

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Budidaya tanaman saat ini sudah berkembang ke arah yang lebih modern. Budidaya tanaman tidak lagi sebatas pada media berupa tanah, namun sudah dapat dilakukan dengan media non-tanah, atau biasa disebut dengan metode hidroponik. Menurut Suhardiyanto^[1], beberapa kelebihan sistem hidroponik dibandingkan dengan media tanah adalah kebersihan yang mudah terjaga, tidak memerlukan pengolahan tanah, penggunaan pupuk dan air yang lebih efisien, tidak tergantung musim, tingkat produktivitas dan kualitas yang tinggi dan seragam, tanaman dapat dikontrol dengan baik, dapat diusahakan di tempat yang tidak terlalu luas.

Teknik budidaya secara hidroponik merupakan model penanaman yang memudahkan pekerjaan. Namun budidaya ini membutuhkan keahlian dan kemampuan khusus. Sistem hidroponik menggunakan air yang mengandung nutrisi. Faktor yang mempengaruhi air nutrisi adalah suhu air, nilai *electrical conductivity* (EC), yaitu kemampuan untuk menghantarkan ion listrik yang ada dalam larutan ke akar tanaman dan potensial hidrogen (pH) atau derajat keasaman yang mempengaruhi daya larut unsur hara yang diserap oleh akar tanaman^[2].

Dutch Bucket System (DBS) adalah teknik bercocok tanam hidroponik yang ditekankan pada sirkulasi dan efisiensi penggunaan air. Pada teknik hidroponik sistem *Dutch Bucket* ini air nutrisi dialirkan nutrisi secara kontinu menuju akar tanaman, kemudian larutan tersebut disirkulasi kembali menuju bak penampung (sirkulasi tertutup) dengan aliran air yang tipis diperakarkan tanaman. Kegiatan budidaya tanaman hidroponik memerlukan pengendalian terhadap konsentrasi larutan nutrisi agar konsentrasi larutan nutrisi tersebut sesuai dengan kebutuhan nutrisi tanaman^[3]. Apabila tingkat nutrisi yang dibutuhkan tidak sesuai, maka tanaman dapat mati secara serentak ataupun terjadi masalah pada pertumbuhannya. Oleh karena itu, perlu adanya pengawasan dan pengontrolan secara berkala dan berkelanjutan untuk mengetahui kondisi air nutrisi yang berhubungan langsung dengan pertumbuhan tanaman, serta kondisi lingkungan tempat tumbuhnya.

Penggunaan alat untuk pengontrolan pada sirkulasi air nutrisi dibutuhkan untuk memudahkan petani hidroponik dimana hasil dari pengukuran pada alat ini diolah menjadi informasi yang dapat digunakan untuk mengetahui kondisi pH air dan nilai PPM tanaman yang akan ditampilkan pada LCD. PPM adalah “Part per Million” atau “Sepersepjuta

Bagian” adalah satuan untuk mengukur kepekatan suatu larutan cair^[4]. Kegunaan PPM dalam sistem hidroponik untuk mengukur tingkat kepekatan larutan nutrisi. Tujuan dari pengukuran kepekatan larutan nutrisi hidroponik diperlukan untuk menyesuaikan kebutuhan nutrisi sesuai dengan fase pertumbuhan tanaman. Penambahan atau peningkatan PPM nutrisi yang diberikan disesuaikan dengan umur tanaman, semakin tua umur tanaman maka semakin tinggi pula PPM yang dibutuhkan^[5].

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan, antara lain sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan *fuzzy logic* pada sistem kontrol menggunakan arduino?
2. Bagaimana cara pengontrolan nutrisi pada sayuran buah hidroponik menggunakan arduino?

1.3 Batasan Masalah

Batasan pembahasan pada penelitian tugas akhir ini antara lain adalah sebagai berikut:

1. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode fuzzy logic.
2. Dalam penelitian ini, desain alat hanya digunakan untuk tanaman sayur buah berupa tomat ceri.
3. Sensor yang digunakan adalah sensor TDS/EC, dan sensor level switch.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini untuk mempermudah kontrol nutrisi pada tanaman sayur buah hidroponik dan menghemat penggunaan larutan nutrisi dengan menerapkan sistem kontrol Arduino berbasis *fuzzy logic*.

1.5 Manfaat Penelitian

Merancang suatu sistem yang berfungsi sebagai pemberian nutrisi pola cocok tanam hidroponik secara otomatis dengan harapan hasil dari perancangan dan realisasi ini dapat dikembangkan lebih jauh sehingga dapat digunakan oleh petani hidroponik.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian dalam pembuatan tugas akhir ini terdiri atas tahapan-tahapan sebagai berikut:

- 1) Studi Literatur
 - a. Mencari literatur serta mengumpulkan data yang berhubungan dengan komponen dan pendukung lainnya yang digunakan.
 - b. Mempelajari teori dasar mengenai sistem kontrol menggunakan arduino berbasis *fuzzy logic* yang akan digunakan dalam pembuatan alat pada tugas akhir ini.
- 2) Pembuatan Hardware

Merancang dan merakit komponen-komponen yang sudah ditentukan menjadi sebuah *prototype*.
- 3) Pengujian dan analisa alat

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui bagaimana pengaruh sistem kontrol arduino berbasis fuzzy logic dalam pemberian nutrisi pada tanaman hidroponik sayur buah berupa tomat ceri.
- 4) Kesimpulan

Pengambilan kesimpulan yang dibuat meliputi evaluasi tahap akhir terhadap pengoperasian dan pengujian sistem kontrol arduino berbasis fuzzy logic pada tanaman hidroponik tomat ceri, serta kelebihan dan kelemahan dari sistem kontrol tersebut.
- 5) Penyusunan Laporan

Laporan dibuat berdasarkan dari seluruh kegiatan telah yang dilakukan, yaitu meliputi evaluasi tahap akhir terhadap pengujian dan pemanfaatan dari sistem kontrol tersebut.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan tugas akhir ini terdiri dari lima bab, yang setiap babnya diberikan penjelasan secara rinci, adapun sistematika penulisan tugas akhir sebagai berikut:

BAB I: PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, permasalahan, pembahasan, tujuan, metodologi penelitian, sistematika penulisan tugas akhir dan jadwal pelaksanaan.

BAB II: TINJAUAN PUSTAKA

Berisi penjelasan mengenai teori penunjang yang dilandaskan dalam mengerjakan tugas akhir ini.

BAB III: PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

Membahas dan menjelaskan sistem perancangan hardware perancangan dalam sistem kontrol arduino berbasis fuzzy logic.

BAB IV: PENGUJIAN DAN ANALISA

Menuglas tentang hasil pengujian masing-masing blok dan keseluruhan sistem yang diperoleh pada penelitian.

