RTC)

Note: 1. See "Data Retention" on page 7 for details.



8-bit AVR[®]
Microcontroller
with 4/8/16/32K
Bytes In-System
Programmable
Flash

ATmega48P/V*
ATmega88P/V*
ATmega168P/V
ATmega328P**

****Preliminary**

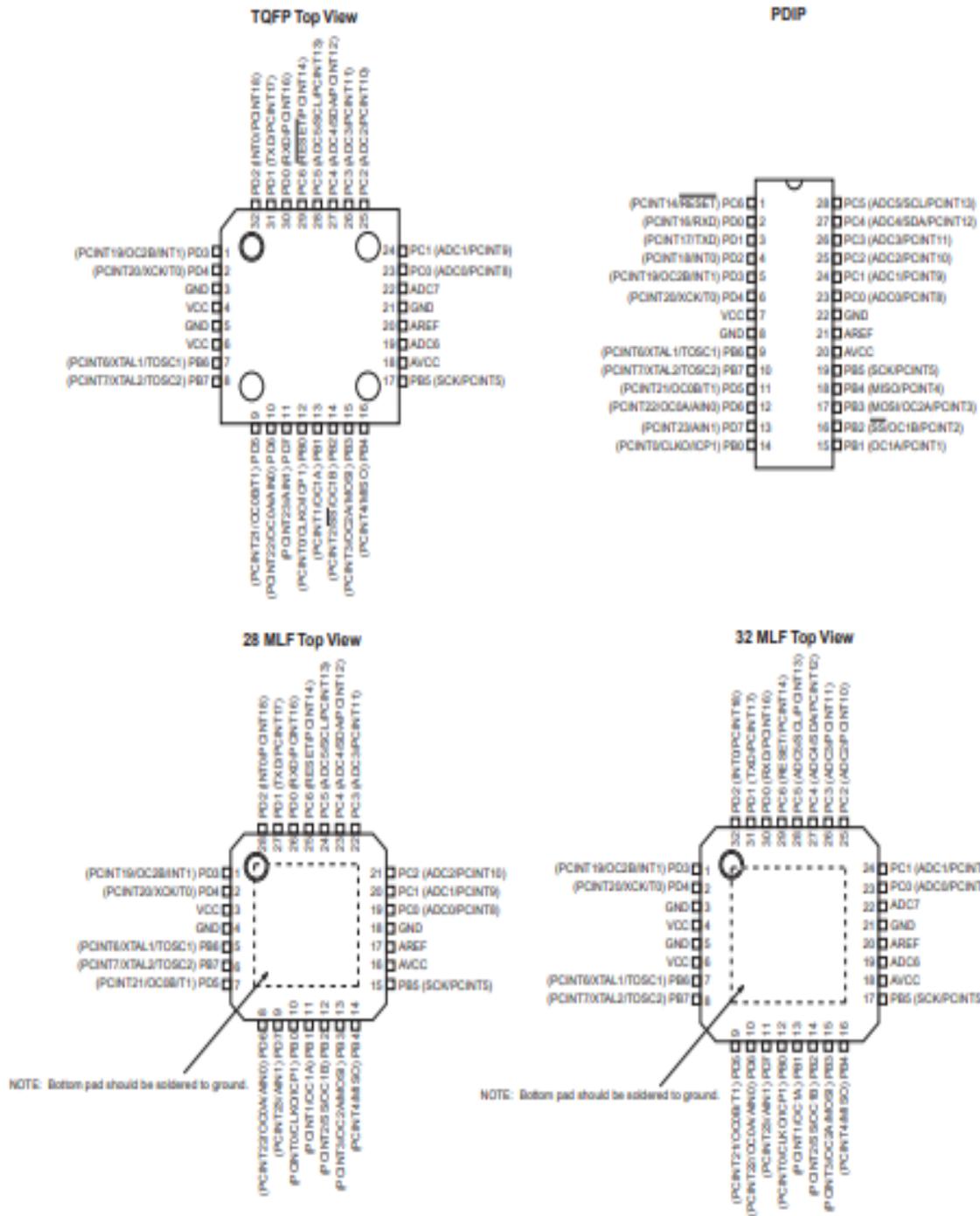
* Not recommended for new designs.

Rev. 80251-AVR-02/05



1. Pin Configurations

Figure 1-1. Pinout ATmega48P/88P/168P/328P



1.1 Pin Descriptions

1.1.1 VCC

Digital supply voltage.

1.1.2 GND

Ground.

1.1.3 Port B (PB7:0) XTAL1/XTAL2/TOSC1/TOSC2

Port B is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port B output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port B pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port B pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

Depending on the clock selection fuse settings, PB6 can be used as input to the inverting Oscillator amplifier and input to the internal clock operating circuit.

Depending on the clock selection fuse settings, PB7 can be used as output from the inverting Oscillator amplifier.

If the Internal Calibrated RC Oscillator is used as chip clock source, PB7..6 is used as TOSC2..1 input for the Asynchronous Timer/Counter2 if the AS2 bit in ASSR is set.

The various special features of Port B are elaborated in ["Alternate Functions of Port B" on page 82](#) and ["System Clock and Clock Options" on page 26](#).

1.1.4 Port C (PC5:0)

Port C is a 7-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The PC5..0 output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port C pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port C pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.

1.1.5 PC6/RESET

If the RSTDISBL Fuse is programmed, PC6 is used as an I/O pin. Note that the electrical characteristics of PC6 differ from those of the other pins of Port C.

If the RSTDISBL Fuse is unprogrammed, PC6 is used as a Reset input. A low level on this pin for longer than the minimum pulse length will generate a Reset, even if the clock is not running. The minimum pulse length is given in [Table 26-3 on page 320](#). Shorter pulses are not guaranteed to generate a Reset.

The various special features of Port C are elaborated in ["Alternate Functions of Port C" on page 85](#).

1.1.6 Port D (PD7:0)

Port D is an 8-bit bi-directional I/O port with internal pull-up resistors (selected for each bit). The Port D output buffers have symmetrical drive characteristics with both high sink and source capability. As inputs, Port D pins that are externally pulled low will source current if the pull-up resistors are activated. The Port D pins are tri-stated when a reset condition becomes active, even if the clock is not running.



The various special features of Port D are elaborated in "Alternate Functions of Port D" on page 88.

1.1.7 AV_{CC}

AV_{CC} is the supply voltage pin for the A/D Converter, PC3:0, and ADC7:6. It should be externally connected to V_{CC}, even if the ADC is not used. If the ADC is used, it should be connected to V_{CC} through a low-pass filter. Note that PC6..4 use digital supply voltage, V_{CC}.

1.1.8 AREF

AREF is the analog reference pin for the A/D Converter.

1.1.9 ADC7:6 (TQFP and QFN/MLF Package Only)

In the TQFP and QFN/MLF package, ADC7:6 serve as analog inputs to the A/D converter. These pins are powered from the analog supply and serve as 10-bit ADC channels.

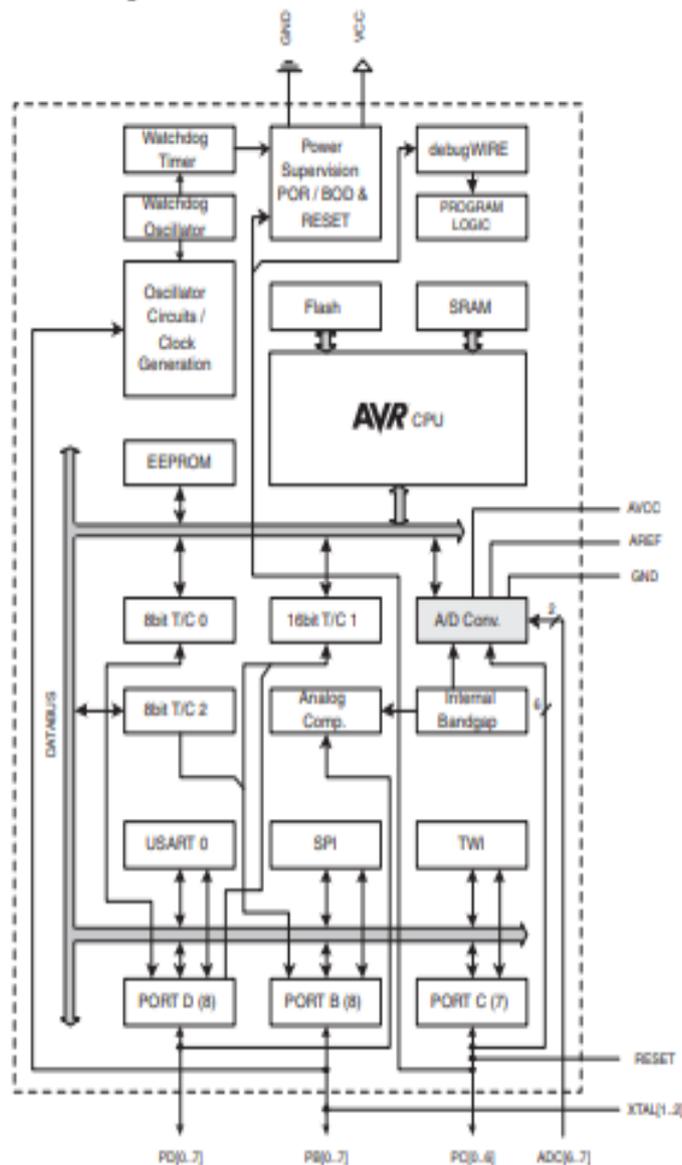
2. Overview

The ATmega48P/88P/168P/328P is a low-power CMOS 8-bit microcontroller based on the AVR enhanced RISC architecture. By executing powerful instructions in a single clock cycle, the ATmega48P/88P/168P/328P achieves throughputs approaching 1 MIPS per MHz allowing the system designer to optimize power consumption versus processing speed.