BAB V: PENUTUP

Merupakan kesimpulan yang didapat dari penelitian dan saran terhadap hasil yang diperoleh.

1.8 Jadwal Pelaksanaan

Adapun jadwal kegiatan untuk perancangan dan pembuatan alat ini dijadwalkan sebagai berikut:

Tabel 1.1 Jadwal Pelaksanaan Perancangan dan Pembuatan Alat

NO	Kegiatan	Bulan					
		I	II	III	IV	V	VI
1	Pengumpulan data	■					
2	Disain sistem peralatan		■	■			
3	Pembuatan peralatan			■	■		
4	Pengujian peralatan				■	■	■
5	Analisa dari hasil pengujian				■	■	■
6	Pembuatan laporan					■	■

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hidroponik

Dalam bidang pertanian, bioteknologi memberi andil dalam usaha pemenuhan kebutuhan makanan. Beberapa hasil bioteknologi dalam bidang pertanian antara lain kultur jaringan, hidroponik, pembuatan tumbuhan kebal hama dan tumbuhan yang mampu mengikat nitrogen sendiri.

Hidroponik (dalam bahasa Inggris disebut *hydroponic*) berasal dari kata dalam bahasa Yunani yaitu *hydro* yang berarti air dan *ponus* yang artinya daya atau kerja^[6]. Dengan demikian, hidroponik dapat disebut pemberdayaan air sebagai dasar pengembangan tubuh tanaman dan berperan dalam proses fisiologis tanaman^[7]. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI)^[8], hidroponik merupakan cara bercocok tanam tanpa menggunakan tanah, biasanya dikerjakan dalam kamar kaca dengan menggunakan medium air yang berisi zat hara.

Sejarah mencatat bahwa hidroponik sudah dimulai oleh bangsa Babylonia (600 SM) berupa taman gantung (*hangin garden*). Taman gantung ini merupakan hadiah dari Raja Nebukadnezar II untuk istri tercintanya bernama Amytis. Taman gantung ini dibuat secara bertingkat dan tidak semuanya menggunakan media tanah sebagai media tanam. Taman gantung ini dibuat secara bertingkat dan tidak semuanya menggunakan media tanah sebagai media tanam. Seperti halnya bangsa Babylonia, bangsa Cina juga telah mencoba menerapkan cara bercocok tanam tanpa menggunakan media tanah sebagai media tanam. Bangsa Cina menerapkan teknik bercocok tanam yang dikenal dengan “Taman Terapung”. Bahkan di Mesir dan India juga sudah menerapkan cara bercocok tanam yang tidak menggunakan tanah sebagai media tanam. Mereka sudah menggunakan pupuk organik yang mereka gunakan sebagai suplai bahan makan untuk tanaman yang mereka tanam di dalam bedengan pasir yang terletak di tepi sungai, cara bercocok tanam seperti ini dikenal dengan istilah “River Bed Cultivation”^[9].

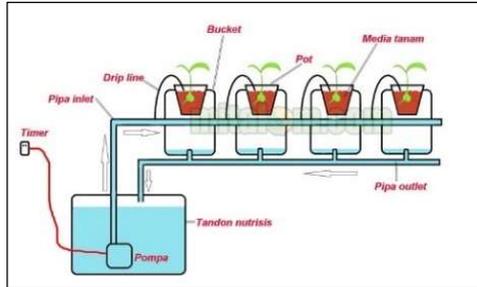
Sistem hidroponik adalah salah satu teknik budidaya tanaman tanpa menggunakan media tanah. Beberapa model dasar hidroponik yang biasa dikembangkan di Indonesia yaitu: Pasang surut (*Ebb and Flow*), Irigasi tetes (*Drips Sistem*), NFT (*Nutrient Film Technique*), DFT (*Deep Flow Technique*), Rakit apung (*Floating*) dan Kultur udara/kabut (*Aeroponic*) (Putra, 2018). Pada penelitian ini penulis menggunakan

hidroponik DBS karena termasuk salah satu sistem yang paling banyak digunakan untuk tanaman buah sayur.

Dutch Bucket System (DBS) merupakan teknik bercocok tanam hidroponik yang ditekankan pada sirkulasi dan efisiensi penggunaan air dimana nutrisi dialirkan dari tandon nutrisi ke media secara terus menerus dan sebagian air nutrisi tersebut kembali ke tandon^[10]. Aplikasi larutan nutrisi pada kultur hidroponik dengan metode *Dutch Bucket* tersebut tanaman ditumbuhkan dalam media tertentu, pada bagian dasar terdapat larutan yang mengandung hara makro dan mikro, sehingga ujung akar tanaman akan menyentuh larutan yang mengandung nutrisi.

Tidak jauh berbeda dengan pendapat Simbolon dan Suryanto, menurut Nurdin SQ^[11] *Dutch Bucket System* dikenal juga dengan sebutan sistem irigasi tetes (Fertigasi) yang mengalirkan nutrisi dari wadah penampung nutrisi ke tanaman dengan cara meneteskan air nutrisi secara berkala. Air yang menetes ke media tanam menggunakan slang fertigasi dan *dripper*, sehingga tanaman dapat menyerap nutrisi secara berkala. Air yang menetes dari wadah tanam kemudian ditampung kembali menuju wadah penampung nutrisi untuk dialirkan kembali ke tanaman secara terus menerus.

Sistem DBS biasanya dimanfaatkan untuk menanam aneka jenis tanaman sayur buah yang memiliki pertumbuhan cukup besar dan dalam jangka waktu cukup lama seperti tomat, cabai, terong, paprika dan melon. Aneka jenis tanaman ini umumnya ditanam dalam wadah yang berukuran lebih besar dibandingkan dengan wadah tanam pada sistem NFT dan DFT yang berupa *net pot*. Sistem ini juga memiliki keunggulan yaitu: (1) perawatan yang mudah, yaitu hanya cukup mengontrol ketersediaan nutrisi; (2) penggunaan air biasa diatur menggunakan pengatur waktu; (3) akar tanaman terjaga kelembapannya; (4) hasil tanaman sangat baik; dan (5) merupakan sistem terbaik untuk bertanam buah-buahan dan sayuran buah yang merambat; (6) Tanaman lebih subur dan produktif, oleh sebab adanya sirkulasi air dan nutrisi yang memungkinkan terdapat lebih banyak oksigen pada larutan nutrisi tersebut dan mudah terserap oleh akar tanaman; (7) Hasil panen bisa terus menerus. Selain itu DBS juga memiliki kelemahan yaitu: (1) tanaman rentan layu ketika listrik mati; (2) rentan terhadap serangan bakteri; (3) penggunaan air nutrisi yang boros, jika tidak dialirkan kembali; (4) memerlukan lahan yang lebih luas dibandingkan dengan sistem lainnya; (5) instalasi tidak mudah dipindah-pindah, terutama saat tanaman berukuran besar atau sudah merambat; (6) penggunaan media tanam padat akan dapat menyumbat sistem sirkulasinya