2.1 Block Diagram

Figure 2-1. Block Diagram



The AVR core combines a rich instruction set with 32 general purpose working registers. All the 32 registers are directly connected to the Arithmetic Logic Unit (ALU), allowing two independent registers to be accessed in one single instruction executed in one clock cycle. The resulting architecture is more code efficient while achieving throughputs up to ten times faster than conventional CISC microcontrollers.

The ATmega48P/88P/168P/328P provides the following features: 4K/8K/16K/32K bytes of In-System Programmable Flash with Read-While-Write capabilities, 256/512/512/1K bytes EEPROM, 512/1K/1K/2K bytes SRAM, 23 general purpose I/O lines, 32 general purpose working registers, three flexible Timer/Counters with compare modes, internal and external interrupts, a serial programmable USART, a byte-oriented 2-wire Serial Interface, an SPI serial port, a 6-channel 10-bit ADC (8 channels in TQFP and QFN/MLF packages), a programmable



Watchdog Timer with internal Oscillator, and five software selectable power saving modes. The Idle mode stops the CPU while allowing the SRAM, Timer/Counters, USART, 2-wire Serial Interface, SPI port, and interrupt system to continue functioning. The Power-down mode saves the register contents but freezes the Oscillator, disabling all other chip functions until the next interrupt or hardware reset. In Power-save mode, the asynchronous timer continues to run, allowing the user to maintain a timer base while the rest of the device is sleeping. The ADC Noise Reduction mode stops the CPU and all I/O modules except asynchronous timer and ADC, to minimize switching noise during ADC conversions. In Standby mode, the crystal/resonator Oscillator is running while the rest of the device is sleeping. This allows very fast start-up combined with low power consumption.

The device is manufactured using Atmel's high density non-volatile memory technology. The On-chip ISP Flash allows the program memory to be reprogrammed In-System through an SPI serial interface, by a conventional non-volatile memory programmer, or by an On-chip Boot program running on the AVR core. The Boot program can use any interface to download the application program in the Application Flash memory. Software in the Boot Flash section will continue to run while the Application Flash section is updated, providing true Read-While-Write operation. By combining an 8-bit RISC CPU with In-System Self-Programmable Flash on a monolithic chip, the Atmel ATmega48P/88P/168P/328P is a powerful microcontroller that provides a highly flexible and cost effective solution to many embedded control applications.

The ATmega48P/88P/168P/328P AVR is supported with a full suite of program and system development tools including: C Compilers, Macro Assemblers, Program Debugger/Simulators, In-Circuit Emulators, and Evaluation kits.

2.2 Comparison Between ATmega48P, ATmega88P, ATmega168P, and ATmega328P

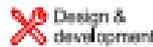
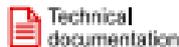
The ATmega48P, ATmega88P, ATmega168P, and ATmega328P differ only in memory sizes, boot loader support, and interrupt vector sizes. Table 2-1 summarizes the different memory and interrupt vector sizes for the three devices.

Table 2-1. Memory Size Summary

Device	Flash	EEPROM	RAM	Interrupt Vector Size
ATmega48P	4K Bytes	256 Bytes	512 Bytes	1 instruction word/vector
ATmega88P	8K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	1 instruction word/vector
ATmega168P	16K Bytes	512 Bytes	1K Bytes	2 instruction words/vector
ATmega328P	32K Bytes	1K Bytes	2K Bytes	2 instructions words/vector

ATmega88P, ATmega168P, and ATmega328P support a real Read-While-Write Self-Programming mechanism. There is a separate Boot Loader Section, and the SPM instruction can only execute from there. In ATmega48P, there is no Read-While-Write support and no separate Boot Loader Section. The SPM instruction can execute from the entire Flash.

• Regulator LM2596



LM2596

SNVS124F – NOVEMBER 1999 – REVISED APRIL 2021

LM2596 SIMPLE SWITCHER® Power Converter 150-kHz 3-A Step-Down Voltage Regulator

1 Features

- New product available: [LMR33630 36-V, 3-A, 400-kHz synchronous converter](#)
- 3.3-V, 5-V, 12-V, and adjustable output versions
- Adjustable version output voltage range: 1.2-V to 37-V $\pm 4\%$ maximum over line and load conditions
- Available in TO-220 and TO-263 packages
- 3-A output load current
- Input voltage range up to 40 V
- Requires only four external components
- Excellent line and load regulation specifications
- 150-kHz Fixed-frequency internal oscillator
- TTL shutdown capability
- Low power standby mode, I_Q , typically 80 μ A
- High efficiency
- Uses readily available standard inductors
- Thermal shutdown and current-limit protection
- Create a custom design using the LM2596 with the [WEBENCH Power Designer](#)

2 Applications

- [Appliances](#)
- [Grid infrastructure](#)
- [EPOS](#)
- [Home theater](#)

3 Description

The LM2596 series of regulators are monolithic integrated circuits that provide all the active functions for a step-down (buck) switching regulator, capable of driving a 3-A load with excellent line and load regulation. These devices are available in fixed output voltages of 3.3 V, 5 V, 12 V, and an adjustable output version.

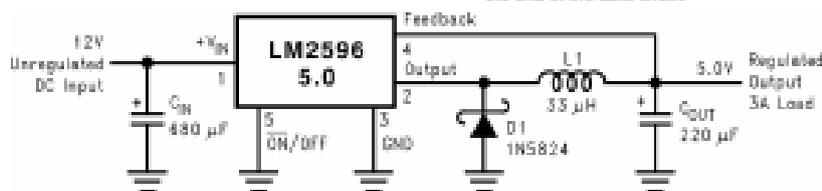
Requiring a minimum number of external components, these regulators are simple to use and include internal frequency compensation, and a fixed-frequency oscillator.

The LM2596 series operates at a switching frequency of 150 kHz, thus allowing smaller sized filter components than what would be required with lower frequency switching regulators. Available in a standard 5-pin TO-220 package with several different lead bend options, and a 5-pin TO-263 surface mount package.

The new product, [LMR33630](#), offers reduced BOM cost, higher efficiency, and an 85% reduction in solution size among many other features. Start [WEBENCH Design](#) with the [LMR33630](#).

PART NUMBER	PACKAGE ⁽¹⁾	BODY SIZE (NOM)
LM2596	TO-220 (5)	14.988 mm × 10.16 mm
	TO-263 (5)	10.10 mm × 8.80 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the data sheet.



Copyright © 2018, Texas Instruments Incorporated

(Fixed Output Voltage Versions)

Typical Application



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

LM2596

SNVS124F – NOVEMBER 1999 – REVISED APRIL 2021



6 Pin Configuration and Functions

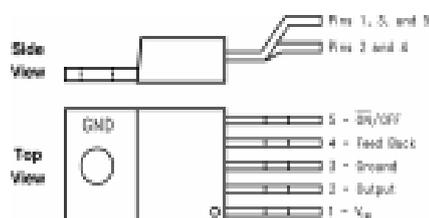


Figure 6-1. 5-Pin TO-220 NDH Package Top View

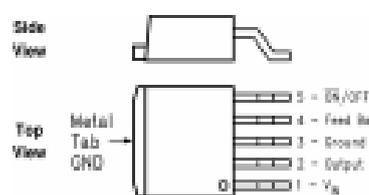


Figure 6-2. 5-Pin TO-263 KTT Package Top View

Table 6-1. Pin Functions

PIN		IO	DESCRIPTION
NO.	NAME		
1	V_{IN}	I	This is the positive input supply for the IC switching regulator. A suitable input bypass capacitor must be present at this pin to minimize voltage transients and to supply the switching currents required by the regulator.
2	Output	O	Internal switch. The voltage at this pin switches between approximately $(+V_{IN} - V_{SAT})$ and approximately -0.5 V, with a duty cycle of V_{OUT} / V_{IN} . To minimize coupling to sensitive circuitry, the PCB copper area connected to this pin must be kept to a minimum.
3	Ground	—	Circuit ground
4	Feedback	I	Senses the regulated output voltage to complete the feedback loop.
5	DR/OFF	I	Allows the switching regulator circuit to be shut down using logic signals thus dropping the total input supply current to approximately 80 μ A. Pulling this pin below a threshold voltage of approximately 1.3 V turns the regulator on, and pulling this pin above 1.3 V (up to a maximum of 25 V) shuts the regulator down. If this shutdown feature is not required, the DR/OFF pin can be wired to the ground pin or it can be left open. In either case, the regulator will be in the ON condition.

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)^{(1) (2)}

		MIN	MAX	UNIT
Maximum supply voltage (V_{IN})			45	V
SD/SS pin input voltage ⁽³⁾			8	V
Delay pin voltage ⁽³⁾			1.5	V
Flag pin voltage		-0.3	45	V
Feedback pin voltage		-0.3	25	V
Output voltage to ground, steady-state			-1	V
Power dissipation		Internally limited		
Lead temperature	KTV package	Vapor phase (60 s)	215	°C
		Infrared (10 s)	245	
	NDZ package, soldering (10 s)	260		
Maximum junction temperature			150	°C
Storage temperature, T_{stg}		-65	150	°C

- (1) Stresses beyond those listed under *Absolute Maximum Ratings* may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, which do not imply functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under *Recommended Operating Conditions*. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.
- (2) If Military/Aerospace specified devices are required, please contact the Texas Instruments Sales Office/Distributors for availability and specifications.
- (3) Voltage internally clamped. If clamp voltage is exceeded, limit current to a maximum of 1 mA.

7.2 ESD Ratings

		VALUE	UNIT
V_{ESD}	Electrostatic discharge Human-body model (HBM), per ANSI/ESDA/JEDEC J8-001 ⁽¹⁾	±2000	V

- (1) JEDEC document JEP155 states that 500-V HBM allows safe manufacturing with a standard ESD control process.