Gambar 2.1 Dutch Bucket System (*Sistem DBS*)^[13]

2.2 Media Tanam Hidroponik

Media tanam hidroponik berasal dari media anorganik dan organik. Media tanam anorganik adalah media tanam yang sebagian besar komponennya berasal dari benda-benda mati, tidak menyediakan nutrisi bagi tanaman, mempunyai pori-pori makro yang seimbang, sehingga aerasi cukup baik dan tidak mengalami pelapukan dalam jangka pendek. Jenis media tanam anorganik antara lain pasir, kerikil alam, kerikil sintetik, batu kali, batu apung, pecahan bata/genting, perlit, zeolit, spons, dan serabut batuan (*rockwool*)^[13]. Sedangkan, media tanam yang termasuk dalam kategori media tanam organik umumnya berasal dari komponen organisme hidup, misalnya bagian dari tanaman seperti serasah daun, batang, bunga, buah, atau kulit kayu.

Penggunaan media organik sebagai media tanam jauh lebih unggul dibandingkan dengan media anorganik dikarenakan media organik memiliki pori-pori makro dan mikro yang hampir seimbang sehingga sirkulasi udara yang dihasilkan cukup baik serta memiliki daya serap air yang tinggi^[14]. Media tanam organik ini memiliki kekurangan diantaranya sebagai berikut:

- a. kelembapan media cukup tinggi;
- b. rentan serangan jamur, bakteri, maupun virus penyebab penyakit tanaman;
- c. sterilitas media sulit dijamin;
- d. tidak permanen, dengan kata lain hanya dapat digunakan beberapa kali saja sehingga secara rutin harus diganti.

Namun media tanam organik ini juga memiliki kelebihan yaitu kemampuan menyimpan air dan nutrisi tinggi, baik bagi perkembangan mikroorganisme bermanfaat (mikroriza, dll), aerasi optimal (porus), kemampuan menyangga pH tinggi, sangat cocok bagi

perkembangan perakaran, lebih ringan, dan biaya yang digunakan tidak terlalu mahal^[15].

Menurut beberapa penelitian, media tanam yang ideal untuk tanaman adalah media yang bersifat subur, gembur, beraerasi cukup baik, dan berdrainase baik. Pada tahun 1996 telah dilakukan penelitian penggunaan sekam padi sebagai media pembibitan setek teh. Hasil percobaan menunjukkan bahwa campuran yang baik sebagai media tumbuh untuk setek teh adalah 85% sekam padi dicampur dengan 15% topsoil atau 75% sekam padi dicampur 25% topsoil^[16]. Siswadi dan Yuwono^[17] mendapatkan bahwa media tanam campuran arang sekam, pupuk kandang, batang pakis merupakan media tanam hiroponik yang terbaik untuk memberikan pertumbuhan dan hasil tanaman selada (*Lactuca sativa* L). Manipulasi media tumbuh yang tepat adalah dengan membuat komposisi media tanam yang dapat mempertahankan kelembapan dalam waktu relatif lebih lama. Media tanam yang terlalu lembab mengakibatkan akar tanaman rentan terhadap serangan jamur, sedangkan media yang terlalu porous juga tidak baik untuk tanaman karena kekurangan air bisa menyebabkan daun menguning dan keriput^[18].

2.3 Keunggulan dan Kelemahan Hidroponik

Menurut Roidah^[19] berikut adalah keunggulan dan kelemahan teknik hidroponik yaitu sebagai berikut:

- a. Keunggulan Teknik Hidroponik
 - 1) Keberhasilan tanaman untuk tumbuh dan berproduksi lebih terjamin;
 - 2) Perawatan lebih praktis dan gangguan hama lebih terkontrol;
 - 3) Pemakaian pupuk lebih hemat (efisien);
 - 4) Tanaman yang mati lebih mudah diganti dengan tanaman yang baru;
 - 5) Tidak membutuhkan banyak tenaga kasar karena metode kerja lebih hemat dan memiliki standarisasi;
 - 6) Tanaman dapat tumbuh lebih pesat dan dengan keadaan yang tidak kotor dan rusak;
 - 7) Hasil produksi lebih berkelanjutan dan lebih tinggi dibanding dengan penanaman ditanah;
 - 8) Harga jual hidroponik lebih tinggi dari produk non-hidroponik;
 - 9) Beberapa jenis tanaman dapat dibudidayakan di luar musim;
 - 10) Tidak ada resiko banjir, erosi, kekeringan, atau ketergantungan dengan kondisi alam;

- 11) Tanaman hidroponik dapat dilakukan pada lahan atau ruang yang terbatas, misalnya di atap, dapur atau garasi.
- b. Kelemahan Teknik Hidroponik
- 1) Modal awal yang relatif mahal;
 - 2) Memerlukan keterampilan khusus untuk menimbang dan meramu bahan kimia;
 - 3) Ketersediaan dan pemeliharaan perangkat hidroponik agak sulit;
- Selain itu Purbajanti et. al.^[20] menyebutkan kelemahan dari teknik hidroponik adalah:
- 1) Biaya untuk membangun atau membeli sebuah taman hidroponik relatif mahal;
 - 2) Biaya untuk mempertahankan taman hidroponik (terutama larutan hara) relatif mahal;
 - 3) Memerlukan keterampilan khusus dalam mengelola air, hara, dan tingkat pH.
 - 4) Biaya listrik untuk menjalankan pompa air relatif mahal;
 - 5) Kemungkinan tanaman mengering jika ada kegagalan pompa atau listrik.

2.4 Tomat Ceri

Tomat (*Lycopersicon esculentum*) merupakan salah satu jenis sayuran buah karena yang bisa dimakan yaitu bagian buahnya. Tomat berpotensi menyehatkan dan bernilai ekonomis tinggi, namun memerlukan penanganan serius. Tomat berasal dari Amerika Selatan, tumbuh liar di Ekuador, Chile, Peru, dan Kepulauan Galapagos. Tomat pertama kali dibudidayakan oleh suku Aztec dan Maya di daerah sekitar Amerika Selatan^[21]. Tomat mengandung Vitamin C, Vitamin A, Vitamin B, Vitamin K, zat besi, kalium, fosfor, protein, dan kalori. Manfaat tomat pada tubuh kita adalah antara lain menjaga kesehatan mata dan jantung, melawan kanker usus besar dan kanker prostat, menghambat sel kanker serviks, menjaga kesehatan hati dan ginjal, menurunkan kadar kolesterol, membantu mengurangi berat badan, menghaluskan kulit mengobati sembelit, mengatasi jerawat dan komedo, dan masih banyak lagi^[22]. Penelitian epidemiologis terbaru telah menyarankan konsumsi tomat (*Lycopersicon esculentum*) sebagai sumber antioksidan alami untuk mengurangi risiko kanker pada manusia^[23]. Senyawa antioksidan dalam buah tomat adalah likopen. Likopen adalah karotenoid yang berwarna merah dengan sifat sebagai antioksidan^[24]. Hasil produksi rata-rata tomat di Indonesia masih sangat rendah yaitu 6,3 ton/ha, dibandingkan dengan

negara lain seperti Taiwan sebesar 21 ton/ha, Saudi Arabia sebesar 13,4 ton/ha dan India sebesar 9,5 ton/ha^[25].

Produktivitas tomat di Indonesia sangat rendah menempati urutan ke 21 di dunia dengan menyumbang kurang dari 4% akan kebutuhan tomat dunia. Angka ini merupakan angka yang sangat kecil mengingat bahwa Indonesia adalah negara agraris yang merupakan sentra pertanian besar. Kecilnya produktivitas tomat di Indonesia dikarenakan keterbatasan lahan untuk tomat, varietas tanam yang tidak cocok, kultur teknis yang kurang baik, pemberantasan hama dan penyakit yang kurang efisien dan kurangnya pengetahuan petani akan teknologi yang mampu meningkatkan produktivitas tomat^[26]. Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas tomat adalah dalam penyediaan benih unggul. Seringkali petani tidak mendapatkan benih yang baik dan berkelanjutan sehingga tomat yang ditanam juga tidak maksimal sedangkan permintaan pasar akan tomat semakin lama semakin meningkat seiring bertambahnya konsumen. Oleh karena itu perlu penanganan yang tepat dalam budidaya tanaman tomat.

Tomat memiliki banyak varian yang berhasil dibudidayakan di seluruh dunia. Umumnya didasarkan pada ketinggian tanaman, penampilan dan kegunaannya. Berdasarkan ketinggian tanaman, varian tomat dibagi menjadi 3 (tiga) golongan utama, yaitu:

a. *Determinate*

Golongan ini merupakan yang terpendek diantara tanaman tomat, yakni hanya berkisar antara 50-80 cm saja. Golongan ini tidak bisa tumbuh tinggi karena ujung tanamannya diakhiri dengan rangkaian bunga. Jenis ini relatif memiliki umur sangat pendek sehingga dapat cepat dipanen.

b. *Intermediate*

Tomat dengan golongan ini termasuk relatif tinggi dan dapat tumbuh hingga mencapai 2 meter. Namun demikian, meskipun batang tanamannya relative tinggi umurnya hanya berkisar 4 bulan saja.

c. *Hybrida*

Golongan ini merupakan hasil persilangan antara golongan *determinate* dengan *intermediate* karena merupakan persilangan antara keduanya, varietas ini memiliki sifat dari keduanya.

Selain dikelompokkan berdasarkan bentuk fisik tanamannya, varian tomat juga banyak ditentukan berdasarkan bentuk buah dan juga kegunaannya. Ada 5 (lima) jenis buah tomat berdasarkan bentuk buahnya menurut Wiryanta^[27] yaitu:

- a. Tomat biasa (*Lycopersicum esculentum* Mill, var. *commune* Bailey) yang mempunyai bentuk bulat yang tidak teratur, sedikit beralur terutama didekat tangkai.
- b. Tomat apel atau pir (*Lycopersicum esculentum* Mill, var. *pyriforme* Alef) yang mempunyai ciri yaitu berbentuk bulat, kuat (kompak) dan sedikit keras seperti buah apel atau pir.
- c. Tomat kentang (*Lycopersicum esculentum* Mill, var. *grandifonium* Bailey) yang mempunyai ciri buahnya bulat besar, padat dan kompak, dan ukuranya lebih besar dari pada tomat apel.
- d. Tomat tegak (*Lycopersicum esculentum* Mill, var. *Validium* Alef) yang mempunyai ciri buahnya berbentuk agak lonjong dan teksturnya keras. Sementara itu daunnya rimbun, betuknya keriting, dan berwarna kelam.
- e. Tomat ceri (*Lycopersicum esculentum* Mill, var. *cerasiforme* (Dun) Alef) yang mempunyai ciri buahnya berukuran kecil berbentuk bulat atau bulat memanjang, warnanya merah atau kuning.

Tomat ceri merupakan salah satu varian tomat yang banyak dikonsumsi oleh masyarakat terutama masyarakat menengah ke atas. Tomat ini banyak dikonsumsi karena bentuknya yang kecil dan unik sehingga mudah untuk dimakan sebagai camilan, rasanya yang manis, dan juga kandungannya yang baik untuk tubuh. Permintaan akan tomat ceri semakin lama semakin besar karena penampilan yang unik, rasa yang manis dan kadungannya yang bernutrisi. Klasifikasi tomat ceri adalah sebagai berikut:

Divisio	: <i>Spermatophyta</i>
Sub division	: <i>Angiosperma</i>
Kelas	: <i>Dicotyledonae</i>
Subkelas	: <i>Metachlamidae</i>
Ordo	: <i>Tubiflorae</i>
Famili	: <i>Solanaceae</i>
Genus	: <i>Lycopersicum</i>
Spesies	: <i>Lycopersicum esculentum</i> var. <i>cerasiforme</i>



Gambar 2.2 Tomat Ceri^[27]

Budidaya tanaman hidroponik tomat ceri merupakan peluang usaha yang saat ini masih terbuka cukup lebar karena tergolong baru. Tomat ceri menjadi pilihan karena rasanya yang manis, crispy, berwarna merah dan ukurannya mini. Tanaman tomat ceri bisa dipanen 2-3 bulan dan pemeliharaannya ringan dan mudah. Hasil keuntungan bisa mencapai 50-150% dari biaya produksi yang dikeluarkan dalam setiap musim. Salah satu cara untuk meningkatkan produktivitas tomat ceri dalam rangka memenuhi kebutuhan pasar adalah dengan penyediaan benih tomat ceri yang unggul secara berkelanjutan. Tomat ceri yang berkualitas baik memiliki ciri-ciri warna yang tetap (tidak belang-belang), memiliki kulit buah yang halus, dan paling tidak berwarna kemerahan. Tomat ceri merupakan tanaman annual berbentuk perdu dengan tinggi mencapai 2-3 meter atau lebih, mempunyai batang bulat dan lunak. Batang tanaman sewaktu masih muda mudah patah, sedangkan setelah tua menjadi keras hamper berkayu dan seluruh permukaan batangnya berbulu halus. Tanaman tomat ceri memiliki pertumbuhan batang *indeterminate*, yaitu pertumbuhannya tidak diakhiri dengan rangkaian bunga atau buah, arah pertumbuhannya vertikal, periode panen buahnya panjang atau buahnya dapat dipanen sepanjang musim, dan habitus tanaman umumnya tinggi dan akan lemah bila tidak ditopang.