7.3 Operating Conditions

	MIN	MAX	UNIT
Supply voltage	4.5	40	V
Temperature	-40	125	°C

7.4 Thermal Information

THERMAL METRIC ⁽¹⁾		LM2596		UNIT
		KTV (TO-263)	NDZ (TO-220)	
		5 PINS	5 PINS	
$R_{\theta JA}$	Junction-to-ambient thermal resistance ^{(2) (3)}	See ⁽⁴⁾	50	°C/W
	See ⁽⁴⁾	50	—	
	See ⁽⁴⁾	30	—	
	See ⁽⁴⁾	20	—	
$R_{\theta JC(top)}$	Junction-to-case (top) thermal resistance	2	2	°C/W

- (1) For more information about traditional and new thermal metrics, see the [Semiconductor and IC Package Thermal Metrics application report](#).
- (2) The package thermal impedance is calculated in accordance to JESD 51-7.
- (3) Thermal Resistances were simulated on a 4-layer, JEDEC board.



LM2596

SNVS124F – NOVEMBER 1999 – REVISED APRIL 2021

www.ti.com

- (4) Junction to ambient thermal resistance (no external heat sink) for the package mounted TO-220 package mounted vertically, with the leads soldered to a printed circuit board with (1 oz.) copper area of approximately 1 in².
- (5) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 0.5 in² of 1-oz copper area.
- (6) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a single sided printed circuit board with 2.5 in² of 1-oz copper area.
- (7) Junction to ambient thermal resistance with the TO-263 package tab soldered to a double sided printed circuit board with 3 in² of 1-oz copper area on the LM2596B side of the board, and approximately 16 in² of copper on the other side of the PCB.

7.5 Electrical Characteristics – 3.3-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT		
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 9-13 for test circuit)							
V_{out}	Output voltage	4.75 V $\leq V_{\text{IN}} \leq 40$ V, 0.2 A $\leq I_{\text{LOAD}} \leq 3$ A	$T_J = 25^\circ\text{C}$	3.168	3.3	3.432	V
			$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	3.135		3.465	
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12$ V, $I_{\text{LOAD}} = 3$ A		73%			

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 9-13, system performance is shown in the test conditions column.

7.6 Electrical Characteristics – 5-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT		
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 9-13 for test circuit)							
V_{out}	Output voltage	7 V $\leq V_{\text{IN}} \leq 40$ V, 0.2 A $\leq I_{\text{LOAD}} \leq 3$ A	$T_J = 25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
			$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	4.75		5.25	
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 12$ V, $I_{\text{LOAD}} = 3$ A		80%			

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 9-13, system performance is shown in the test conditions column.

7.7 Electrical Characteristics – 12-V Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT		
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 9-13 for test circuit)							
V_{out}	Output voltage	15 V $\leq V_{\text{IN}} \leq 40$ V, 0.2 A $\leq I_{\text{LOAD}} \leq 3$ A	$T_J = 25^\circ\text{C}$	11.52	12	12.48	V
			$-40^\circ\text{C} \leq T_J \leq 125^\circ\text{C}$	11.4		12.6	
η	Efficiency	$V_{\text{IN}} = 25$ V, $I_{\text{LOAD}} = 3$ A		80%			

- (1) All room temperature limits are 100% production tested. All limits at temperature extremes are specified via correlation using standard Statistical Quality Control (SQC) methods. All limits are used to calculate Average Outgoing Quality Level (AOQL).
- (2) Typical numbers are at 25°C and represent the most likely norm.
- (3) External components such as the catch diode, inductor, input and output capacitors can affect switching regulator system performance. When the LM2596 is used as shown in Figure 9-13, system performance is shown in the test conditions column.

7.8 Electrical Characteristics – Adjustable Voltage Version

Specifications are for $T_J = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	MIN ⁽¹⁾	TYP ⁽²⁾	MAX ⁽¹⁾	UNIT
SYSTEM PARAMETERS ⁽³⁾ (see Figure 9-13 for test circuit)					



- Sensor SEN0244



Gravity: Analog TDS Sensor / Meter For Arduino

SKU: SEN0244

TDS (Total Dissolved Solids) indicates that how many milligrams of soluble solids dissolved in one liter of water. In general, the higher the TDS value, the more soluble solids dissolved in water, and the less clean the water is. Therefore, the TDS value can be used as one of the references for reflecting the cleanliness of water.

TDS pen is a widely used equipment to measure TDS value. The price is affordable, and it is easy to use, but it is not able to transmit data to the control system for online monitoring to do some water quality analysis. The professional instrument has high accuracy and can send data to the control system, but the price is expensive for the ordinary people. To this end, we have launched an analog TDS sensor kit which is compatible with Arduino, plug and play, easy to use. Matching with Arduino controller, you can build a TDS detector easily to measure the TDS value of liquid.

This product supports 3.3 ~ 5.5V wide voltage input, and 0 ~ 2.3V analog voltage output, which makes it compatible with 5V or 3.3V control system or board. The excitation source is AC signal, which can effectively prevent the probe from polarization and prolong the life of the probe, meanwhile, increase the stability of the output signal. The TDS probe is waterproof, it can be immersed in water for long time measurement.

This product can be used in water quality application, such as domestic water, hydroponics. With this product, you can easily DIY a TDS detector to reflect the cleanliness of water to protect your health.



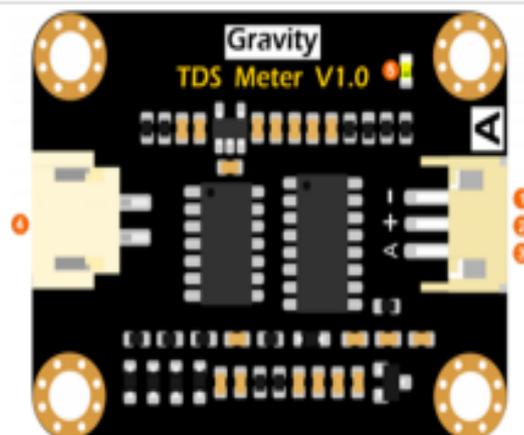
Attention:

1. The probe can not be used in water above 55 degrees centigrade.
2. The probe can not be left too close to the edge of the container, otherwise it will affect the reading.
3. The head and the cable of the probe are waterproof, but the connector and the signal transmitter board are not waterproof. Please be careful.

Specification

- **Signal Transmitter Board**
 Input Voltage: 3.3 ~ 5.5V
 Output Voltage: 0 ~ 2.3V
 Working Current: 3 ~ 6mA
 TDS Measurement Range: 0 ~ 1000ppm
 TDS Measurement Accuracy: $\pm 10\%$ F.S. (25 °C)
 Module Size: 42 * 32mm
 Module Interface: PH2.0-3P
 Electrode Interface: XH2.54-2P
- **TDS probe**
 Number of Needle: 2
 Total Length: 83cm
 Connection Interface: XH2.54-2P
 Colour: Black
 Other: Waterproof Probe

Board Overview



Analog TDS Sensor / Meter For Arduino

Num	Label	Description
1	-	Power GND(0V)
2	+	Power VCC(3.3 ~ 5.5V)
3	A	Analog Signal Output(0 ~ 2.3V)
4	TDS	TDS Probe Connector
5	LED	Power Indicator

Tutorial

This tutorial will show you how to measure the TDS value of the water. Please read this tutorial carefully, and pay attention to the steps and details.



The probe can not to be used in water above 55 degrees centigrade.

The probe can not be too close to the edge of the container, otherwise it will affect the reading.

The head and the cable of the probe are waterproof, but the connector and the signal transmitter board are not waterproof. Please pay attention to use.

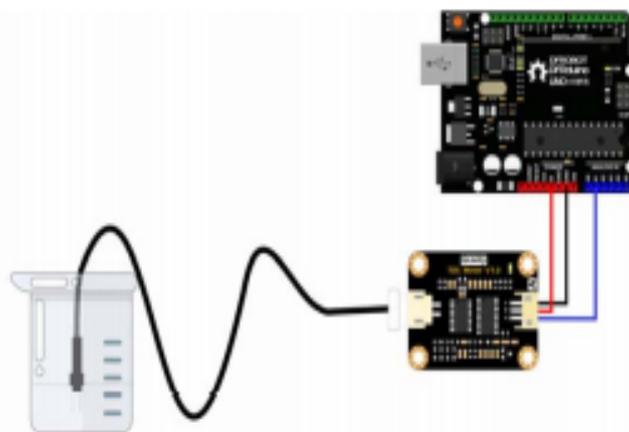
Requirements

- Hardware**
 DFRduino UNO R3 (or similar) x 1
 Analog TDS Sensor / Meter Module x 1
 TDS Probe x1
 Jumper Wires x3
 tested liquid x1
- Software**

Arduino IDE (Version requirements: V1.0.x or V1.8.x), Click to Download Arduino IDE from Arduino®

<https://www.arduino.cc/en/Main/Software%7C>

Connection Diagram



- **Sensor SEN0165**



Analog ORP Meter(SKU:SEN0165)



Contents

- **1 Introduction**
- **2 Applications**
- **3 Specification**
- **4 ORP Standard Solution Temperature Characteristics**
- **5 Use the ORP Meter**
 - 5.1 Connecting Diagram
 - 5.2 Step to Use the ORP Meter
 - 5.3 Sample Code
- **6 Precautions**

Introduction

- Want to DIY an ORP meter? Need to measure the ORP value? Find it difficult to use with Arduino? Here comes an analog ORP meter, specially designed for Arduino controllers and has built-in simple, convenient and practical connection and features. When done the connection according to the diagram, then with the program control, it's very convenient to measure the ORP.
- ORP (Oxidation-Reduction Potential) is a measure of the ability of oxidation and reduction of aqueous solution, characterization of the relative degree of oxidizing or reducing. The unit is mV. Oxidation reduction potential is high, oxidation is stronger, while the potential is lower, oxidation is weaker. The

positive potential means that solution shows a certain degree of oxidation, while the negative potential means that solution shows a certain degree of reduction.