Ciri fisik tomat ceri yaitu berukuran lebih kecil dari tomat sayur, berdiameter 3-6 cm dengan berat 20-50 gram, dan berwarna merah cerah sampai kekuningan tergantung jenisnya. Berat segar tomat ceri yang berkualitas baik pada umumnya berkisar pada 10-20 gram. Tomat ceri mengandung berbagai zat yang berguna untuk tubuh salah satunya zat antioksidan. Zat lain yang terdapat dalam tomat yaitu alkaloid, saponin, asam folat, asam malat, asam sitrat, asam pantothenat, asam salisilat, asam coumaric, asam chlorogenic, bioflavonoid, likopen, adenine, biotin, trigonelline, kholin, mineral (Ca, Mg, P, K, Na, Fe, sulfur, klorin), vitamin (A, B1, B2, B6, C, E, K, Niasin), histamine, protein, lemak, gula, dan serat.

Tingkat konsumsi tomat ceri masih berada di bawah tomat lokal mengingat kegunaannya yang terbatas dan kurangnya pengetahuan masyarakat umum tentang kelebihan tomat ceri, hal ini menyebabkan masih tingginya harga tomat ceri di pasar dikarenakan masih rendahnya jumlah produsen serta kuantitas produksinya di Indonesia. Tomat ceri dapat tumbuh optimal pada tempat bersuhu 24-30 °C, penyinaran matahari selama 10-12 jam, kelembapan 80%, dan berada pada ketinggian 1000-1200 mdpl atau pada keadaan terkontrol dapat tumbuh pada ketinggian 100-600 mdpl. Varietas hibrida tomat ceri sudah banyak dikembangkan, beberapa contoh dari hibrida unggulan di Indonesia yang sudah banyak digunakan oleh petani yaitu varietas Fortuna, Victory, Cosmonot, dan Sweety (jenis tomat ceri). Kebutuhan hara untuk tomat ceri termasuk cukup tinggi yaitu sebesar 120 kg N, 150 kg P₂O₅, 100 kg K₂O per ha^[28]. Jenis tomat ceri banyak dibudidayakan dalam *greenhouse* karena lebih rentan penyakit dan rentan terpapar lingkungan secara langsung sehingga perlu perawatan khusus untuk mendapatkan produksi yang optimal. Tingginya kebutuhan hara untuk pertumbuhan tanaman tomat menyebabkan petani lebih memilih pupuk kimia berdosisi tinggi, faktanya dalam beberapa situasi penggunaan pupuk organik dapat dipertimbangkan sebagai pengganti pupuk kimia. Tomat ceri termasuk ke dalam jenis sayuran superfood, yaitu bahan makanan yang mengandung nutrisi lengkap sehingga baik untuk pola makan diet atau untuk tujuan Kesehatan. Tomat ceri memiliki kelengkapan dan kadar gizi lebih tinggi dibandingkan dengan jenis tomat lainnya ditinjau dari segi asam amino, senyawa fenol, beta karotin, dan antioksidan.

2.5 Parameter Berpengaruh terhadap Pertumbuhan Tanaman

Beberapa faktor yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman pada budidaya dengan teknik hidroponik adalah sebagai berikut:

a. Suhu dan kelembapan lingkungan

Pertumbuhan tanaman akan optimal apabila suhu dan kelembapan sesuai dengan kebutuhan tanaman. Setiap tanaman memiliki kemampuan adaptasi yang berbeda-beda terhadap suhu dan kelembapan sesuai dengan asal tumbuhnya.

Suhu dan kelembapan sangat dipengaruhi oleh lama penyinaran dan radiasi matahari. Energi panas matahari merupakan faktor yang sangat penting dan memiliki pengaruh besar terhadap suhu di dalam rumah tanaman. Radiasi matahari juga berpengaruh terhadap perkembangan morfologi tanaman, dimana semakin banyak energi matahari yang diserap akan berpengaruh terhadap perkembangan akar

tanaman. Daun pada tanaman yang tumbuh di daerah penuh cahaya akan lebih tebal dan sempit dibandingkan tanaman yang tumbuh di tempat naungan.

b. Konduktifitas listrik atau *Electrical Conductivity* (EC)

EC adalah nilai yang menunjukkan kualitas larutan nutrisi. Angka EC menunjukkan jumlah garam terlarut dalam larutan nutrisi. Nilai EC ditunjukkan pada skala microsiemen (μS) atau *millisiemens* (mS). Range EC pada setiap tanaman untuk setiap fase pertumbuhan dan juga setiap jenis tanaman berbeda beda. Nilai EC yang tinggi mengakibatkan tanaman tidak dapat menyerap unsur hara karena konsentrasi garam yang tinggi dapat merusak akar tanaman dan mengganggu serapan air nutrisi, selain itu pengaruh nilai EC mempengaruhi serapan unsur hara^[29].

Nilai EC berpengaruh pada kecepatan penyerapan unsur hara oleh tanaman, semakin besar nilai EC maka semakin cepat penyerapan unsur hara oleh tanaman dan sebaliknya jika nilai EC semakin kecil maka penyerapan unsur hara akan lambat. Untuk larutan nutrisi yang diberikan pada tanaman tomat mempunyai nilai EC berkisar antara 2–2.5 mhos/cm. Bila EC kurang dari 2 mhos/cm harus dinaikkan dengan cara menambah nutrisi. Bila EC lebih dari 2.5 mhos/cm sebaiknya diturunkan secara bertahap dengan cara penyiraman dengan air saja^[30]. Sedangkan untuk proses penanaman hidroponik tomat ceri membutuhkan nilai EC yang berbeda-beda pada setiap fase yaitu fase pertumbuhan, fase pembungaan, dan fase pematangan.



Gambar 2.3 Jumlah Kebutuhan Nutrisi Tomat Setiap Fase^[30]

Berdasarkan penelitian^[31] nilai EC yang baik untuk pertumbuhan tomat ceri adalah 1,3 mS/cm dibandingkan dengan perlakuan pada nilai EC 1,5 mS/cm dan nilai EC 2 mS/cm, karena pada nilai EC tersebut tinggi tanaman tomat ceri mencapai tinggi maksimal. Pada minggu ke-9 tinggi maksimal tomat ceri pada perlakuan EC 1,3 mS/cm setinggi 130,3 cm,

EC 1,5 mS/cm setinggi 111 cm, EC 1,7 mS/cm setinggi 78,7 cm dan EC 2 mS/cm setinggi 78,3 cm. Sedangkan jumlah maksimal daun tomat ceri pada EC 1,3 mS/cm berjumlah 190 helai, EC 1,5 mS/cm berjumlah 141 helai, EC 1,7 mS/cm berjumlah 105 helai, dan EC 2 mS/cm berjumlah 98 helai.

c. Potensial hidrogen (pH)

pH (*Power of Hydrogen*) adalah derajat keasaman yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan yang dimiliki oleh suatu larutan^[31]. Konsep pH pertama kali diperkenalkan oleh kimiawan Denmark Soren Peder Lauritz Sorensen pada tahun 1909. Alat ukur keasaman pada air digunakan untuk mengukur kandungan pH atau kadar keasaman pada air mulai dari pH 0 sampai pH 14. Dimana pH normal memiliki nilai 6,5 hingga 7,5 sementara bila nilai pH < 6.5 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat asam sedangkan nilai pH > 7.5 menunjukkan zat tersebut memiliki sifat basa. pH 0 menunjukkan derajat keasaman yang tinggi, dan pH 14 menunjukkan derajat kebasaan tertinggi. Derajat keasaman (pH) yang ideal berkisar 6.0-6.5, pH yang lebih tinggi atau lebih rendah akan menyebabkan kekurangan hara atau dapat menimbulkan keracunan pada tanaman^[32].

d. Air

Air merupakan unsur dalam alam yang sangat penting bagi semua makhluk hidup termasuk tanaman. Tanaman memerlukan air untuk bertahan hidup dan selalu berkembang menghasilkan pohon yang lebih tinggi, menghasilkan buah, daun dan biji dengan sempurna. Tanpa adanya air, pertumbuhan tanaman akan terhambat dan menjadi kerdil. Kandungan air yang ada di dalam tanaman sekitar 80 persen dari berat keruh tanaman. Itulah mengapa air menjadi komponen dalam tanaman yang tidak dapatabaikan. Bahkan apabila akar tidak dapat menemukan air dalam jangka waktu lama, tanaman dapat mengering dan kemudian mati karena kekurangan air. Selain itu, air merupakan komponen utama dalam proses fotosintesis dan transpirasi pada tanaman. Air menjadi faktor utama untuk sistem hidroponik karena air merupakan media pembawa nutrisi. Nutrisi untuk tanaman biasanya diberikan bersamaan dengan aliran air karena sifat dari nutrisi yang larut dalam air.

e. Nutrisi

Pertumbuhan tanaman hidroponik dipengaruhi juga oleh nutrisi. Nutrisi hidroponik ini adalah pupuk hidroponik lengkap yang mengandung semua unsur hara makro dan mikro yang diperlukan tanaman hidroponik. Pupuk tersebut diformulasi secara khusus sesuai dengan jenis dan fase pertumbuhan tanaman. Pupuk tanaman sayur untuk

hidroponik dikenal dengan sebutan AB Mix. Hal ini disebabkan pupuk ini terdiri atas dua kelompok, yaitu stock A dan stock B. Larutan stock A mengandung unsur Ca yang dalam keadaan pekat tidak boleh dicampur dengan sulfat dan fosfat yang terdapat dalam larutan stock B agar tidak menimbulkan endapan. Pupuk AB Mix untuk masing-masing tanaman berbeda, namun secara umum dibagi menjadi dua kelompok besar, yaitu pupuk AB Mix untuk sayuran daun dan AB Mix untuk sayuran buah. Cara untuk membuat larutan nutrisi hidroponik AB Mix dapat dijelaskan pada gambar 10. Dari hasil pembuatan larutan tersebut, larutan pekatan AB Mix A akan berwarna hijau kecoklatan sedangkan larutan pekatan AB Mix B akan berwarna putih keruh. Setelah larutan pekatan dibuat, tempat dan cara penyimpanannya perlu menjadi perhatian khusus. Wadah penyimpanan dimana pekatan larutan ditampung sebaiknya tidak terkena sinar matahari langsung atau disimpan di tempat yang gelap dan sejuk. Hal ini untuk mencegah pekatan larutan terkontaminasi lumut dan jamur yang dapat menyerang akar tanaman sehingga menyebabkan penyakit busuk akar.



Gambar 2.4 Pembuatan Larutan Nutrisi Hidroponik AB Mix^[34]

Pembuatan nutrisi untuk tanaman hidroponik nilainya berbeda-beda, pada tomat ceri sebesar 1400-3500 ppm. Cara menaikkan PPM larutan nutrisi yaitu setiap penambahan 1 ml pekatan A dan 1 ml pekatan B dalam setiap liter larutan nutrisi yang sudah ada akan menaikkan ppm sekitar 130 poin. Atau setiap kenaikan 100 ppm perlu tambahan 0.75 ml nutrisi A dan 0.75 ml nutrisi B untuk setiap liter larutan nutrisi yang sudah ada. Contohnya jika sudah punya 5 liter larutan nutrisi dengan kepekatan 500 ppm dan mau menaikkannya menjadi 700 ppm maka harus menambahkan (5×1.5) ml pekatan A dan (5×1.5) ml pekatan B. jadi harus menambah 7.5 ml pekatan A dan 7.5 ml pekatan B ke dalam 5 liter larutan tersebut^[34].

Tabel 2.1 Kebutuhan Nutrisi Tanaman Hidroponik^[34]

Nama Tanaman	PPM Max	pH	Masa Panen (Hari)
Pakcoy	1050 - 1400	7	40 - 60
Kangkung	1050 - 1400	5,5 - 6,5	28
Sawi	1050 - 1400	5,5 - 6,5	40 - 60
Cabe	1260 - 1540	6,0 - 6,5	40 - 70
Bayam	1260 - 1610	6,0 - 7,0	25
Seledri	1260 - 1680	6,5	120 - 150
Tomat	1400 - 3500	6,0 - 6,5	63
Selada	560 - 840	6,0 - 7,0	65 - 90
Melon	1400 - 1750	5,5 - 6,0	74
Brokoli	1050 - 1400	6,5 - 7,0	75
Terong	1750 - 2450	6,0	60

Unsur hara diambil tanaman dalam jumlah dan konsentrasi tertentu sesuai kebutuhan. Untuk mendapatkan pertumbuhan tanaman yang baik khususnya dalam sistem hidroponik, tanaman harus mendapatkan kebutuhan unsur makro (C, H, O, N, P, K, Ca, Mg, S) dan unsur mikro (Fe, Cl, Mn Zn, B, Mo). Unsur C, H, O diperoleh tanaman dari udara sedangkan unsur lain diperoleh dalam bentuk larutan. Komposisi larutan hara hidroponik dipertahankan konstan pada kisaran pH 5.5-6.5 dengan menambahkan larutan asam atau basa. Tinggi rendahnya nilai pH akan mempengaruhi ketersediaan beberapa mineral yang diperlukan oleh tanaman. Unsur hara yang terkandung di dalam larutan hara sama dengan nilai konduktivitas listrik larutannya. Semakin tinggi nilai EC maka semakin banyak unsur hara yang terkandung di dalam larutan, yang diartikan bahwa kemampuan larutan dalam menghantarkan ion-ion listrik ke akar tanaman semakin meningkat^[35].