- ORP is an important index of water quality detection, although it can not separate water quality independently, but can be combined with other water quality index to reflect the ecological environment in the aquarium system.
- The measuring element is an ORP composite electrode, made of gold or platinum electrode and the reference electrode, assembly into a composite electrode. It used to measure Oxidation-Reduction Potential of the solution.

Applications

- Water quality testing
- Aquaculture

Specification

- Module Power: +5.00V
- Module Size: 40mmX27mm
- Measuring Range: -2000mV—2000mV
- Suitable Temperature: 5-70°C
- Accuracy: $\pm 10\text{mv}$ (25 °C)
- Response Time: $\leq 20\text{sec}$
- ORP Probe with BNC Connector
- PH2.0 Interface (3 foot patch)
- Zero calibration button
- Power Indicator LED

ORP Standard Solution Temperature Characteristics

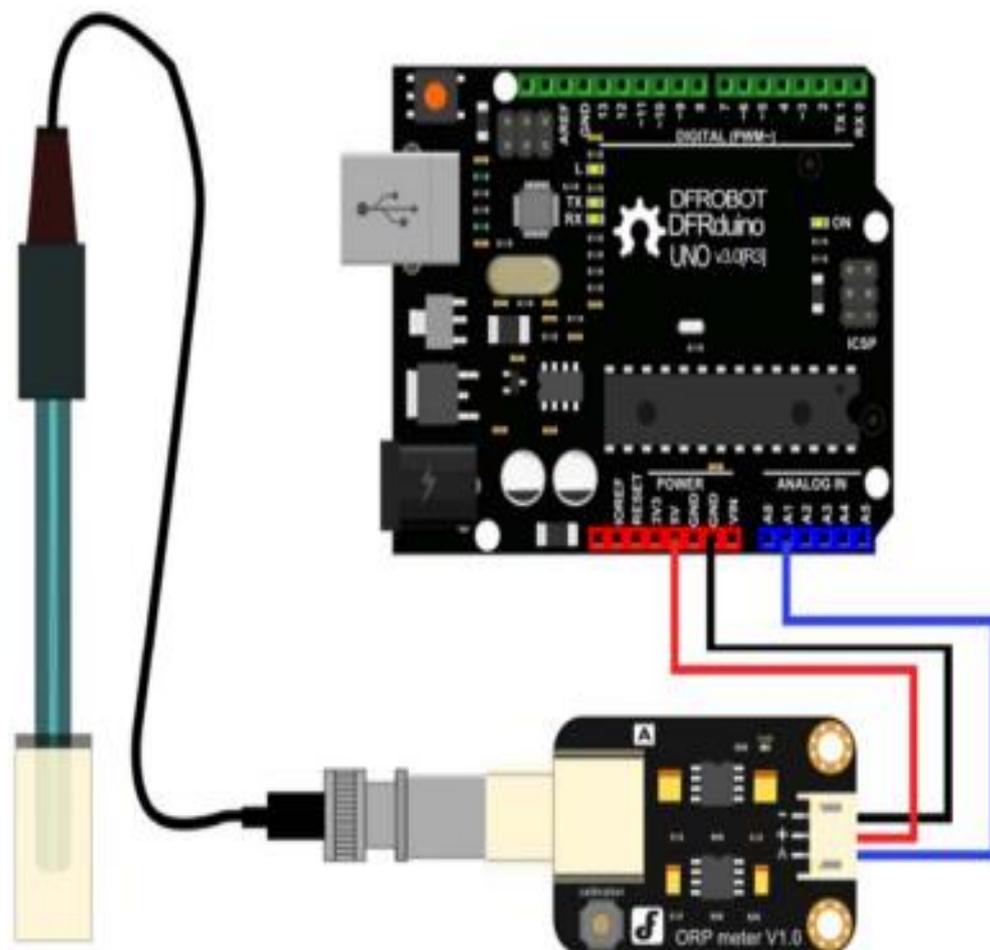
222mV \pm 15mV (25°C)

(3.5mol/L KCL)

°C	mV	°C	mV
10	242	30	215
15	235	35	209
20	227	38	205
25	222	40	201

Use the ORP Meter

Connecting Diagram



Step to Use the ORP Meter

Cautions:

- Please use an external switching power supply, and the voltage as close as possible to the +5.00V. More accurate the voltage, more higher the accuracy!
- Using the ORP electrode is without calibration, so it can be used directly. Only when you doubt the ORP electrode quality or test results, you should use the ORP standard solution to check the electrode potential to determine the ORP electrode or instrument quality.
- Before the ORP electrode measured different solutions, we need to wash it, and deionized water is recommended.
- When the ORP probe is connected to the ORP meter board, please do not press the calibration button. Or, the ORP probe may be damaged!

(1) Use the analog connection lines, the ORP meter board is connected to the analog port 1 of the Arduino controller. When the Arduino controller gets power, you will see the blue LED on board is on.
 (2) Upload the sample code to the Arduino controller. (Note: At this time, a sentence in the sample program should be "#define OFFSET 0").

• Sensor DS18B20

Click [here](#) for production status of specific part numbers.

DS18B20

General Description

The DS18B20 digital thermometer provides 9-bit to 12-bit Celsius temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18B20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. In addition, the DS18B20 can derive power directly from the data line ("parasite power"), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18B20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18B20s to function on the same 1-Wire bus. Thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18B20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment, or machinery, and process monitoring and control systems.

Applications

- Thermostatic Controls
- Industrial Systems
- Consumer Products
- Thermometers
- Thermally Sensitive Systems

[Ordering Information](#) appears at end of data sheet.

1-Wire is a registered trademark of Maxim Integrated Products, Inc.

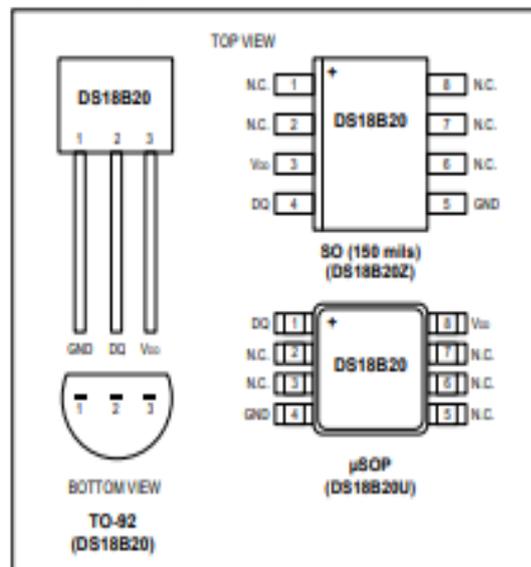
19-7487, Rev 8; 7/19

Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer

Benefits and Features

- Unique 1-Wire[®] Interface Requires Only One Port Pin for Communication
- Reduce Component Count with Integrated Temperature Sensor and EEPROM
 - Measures Temperatures from -55°C to +125°C (-67°F to +257°F)
 - ±0.5°C Accuracy from -10°C to +85°C
 - Programmable Resolution from 9 Bits to 12 Bits
 - No External Components Required
- Parasitic Power Mode Requires Only 2 Pins for Operation (DQ and GND)
- Simplifies Distributed Temperature-Sensing Applications with Multidrop Capability
 - Each Device Has a Unique 64-Bit Serial Code Stored in On-Board ROM
- Flexible User-Definable Nonvolatile (NV) Alarm Settings with Alarm Search Command Identifies Devices with Temperatures Outside Programmed Limits
- Available in 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP, and 3-Pin TO-92 Packages

Pin Configurations



DS18B20

Programmable Resolution
1-Wire Digital Thermometer

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground.....	-0.5V to +6.0V	Storage Temperature Range.....	-55°C to +125°C
Operating Temperature Range.....	-55°C to +125°C	Solder Temperature.....	Refer to the IPC/JEDEC J-STD-020 Specification.

These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC Electrical Characteristics

(-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{DD}	Local power (Note 1)	+3.0		+5.5	V
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite power	+3.0		+5.5	V
		Local power	+3.0		V_{DD}	
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C
		-30°C to +100°C			±1	
		-55°C to +125°C			±2	
Input Logic-Low	V_{IL}	(Notes 1, 4, 5)	-0.3		+0.8	V
Input Logic-High	V_{IH}	Local power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V
		Parasite power	+3.0			
Sink Current	I_L	$V_{DD} = 0.4V$	4.0			mA
Standby Current	I_{DDS}	(Notes 7, 8)		750	1000	nA
Active Current	I_{DD}	$V_{DD} = 5V$ (Note 9)		1	1.5	mA
DQ Input Current	I_{DQ}	(Note 10)		5		µA
Drift		(Note 11)		±0.2		°C

Note 1: All voltages are referenced to ground.

Note 2: The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18B20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.

Note 3: See typical performance curve in Figure 1. Thermometer Error limits are 3-sigma values.

Note 4: Logic-low voltages are specified at a sink current of 4mA.

Note 5: To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.

Note 6: Logic-high voltages are specified at a source current of 1mA.

Note 7: Standby current specified up to +70°C. Standby current typically is 3µA at +125°C.

Note 8: To minimize I_{DDS} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.

Note 9: Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.

Note 10: DQ line is high ("high-Z" state).

Note 11: Drift data is based on a 1000-hour stress test at +125°C with $V_{DD} = 5.5V$.



- Sensor DHT22

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

Digital-output relative humidity & temperature sensor/module

DHT22 (DHT22 also named as AM2302)



Capacitive-type humidity and temperature module/sensor

1

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn



Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors

1. Feature & Application:

- * Full range temperature compensated * Relative humidity and temperature measurement
- * Calibrated digital signal *Outstanding long-term stability *Extra components not needed
- * Long transmission distance * Low power consumption *4 pins packaged and fully interchangeable

2. Description:

DHT22 output calibrated digital signal. It utilizes exclusive digital-signal-collecting-technique and humidity sensing technology, assuring its reliability and stability. Its sensing elements is connected with 8-bit single-chip computer.

Every sensor of this model is temperature compensated and calibrated in accurate calibration chamber and the calibration-coefficient is saved in type of programme in OTP memory, when the sensor is detecting, it will cite coefficient from memory.

Small size & low consumption & long transmission distance(20m) enable DHT22 to be suited in all kinds of harsh application occasions.

Single-row packaged with four pins, making the connection very convenient.

3. Technical Specification:

Model	DHT22
Power supply	3.3-6V DC
Output signal	digital signal via single-bus
Sensing element	Polymer capacitor
Operating range	humidity 0-100%RH; temperature -40-80Celsius
Accuracy	humidity +/-2%RH(Max +/-5%RH); temperature <+/-0.5Celsius
Resolution or sensitivity	humidity 0.1%RH; temperature 0.1Celsius
Repeatability	humidity +/-1%RH; temperature +/-0.2Celsius
Humidity hysteresis	+/-0.3%RH
Long-term Stability	+/-0.5%RH/year
Sensing period	Average: 2s
Interchangeability	fully interchangeable
Dimensions	small size 14*18*5.5mm; big size 22*28*5mm

4. Dimensions: (unit---mm)

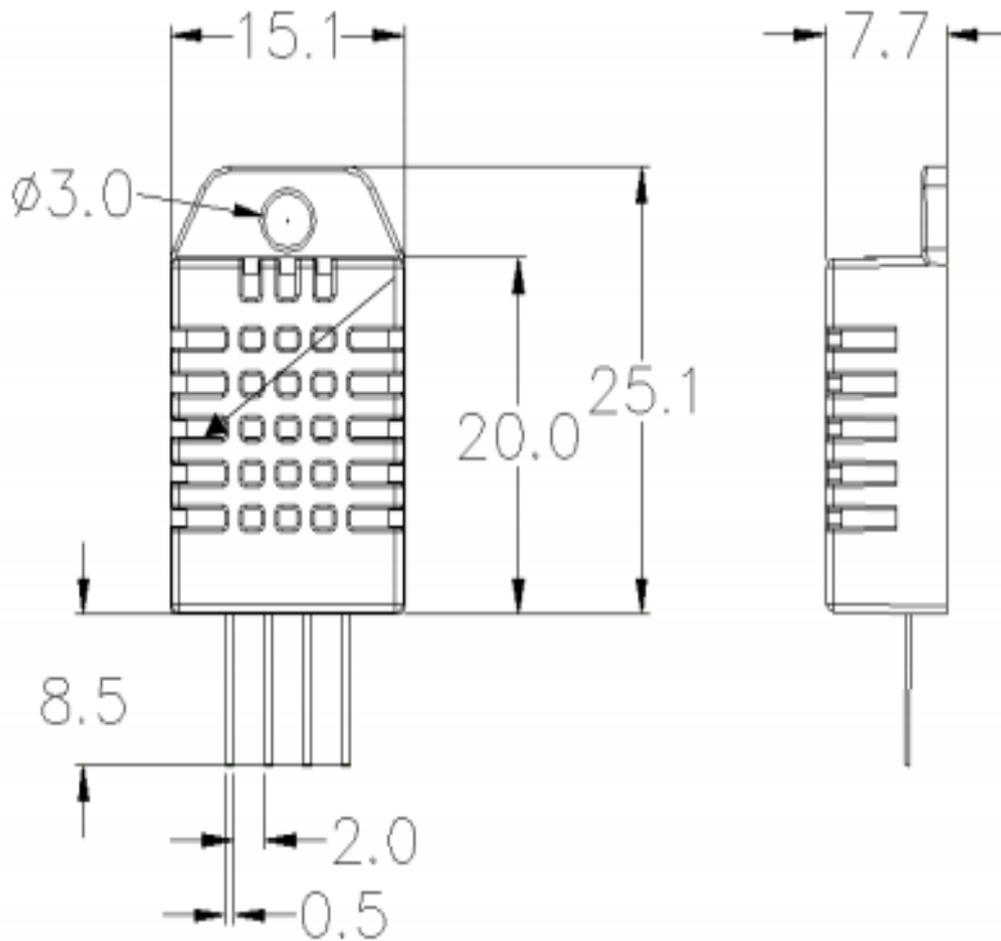
1) Small size dimensions: (unit---mm)

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

Aosong Electronics Co.,Ltd

Your specialist in innovating humidity & temperature sensors



Pin sequence number: 1 2 3 4 (from left to right direction).

Pin	Function
1	VDD—power supply
2	DATA—signal
3	NULL
4	GND

Thomas Liu (Business Manager)

Email: thomasliu198518@yahoo.com.cn

- RTC DS3231

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal

General Description

The DS3231 is a low-cost, extremely accurate I²C real-time clock (RTC) with an integrated temperature-compensated crystal oscillator (TCXO) and crystal. The device incorporates a battery input, and maintains accurate timekeeping when main power to the device is interrupted. The integration of the crystal resonator enhances the long-term accuracy of the device as well as reduces the piece-part count in a manufacturing line. The DS3231 is available in commercial and industrial temperature ranges, and is offered in a 16-pin, 300-mil SO package.

The RTC maintains seconds, minutes, hours, day, date, month, and year information. The date at the end of the month is automatically adjusted for months with fewer than 31 days, including corrections for leap year. The clock operates in either the 24-hour or 12-hour format with an AM/PM indicator. Two programmable time-of-day alarms and a programmable square-wave output are provided. Address and data are transferred serially through an I²C bidirectional bus.

A precision temperature-compensated voltage reference and comparator circuit monitors the status of V_{CC} to detect power failures, to provide a reset output, and to automatically switch to the backup supply when necessary. Additionally, the RST pin is monitored as a pushbutton input for generating a μ P reset.

Benefits and Features

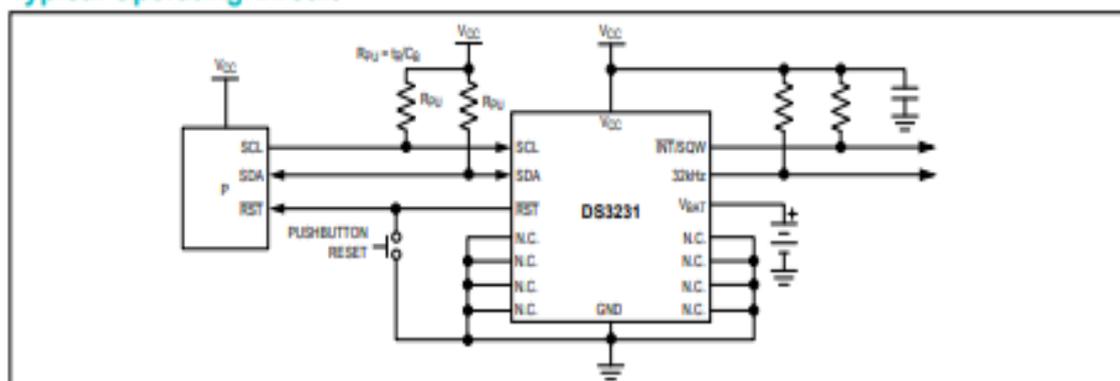
- Highly Accurate RTC Completely Manages All Timekeeping Functions
 - Real-Time Clock Counts Seconds, Minutes, Hours, Date of the Month, Month, Day of the Week, and Year, with Leap-Year Compensation Valid Up to 2100
 - Accuracy ± 2 ppm from 0°C to +40°C
 - Accuracy ± 3.5 ppm from -40°C to +85°C
 - Digital Temp Sensor Output: ± 3 °C Accuracy
 - Register for Aging Trim
 - RST Output/Pushbutton Reset Debounce Input
 - Two Time-of-Day Alarms
 - Programmable Square-Wave Output Signal
- Simple Serial Interface Connects to Most Microcontrollers
 - Fast (400kHz) I²C Interface
- Battery-Backup Input for Continuous Timekeeping
 - Low Power Operation Extends Battery-Backup Run Time
 - 3.3V Operation
- Operating Temperature Ranges: Commercial (0°C to +70°C) and Industrial (-40°C to +85°C)
- Underwriters Laboratories® (UL) Recognized

Applications

- Servers
- Telematics
- Utility Power Meters
- GPS

Ordering information and Pin Configuration appear at end of data sheet.

Typical Operating Circuit



Underwriters Laboratories is a registered certification mark of Underwriters Laboratories Inc.

DS3231

Extremely Accurate I²C-Integrated
RTC/TCXO/Crystal

Absolute Maximum Ratings

Voltage Range on Any Pin Relative to Ground-0.3V to +6.0V
 Junction-to-Ambient Thermal Resistance (θ_{JA}) (Note 1) 73°C/W
 Junction-to-Case Thermal Resistance (θ_{JC}) (Note 1)23°C/W
 Operating Temperature Range
 DS3231S0°C to +70°C
 DS3231SN-40°C to +85°C

Junction Temperature+125°C
 Storage Temperature Range-40°C to +85°C
 Lead Temperature (soldering, 10s)+260°C
 Soldering Temperature (reflow, 2 times max)+260°C
 (see the Handling, PCB Layout, and Assembly section)

Note 1: Package thermal resistances were obtained using the method described in JEDEC specification JESD51-7, using a four-layer board. For detailed information on package thermal considerations, refer to www.maximintegrated.com/thermal-tutorial.

Stresses beyond those listed under "Absolute Maximum Ratings" may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only; and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated in the operational sections of the specifications is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods may affect device reliability.