2.6 Sensor TDS

TDS (*total dissolved solid*) yaitu jumlah material yang terlarut di dalam air. Material ini dapat berupa karbonat, bikarbonat, klorida, sulfat, fosfat, nitrat, kalsium, magnesium, natrium, ion-ion organik, senyawa koloid dan lain-lain. TDS menggambarkan jumlah zat terlarut dalam part

permillion (ppm) atau sama dengan milligram per liter (mg/L). Umumnya berdasarkan defenisi diatas seharusnya zat yang terlarut dalam air (larutan) harus dapat melalui saringan yang berdiameter 2 micrometer (2×10^{-6} meter). Konsentrasi TDS yang terionisasi dalam suatu zat cair mempengaruhi konduktivitas listrik zat cair tersebut. Makin tinggi konsentrasi TDS yang terionisasi dalam air, makin besar konduktivitas listrik larutan tersebut. Sementara konsentrasi TDS juga dipengaruhi oleh temperature. TDS meter merupakan alat standar yang digunakan untuk menggambarkan jumlah zat terlarut dalam ppm atau sama dengan miligram per liter (mg/l) yang ditunjukkan berupa angka digital display-nya. Menurut Martani et. al.^[36] pembagian kategori air menurut total zat padat yang terkandung di TDS adalah > 100 ppm: air minum bermineral, 10–100 ppm: air minum, 1–10 ppm: air murni, dan 0 ppm: air organik. Pengaplikasian alat yang umum digunakan adalah untuk mengukur kualitas cairan biasanya untuk pengairan, pemeliharaan aquarium, kolam renang, proses kimia, pembuatan air mineral^[67]. Pada dasarnya TDS meter mengukur EC (Konduktivitas Listrik) dari larutan yang diuji. Menurut Garai et. al.^[37] ppm tidak dapat diukur secara akurat oleh TDS atau EC meteran sehingga digunakan konversi nilai TDS terhadap EC, rumus yang digunakan adalah:

$$EC = \frac{ppm}{500} \dots \dots \dots (2.1)$$

dengan:

EC = Konduktivitas Listrik

PPM = Jumlah nilai TDS

500 = Jumlah total zat garam terlarut (NaCl)

Menurut Irawan^[38] terdapat dua macam metode yang digunakan untuk mengukur kualitas suatu larutan. Untuk mengukur TDS, metode analisa yang digunakan adalah:

a. Gravimetri

Metode gravimetri merupakan metode pengukuran TDS yang paling akurat dan melibatkan penguapan cairan pelarut untuk meninggalkan residu yang kemudian dapat ditimbang dengan menggunakan presisi analitis saldo (biasanya mampu mengukur dengan keakuratan 0,0001 gram). Metode ini umumnya adalah metode yang terbaik, walaupun memerlukan banyak waktu dan mengakibatkan ketidaktepatan jika proporsi TDS tinggi yang terdiri atas titik didih bahan kimia

organik yang rendah, yang akan menguap bersama dengan air. Dalam keadaan paling umum garam anorganik terdiri dari sebagian besar TDS, dan metode gravimetri sesuai untuk digunakan sebagai pemeriksaannya.

b. *Electrical Conductivity*

Konduktivitas listrik air secara langsung berhubungan dengan konsentrasi padatan terlarut yang terionisasi dalam air. Ion dari konsentrasi padatan terlarut dalam air menciptakan kemampuan pada air untuk menghasilkan arus listrik, yang dapat diukur dengan menggunakan konvensional konduktivitas meter atau TDS meter. Semakin banyak bahan (mineral logam maupun nonlogam) dalam air maka hasil pengukuran akan semakin besar. Sebaliknya, bila sangat sedikit bahan yang terkandung dalam air maka hasilnya mendekati nol, atau disebut air murni. Prinsip kerjanya dengan menghubungkan 2 buah probe ke larutan yang diukur, kemudian dengan rangkaian pemrosesan sinyal akan mengeluarkan output yang menunjukkan besar konduktivitas/ daya hantar listrik sampel air tersebut.

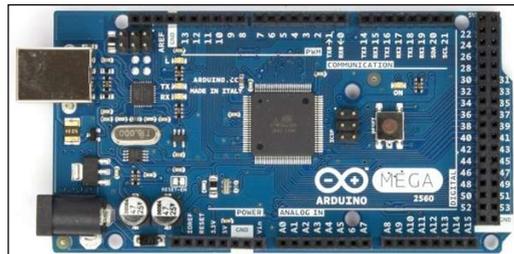


Gambar 2.5 Sensor TDS dan Module^[39]

2.7 Arduino Mega 2560

Arduino adalah board berbasis mikrokontroler atau papan rangkaian elektronik open source yang di dalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR dari perusahaan Atmel. Mikrokontroler itu sendiri adalah chip atau IC (*integrated circuit*) yang bisa diprogram menggunakan computer. Tujuan menanamkan program pada mikrokontroler adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output sesuai yang diinginkan. Jadi mikrokontroler bertugas sebagai otak yang mengendalikan proses input, dan output sebuah rangkaian elektronik.

Pada gambar 2.6 merupakan jenis Arduino Mega type 2560, Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega2560 Board ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog input, 4 pin *UART* (*serial port hardware*). Arduino Mega 2560 dilengkapi dengan sebuah *oscillator* 16 Mhz, sebuah *port USB*, *power jack DC*, *ICSP header*, dan tombol reset. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler.



Gambar 2.6 Arduino Mega 2560^[41]

Untuk dapat mengaktifkan Arduino Mega 2560 cukup dengan menghubungkannya ke komputer melalui kabel USB atau *power* dihubungkan dengan adaptor AC-DC atau baterai. Arduino Mega 2560 beroperasi pada tegangan 5 volt. Setiap *pin* dapat memberikan atau menerima arus maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal (yang terputus secara *default*) sebesar 20-50 kOhms.

Arduino mega 2560 memiliki tombol *reset* yang dihubungkan dengan *ground* berfungsi ketika tombol *reset* ditekan saat terjadi *error* menjalankan program pada Arduino maka otomatis program akan kembali pada keadaan *standby*. Arduino mega 2560 memiliki pengalamanan suatu input dan output diantaranya adalah *pinMode* (*pin*, *mode*). Berfungsi untuk menetapkan mode *input* atau *output* dari suatu *pin*. *Digital Read* (*pin*) berfungsi untuk menetapkan *pin* sebagai *input* dengan menggunakan kode *HIGH* (5 Volt) atau *LOW* (0 Volt). *Digital Write* (*pin*, *value*) berfungsi untuk menetapkan *pin* sebagai *output* dengan menggunakan kode *HIGH* (5 Volt) atau *LOW* (0 Volt).