Recommended Operating Conditions

($T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Supply Voltage	V_{CC}		2.3	3.3	5.5	V
	V_{BAT}		2.3	3.0	5.5	V
Logic 1 Input SDA, SCL	V_{IH}		0.7 x V_{CC}		$V_{CC} + 0.3$	V
Logic 0 Input SDA, SCL	V_{IL}		-0.3		0.3 x V_{CC}	V

Electrical Characteristics

($V_{CC} = 2.3V$ to $5.5V$, V_{CC} = Active Supply (see Table 1), $T_A = T_{MIN}$ to T_{MAX} , unless otherwise noted.) (Typical values are at $V_{CC} = 3.3V$, $V_{BAT} = 3.0V$, and $T_A = +25^\circ C$, unless otherwise noted.) (Notes 2, 3)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITIONS	MIN	TYP	MAX	UNITS
Active Supply Current	I_{CCA}	(Notes 4, 5)	$V_{CC} = 3.63V$		200	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		300	
Standby Supply Current	I_{CCS}	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off (Note 5)	$V_{CC} = 3.63V$		110	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		170	
Temperature Conversion Current	$I_{CCSCONV}$	I ² C bus inactive, 32kHz output on, SQW output off	$V_{CC} = 3.63V$		575	μA
			$V_{CC} = 5.5V$		650	
Power-Fail Voltage	V_{PF}		2.45	2.575	2.70	V
Logic 0 Output, 32kHz, INT/SQW, SDA	V_{OL}	$I_{OL} = 3mA$			0.4	V
Logic 0 Output, RST	V_{OL}	$I_{OL} = 1mA$			0.4	V
Output Leakage Current 32kHz, INT/SQW, SDA	I_{LO}	Output high impedance	-1	0	+1	μA
Input Leakage SCL	I_{LI}		-1		+1	μA
RST Pin I/O Leakage	I_{OL}	RST high impedance (Note 6)	-200		+10	μA
V _{BAT} Leakage Current (V_{CC} Active)	I_{BATLKG}			25	100	nA

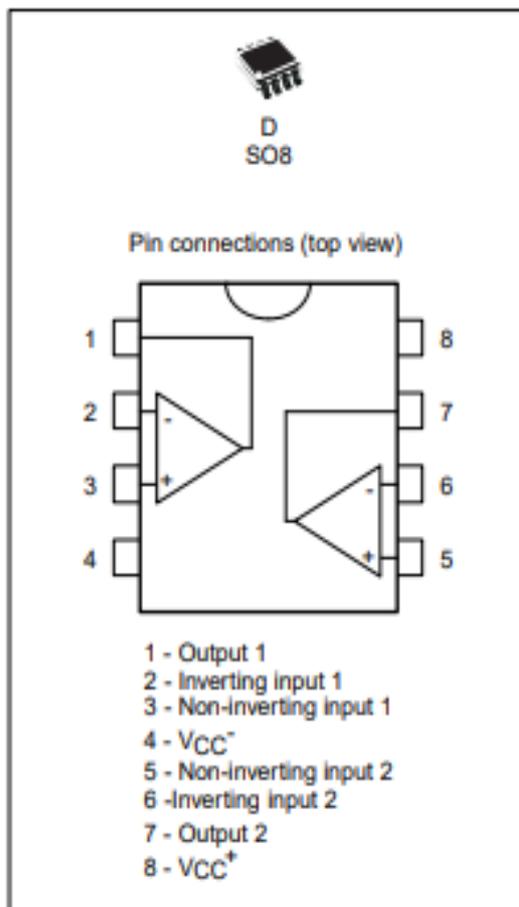
- Penguat TL072



TL072, TL072A, TL072B

Low noise JFET dual operational amplifiers

Datasheet - production data



Features

- Wide common-mode (up to V_{CC}^+) and differential voltage range
- Low input bias and offset current
- Low noise $e_n = 15 \text{ nV}/\sqrt{\text{Hz}}$ (typ)
- Output short-circuit protection
- High input impedance JFET input stage
- Low harmonic distortion: 0.01 % (typical)
- Internal frequency compensation
- Latch-up free operation
- High slew rate: 16 $\text{V}/\mu\text{s}$ (typ)

Related products

- See TL071 for single op amp version
- See TL074 for quad op amp version

Description

The TL072, TL072A, and TL072B are high speed JFET input dual operational amplifiers incorporating well-matched, high-voltage JFET and bipolar transistors in a monolithic integrated circuit.

The devices feature high slew rates, low input bias and offset current, and low offset voltage temperature coefficients.

2 Absolute maximum ratings and operating conditions

Table 1: Absolute maximum ratings

Symbol	Parameter	TL072I, AI, BI	TL072C, AC, BC	Unit
V _{CC}	Supply voltage ⁽¹⁾	±18		V
V _{in}	Input voltage ⁽²⁾	±15		
V _{id}	Differential input voltage ⁽³⁾	±30		
R _{thja}	Thermal resistance junction to ambient, SO8 ⁽⁴⁾	125		°C/W
R _{thjc}	Thermal resistance junction to case, SO8 ⁽⁴⁾	40		
	Output short-circuit duration ⁽⁵⁾	Infinite		
T _{stg}	Storage temperature range	-65 to +150		°C
ESD	HBM: human body model ⁽⁶⁾	1		kV
	MM: machine model ⁽⁷⁾	200		V
	CDM: charged device model ⁽⁸⁾	1.5		kV

Notes:

⁽¹⁾All voltage values, except the differential voltage, are with respect to the zero reference level (ground) of the supply voltages where the zero reference level is the midpoint between V_{CC+} and V_{CC-}.

⁽²⁾The magnitude of the input voltage must never exceed the magnitude of the supply voltage or 15 volts, whichever is less.

⁽³⁾Differential voltages are the non-inverting input terminal voltages with respect to the inverting input terminal.

⁽⁴⁾Short-circuits can cause excessive heating. Destructive dissipation can result from simultaneous short-circuits on all amplifiers.

⁽⁵⁾The output may be shorted to ground or to either supply. Temperature and/or supply voltages must be limited to ensure that the dissipation rating is not exceeded.

⁽⁶⁾Human body model: 100 pF discharged through a 1.5 kΩ resistor between two pins of the device. This is done for all couples of pin combinations with other pins floating.

⁽⁷⁾Machine model: a 200 pF cap is charged to the specified voltage, then discharged directly between two pins of the device with no external series resistor (internal resistor < 5 W). This is done for all couples of pin combinations with other pins floating.

⁽⁸⁾Charged device model: all pins plus package are charged together to the specified voltage and then discharged directly to the ground.

Table 2: Operating conditions

Symbol	Parameter	TL072I, AI, BI	TL072C, AC, BC	Unit
V _{CC}	Supply voltage	6 to 36		V
T _{oper}	Operating free-air temperature range	-40 to +125	0 to +70	°C

- NE555



Product Folder



Sample & Buy



Technical Documents



Tools & Software



Support & Community



NA555, NE555, SA555, SE555

SLF5022I – SEPTEMBER 1973 – REVISED SEPTEMBER 2014

xx555 Precision Timers

1 Features

- Timing From Microseconds to Hours
- Astable or Monostable Operation
- Adjustable Duty Cycle
- TTL-Compatible Output Can Sink or Source Up to 200 mA
- On Products Compliant to MIL-PRF-38535, All Parameters Are Tested Unless Otherwise Noted. On All Other Products, Production Processing Does Not Necessarily Include Testing of All Parameters.

2 Applications

- Fingerprint Biometrics
- Iris Biometrics
- RFID Reader

3 Description

These devices are precision timing circuits capable of producing accurate time delays or oscillation. In the time-delay or mono-stable mode of operation, the timed interval is controlled by a single external resistor and capacitor network. In the a-stable mode of operation, the frequency and duty cycle can be controlled independently with two external resistors and a single external capacitor.

The threshold and trigger levels normally are two-thirds and one-third, respectively, of V_{CC} . These levels can be altered by use of the control-voltage terminal. When the trigger input falls below the trigger level, the flip-flop is set, and the output goes high. If the trigger input is above the trigger level and the threshold input is above the threshold level, the flip-flop is reset and the output is low. The reset (RESET) input can override all other inputs and can be used to initiate a new timing cycle. When RESET goes low, the flip-flop is reset, and the output goes low. When the output is low, a low-impedance path is provided between discharge (DISCH) and ground.

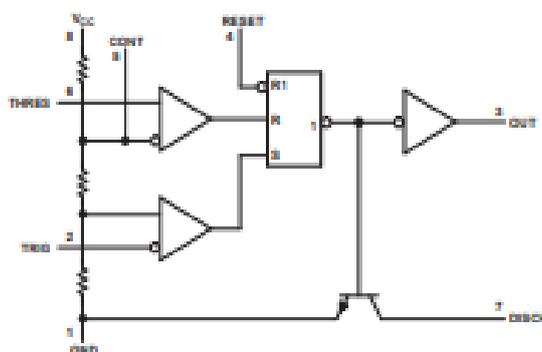
The output circuit is capable of sinking or sourcing current up to 200 mA. Operation is specified for supplies of 5 V to 15 V. With a 5-V supply, output levels are compatible with TTL inputs.

Device Information⁽¹⁾

PART NUMBER	PACKAGE	BODY SIZE (NOM)
xx555	PDIP (8)	9.81 mm × 6.35 mm
	SOP (8)	6.20 mm × 5.30 mm
	TSSOP (8)	3.00 mm × 4.40 mm
	SOIC (8)	4.90 mm × 3.91 mm

(1) For all available packages, see the orderable addendum at the end of the datasheet.

4 Simplified Schematic



An IMPORTANT NOTICE at the end of this data sheet addresses availability, warranty, changes, use in safety-critical applications, intellectual property matters and other important disclaimers. PRODUCTION DATA.

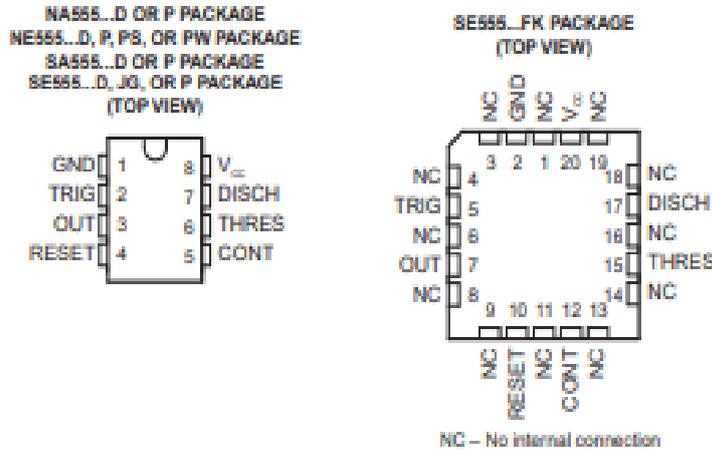


NA555, NE555, SA555, SE555

www.ti.com

SLF50221 – SEPTEMBER 1973 – REVISED SEPTEMBER 2014

6 Pin Configuration and Functions



Pin Functions

NAME	PIN		I/O	DESCRIPTION
	D, P, PS, PW, JG	FK		
	NO.			
CONT	5	12	I/O	Controls comparator thresholds. Outputs 2/3 VCC, allows bypass capacitor connection
DISCH	7	17	O	Open collector output to discharge timing capacitor
GND	1	2	-	Ground
NC		1, 3, 4, 6, 8, 9, 11, 13, 14, 16, 18, 19	-	No internal connection
OUT	3	7	O	High current timer output signal
RESET	4	10	I	Active low reset input forces output and discharge low.
THRES	6	15	I	End of timing input. THRES > CONT sets output low and discharge low
TRIG	2	5	I	Start of timing input. TRIG < 1/2 CONT sets output high and discharge open
Vcc	8	20	-	Input supply voltage, 4.5 V to 18 V. (SE555 maximum is 18 V)



NA555, NE555, SA555, SE555

SLVS023I – SEPTEMBER 1973 – REVISED SEPTEMBER 2014

www.ti.com

7 Specifications

7.1 Absolute Maximum Ratings⁽¹⁾

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT	
V_{CC}	Supply voltage ⁽²⁾		18	V	
V_I	Input voltage	CONT, RESET, THRES, TRIG		V_{CC} V	
I_O	Output current		±225	mA	
θ_{JA}	Package thermal impedance ⁽³⁾⁽⁴⁾	D package	97	°C/W	
		P package	85		
		PS package	95		
		PW package	149		
θ_{JC}	Package thermal impedance ⁽⁵⁾⁽⁶⁾	FK package	5.61	°C/W	
		JG package	14.5		
T_J	Operating virtual junction temperature		150	°C	
	Case temperature for 60 s		FK package	260	°C
	Lead temperature 1.6 mm (1/16 in) from case for 60 s		JG package	300	°C

(1) Stresses beyond those listed under Absolute Maximum Ratings may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under Recommended Operating Conditions is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

(2) All voltage values are with respect to GND.

(3) Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JA} , and T_A . The maximum allowable power dissipation at any allowable ambient temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_A) / \theta_{JA}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

(4) The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51-7.

(5) Maximum power dissipation is a function of $T_J(\text{max})$, θ_{JC} , and T_C . The maximum allowable power dissipation at any allowable case temperature is $P_D = (T_J(\text{max}) - T_C) / \theta_{JC}$. Operating at the absolute maximum T_J of 150°C can affect reliability.

(6) The package thermal impedance is calculated in accordance with MIL-STD-883.

7.2 Handling Ratings

PARAMETER	DEFINITION	MIN	MAX	UNIT
T_{stg}	Storage temperature range	-65	150	°C

7.3 Recommended Operating Conditions

over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)

		MIN	MAX	UNIT	
V_{CC}	Supply voltage	NA555, NE555, SA555	4.5	18	V
		SE555	4.5	18	
V_I	Input voltage	CONT, RESET, THRES, and TRIG		V_{CC} V	
I_O	Output current		±200	mA	
T_A	Operating free-air temperature	NA555	-40	105	°C
		NE555	0	70	
		SA555	-40	85	
		SE555	-65	125	



7.4 Electrical Characteristics

$V_{CC} = 5\text{ V to }15\text{ V}$, $T_A = 25^\circ\text{C}$ (unless otherwise noted)

PARAMETER	TEST CONDITIONS	SE555			NA555 NE555 SA555			UNIT	
		MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX		
THRES voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	9.4	10	10.6	8.8	10	11.2	V	
	$V_{CC} = 5\text{ V}$	2.7	3.3	4	2.4	3.3	4.2		
THRES current ⁽¹⁾			30	250		30	250	nA	
TRIG voltage level	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	4.5	5	5.6	V
			3		6				
TRIG voltage level	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	1.45	1.67	1.9	1.1	1.67	2.2	V
					1.9				
TRIG current	TRIG at 0 V		0.5	0.9		0.5	2	μA	
RESET voltage level	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	0.3	0.7	1	0.3	0.7	1	V	
				1.1					
RESET current	RESET at V_{CC}		0.1	0.4		0.1	0.4	mA	
	RESET at 0 V		-0.4	-1		-0.4	-1.5		
DISCH switch off-state current			20	100		20	100	nA	
DISCH switch on-state voltage	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_D = 8\text{ mA}$					0.15	0.4	V	
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 15\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	9.6	10	10.4	9	10	11	V
			9.6		10.4				
CONT voltage (open circuit)	$V_{CC} = 5\text{ V}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$	2.9	3.3	3.8	2.6	3.3	4	V
			2.9		3.8				
Low-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 10\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.15		0.1	0.25	V
					0.2				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 50\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.4	0.5		0.4	0.75	
					1				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		2	2.2		2	2.5	
					2.7				
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OL} = 200\text{ mA}$		2.5			2.5			
	$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 3.5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$			0.35				
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 5\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.1	0.2		0.1	0.35		
				0.8					
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OL} = 8\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		0.15	0.25		0.15	0.4		
High-level output voltage	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$		13	13.3		12.75	13.3	V	
	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		12						
	$V_{CC} = 15\text{ V}$, $I_{OH} = -200\text{ mA}$			12.5		12.5			
$V_{CC} = 5\text{ V}$, $I_{OH} = -100\text{ mA}$	$T_A = -55^\circ\text{C to }125^\circ\text{C}$		3	3.3		2.75	3.3		
			2						
Supply current	Output low, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		10	12		10	15	mA
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		3	5		3	6	
	Output high, No load	$V_{CC} = 15\text{ V}$		9	10		9	13	
		$V_{CC} = 5\text{ V}$		2	4		2	5	

(1) This parameter influences the maximum value of the timing resistors R_A and R_B in the circuit of Figure 12. For example, when $V_{CC} = 5\text{ V}$, the maximum value is $R = R_A + R_B = 3.4\text{ MD}$, and for $V_{CC} = 15\text{ V}$, the maximum value is 10 MD .



- Transistor BC547



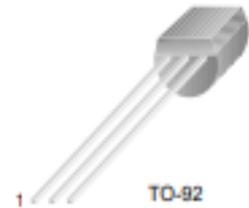
FAIRCHILD
SEMICONDUCTOR*

BC546/547/548/549/550

BC546/547/548/549/550

Switching and Applications

- High Voltage: BC546, $V_{CE0}=65V$
- Low Noise: BC549, BC550
- Complement to BC556 ... BC560



TO-92
1. Collector 2. Base 3. Emitter

NPN Epitaxial Silicon Transistor

Absolute Maximum Ratings $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Value	Units
V_{CB0}	Collector-Base Voltage : BC546	80	V
	: BC547/550	50	V
	: BC548/549	30	V
V_{CE0}	Collector-Emitter Voltage : BC546	65	V
	: BC547/550	45	V
	: BC548/549	30	V
V_{EB0}	Emitter-Base Voltage : BC546/547	6	V
	: BC548/549/550	5	V
I_C	Collector Current (DC)	100	mA
P_C	Collector Power Dissipation	500	mW
T_J	Junction Temperature	150	$^{\circ}C$
T_{STG}	Storage Temperature	-65 - 150	$^{\circ}C$

Electrical Characteristics $T_a=25^{\circ}C$ unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Test Condition	Min.	Typ.	Max.	Units
I_{CBO}	Collector Cut-off Current	$V_{CB}=30V, I_E=0$			15	nA
h_{FE}	DC Current Gain	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	110		800	
$V_{CE(sat)}$	Collector-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		90	250	mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		200	600	mV
$V_{BE(sat)}$	Base-Emitter Saturation Voltage	$I_C=10mA, I_B=0.5mA$		700		mV
		$I_C=100mA, I_B=5mA$		900		mV
$V_{BE(on)}$	Base-Emitter On Voltage	$V_{CE}=5V, I_C=2mA$	580	660	700	mV
		$V_{CE}=5V, I_C=10mA$			720	mV
f_T	Current Gain Bandwidth Product	$V_{CE}=5V, I_C=10mA, f=100MHz$		300		MHz
C_{cb}	Output Capacitance	$V_{CB}=10V, I_E=0, f=1MHz$		3.5	6	pF
C_b	Input Capacitance	$V_{EB}=0.5V, I_C=0, f=1MHz$		9		pF
NF	Noise Figure	: BC546/547/548	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	2	10	dB
		: BC549/550	$f=1KHz, R_G=2K\Omega$	1.2	4	dB
		: BC549	$V_{CE}=5V, I_C=200\mu A$	1.4	4	dB
		: BC550	$R_G=2K\Omega, f=30-15000MHz$	1.4	3	dB

h_{FE} Classification

Classification	A	B	C
h_{FE}	110 - 220	200 - 450	420 - 800

Typical Characteristics

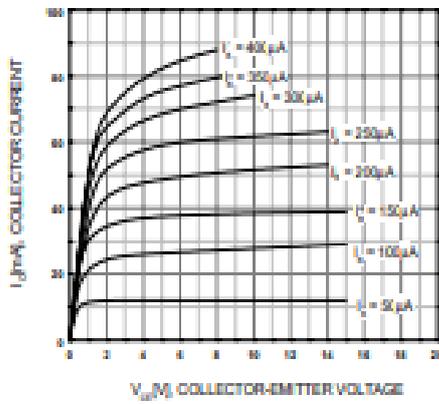


Figure 1. Static Characteristic

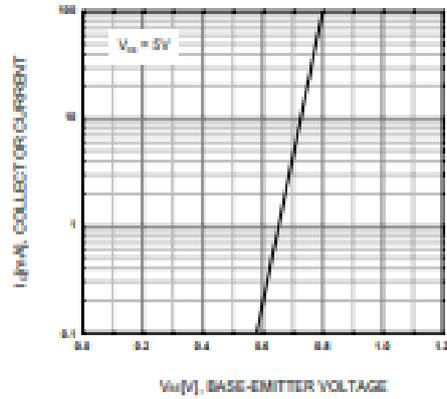


Figure 2. Transfer Characteristic

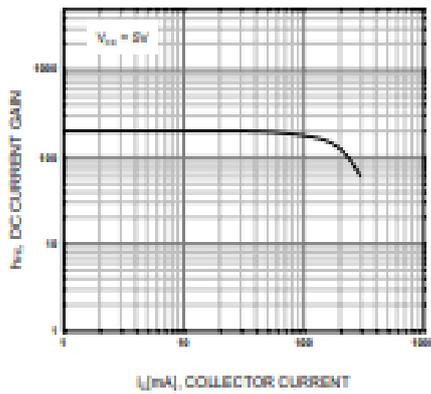


Figure 3. DC current Gain

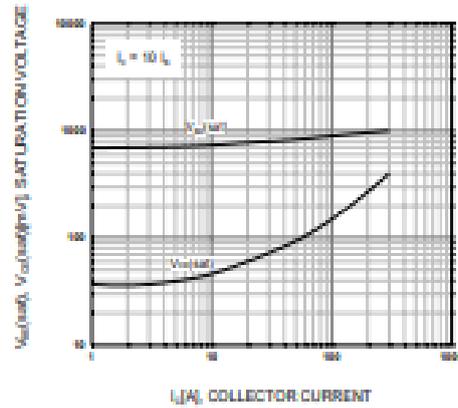


Figure 4. Base-Emitter Saturation Voltage
Collector-Emitter Saturation Voltage

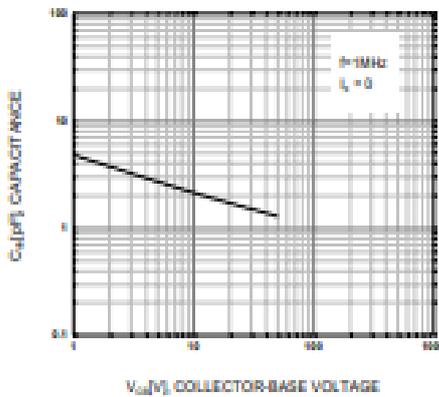


Figure 5. Output Capacitance

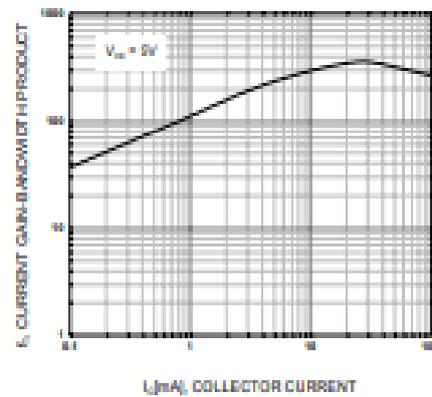


Figure 6. Current Gain Bandwidth Product



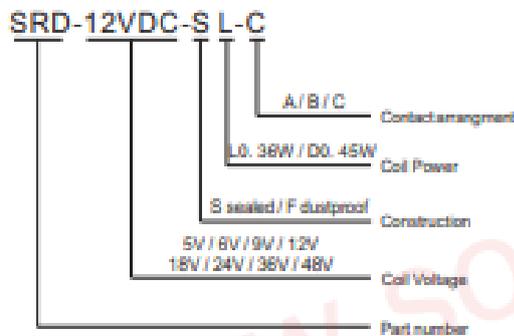
Relay

SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A

Features

- Miniature volume, PCB usage
- Contact rating: 7A/10A/15A
- Temperature range: +85°C/+105°C

Ordering Information



Contact Rating

Contact arrangement	1A (spstnc) / 1B (Spstnc) / 1C (Spdt)
Contact resistance	100mΩ (1A 6VDC)
Contact material	Silver alloy: AgCdO, AgSnO ₂ , AgNi
Contact rating	7A/250VAC / 10A/250VAC / 15A/250VAC
Max switching voltage	250VAC
Max switching current	15A
Max switching power	3750VA
Electrical endurance (frequency: 1000 ops/h)	1x10 ⁷ ops / 1x10 ⁷ ops
Mechanical endurance (frequency: 10000 ops/h)	1x10 ⁷ ops

Characteristics

Insulation system	Class B / Class F	
Insulation resistance	100MΩ (500VDC)	
Dielectric Strength	Between contacts and coil	1500VAC 1minute
	Between open contacts	1000VAC 1minute
Leakage Current (mA)		
Operate time (under nominal voltage)	<10ms	
Release time (under nominal voltage)	<10ms	
Humidity	85% RH (20°C)	
Ambient Temperature	-40°C~+85°C/-40°C~+105°C	
Shock resistance	Functional	98m/s ²
	Destructive	980m/s ²
Vibration resistance (Double amplitude)	10Hz~55Hz 1.5mm	
Weight	Approx 9g	
Construction	Sealed	

Remark: 1) All above data is initial value

Coil Data

(at 20°C)

Power dissipation W	Voltage VDC	Current mA	Resistance Ω ± 10%	Pick-up voltage	Drop-out voltage	Max allowable
0.36W (L)	05	71.4	70	75%Max	10%Min	130%
	06	60	100			
	09	40	225			
	12	30	400			
	18	20	900			
	24	15	1600			
0.45W (D)	05	89.3	55	75%Max	10%Min	130%
	06	75	80			
	09	50	180			
	12	37.5	320			
	18	25	720			
	24	18.7	1280			
	36	12.5	2880			
	48	10	4500			

This product specification only for your reference. we will not notify you if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation



Web: www.songle.com www.songlerelay.com
 Add.: CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code: 315400

SRD Series SUBMINATURE HIGH POWER RELAY 7A/10A/15A

Safety Approval Ratings

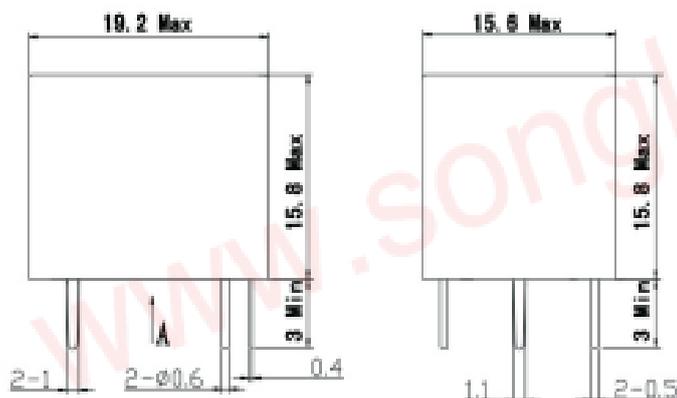
 CQC08002027667
7A 250VAC 10A 250VAC

 R50056114 R50137084
7A 250VAC 10A 250VAC 15A 250VAC ND

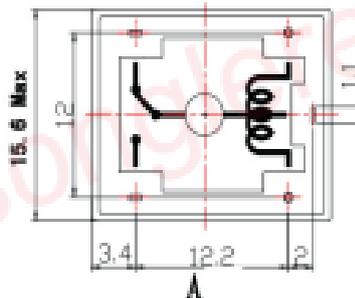
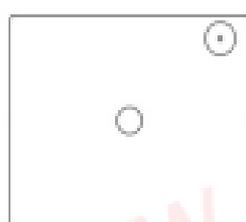
 E167996
3A 125VAC inductive 10A 125VAC 15A 125VAC ND

OUTLINE DIMENSIONS , WIRING DIAGRAM AND PC BOARD LAYOUT Unit:mm

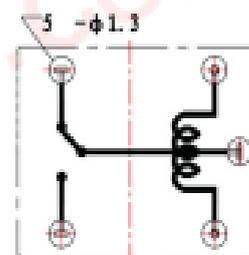
Physical installation diagram



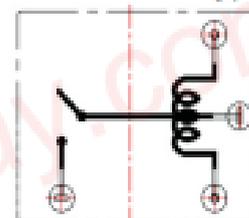
PCB board diagram (bottom view diagram)



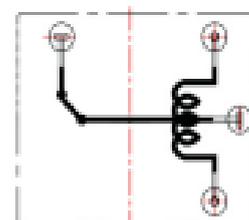
(Bottom view)



Conversion C type



Normally open A type



Normally closed B type

Tolerance: $\pm 0.1\text{mm}$

This product specification only for your reference. we will not notify you if we do any improvement. We reserve all the right for the final explanation



Web: www.songle.com www.songlerelay.com
Add.: CW7, Zone A, Far East Industrial Park, Yuyao City, Zhejiang, China Zip Code: 315400