2.7.1 Spesifikasi Arduino Mega 2560

Spesifikasi pada modul Arduino Mega 2560 dapat dijelaskan pada tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.2 Spesifikasi Arduino Mega 2560^[41]

Keterangan	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega2560
Tegangan Operasi	5V
Tegangan Input (yang disarankan menggunakan jack DC)	7V - 12V
Tegangan (batas, menggunakan jack DC)	6V – 20V
Digital I/O pin	54 buah, 14 diantaranya pin PWM
Analog Input pin	16 buah
Arus DC per I/O pin	20 mA
Arus DC pin 3.3V	50 mA
Memori Flash	256 KB, 8 KB digunakan untuk bootloader
SRAM	8 KB
EEROM	4 KB
Clock Speed	16 Mhz
LED BUILTIN	13
Dimensi	101.5 mm x 53.3 mm
Berat	37 g

2.7.2 Catu Daya

Arduino Mega dapat bertenaga melalui koneksi USB atau dengan catu daya eksternal. Sumber dipilih secara otomatis. Daya eksternal (non-USB) daya bisa datang baik dari adaptor AC ke DC atau baterai. Adaptor ini dapat dihubungkan dengan memasang konektor center-positif 2.1 mm ke soket daya *board*. *Lead* dari baterai dapat dimasukkan ke dalam *header pin* Gnd dan Vin pada konektor *power*.

Board dapat beroperasi pada suplai eksternal 6 00 20 volt. Jika dipasang dengan kurang dari 7V, pin 5V dapat memasok kurang dari 5V dan *board* mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan akan terlalu panas dan bisa merusak *board*. Daya kisaran yang di sarankan adalah 7V – 12V.

Beberapa penjelasan tentang konfigurasi *pin* Arduino Mega 2560 berdasarkan gambar 2.7 adalah sebagai berikut:

- VIN. Tegangan masukan ke *board* Arduino saat menggunakan sumber daya eksternal (berlawanan dengan 5 volt dari koneksi USB

atau sumber listrik yang diatur lainnya). anda dapat mensuplai voltase melalui pin ini atau bisa melalui colokan listrik, akseslah pin ini.

- 5V. catu daya yang diatur digunakan untuk menyalakan mikrokontroler dan komponen lainnya di papan tulis. Ini bisa datang baik dari VIN melalui regulator *on board*, atau disediakan oleh USB atau suplai 5V yang diatur lainnya.
- 3V3 pasokan 3,3 Volt yang dihasilkan oleh regulator *on board*. Maksimum saat ini adalah 50 mA.
- GND. *Ground pins* atau massa.
- IOREF merupakan *pin* pada papan Arduino yang berfungsi untuk memberikan referensi tegangan yang beroperasi pada mikrokontroler.
- 16 *pin* sebagai *input* atau *output* analog yaitu *pin* A0 sampai dengan A15.
- 54 *pin* sebagai *input* atau *output* digital yaitu *pin* D0 sampai dengan D53 tetapi ada 15 *pin* untuk *output* PWM.

2.7.3 Memori

ATmega 2560 memiliki memori flash 256 KB untuk menyimpan kode (dimana 8 KB digunakan untuk *bootloader*), 8KB SRAM dan 4KB dari EEPROM (yang dapat dibaca dan ditulis dengan *library* EEPROM).

2.7.4 Input dan Output

Masing – masing dari 54 pin digital pada Arduino Mega 2560 dapat digunakan sebagai input atau output, dengan menggunakan fungsi *pinMode ()*, *digitalWrite ()*, dan *digitalRead ()* fungsi. Mereka beroperasi pada 5 volt. Setiap pin dapat menyediakan atau menerima maksimum 40 mA dan memiliki resistor *pull-up* internal (terputus secara default) 20–50 KOHms. Selain itu, beberapa pin memiliki fungsi khusus:

1. Serial: 0 (RX) dan 1 (TX); serial 1: 19 (RX) dan 18 (TX); serial 2: 17 (RX) dan 16 (TX); Serial 3: 15 (RX) dan 14 (TX). Digunakan untuk menerima (RX) dan mengirimkan (TX) data serial TTL. Pin 0 dan 1 juga dihubungkan ke pin pin ATmega8U2 USB-to-TTL serial yang sesuai.
2. Interupsi Eksternal: 2 (interupsi 0), 3 (interupsi 1), 18 (interupsi 5), 19 (interupsi 4), 20 (interupsi 3), dan 21 (interupsi 2). Pin ini dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi pada nilai rendah, tepi naik atau turun, atau perubahan nilai. Lihat fungsi *AttachInterrupt ()* untuk rinciannya.

3. PWM: 0 sampai 13. Sediakan output PWM 8 bit dengan fungsi *analogWrite ()*.
4. SPI: 50 (MISO), 51 (MOSI), 52 (SCK), 53 (SS). Pin ini mendukung komunikasi SPI dengan menggunakan perpustakaan SPI. Pin SPI juga terputus pada *header* ICSP, yang secara fisik kompatibel dengan Uno, *Duemilanove* dan *Diecimila*.
5. LED: 13. Ada LED *built-in* yang terhubung ke pin digital 13. Bila pin bernilai tinggi, LED menyala, bila pinnya RENDAH, tidak menyala.
6. I2C: 20 (SDA) dan 21 (SCL). Dukung komunikasi I2C (TWI) menggunakan *library Wire* (dokumentasi di situs Wiring). Perhatikan bahwa pin ini tidak berada di lokasi yang sama dengan pin I2C pada *Duemilanove* atau *Diecimila*.

Arduino Mega 2560 memiliki 16 input analog, masing – masing memberikan resolusi 10 bit (yaitu 1024 nilai yang berbeda). Secara default mereka mengukur dari *ground* ke 5 volt, meskipun apakah mungkin untuk mengubah ujung atas jangkauan mereka menggunakan fungsi AREF pin dan *analogReference ()*. Ada beberapa pin lainnya di papan tulis:

1. AREF. Tegangan referensi untuk input analog. Digunakan dengan *analog Reference ()*.
2. Reset. Bawa garis *LOW* untuk me-*reset* mikrokontroler. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol *reset* ke *shields* yang menghalangi di papan tulis.

2.7.5 Komunikasi

Arduino Mega2560 memiliki sejumlah fasilitas untuk berkomunikasi dengan komputer, Arduino lain, atau mikrokontroler lainnya. ATmega2560 menyediakan empat UART hardware untuk TTL (5V) komunikasi serial. Sebuah ATmega8U2 pada saluran salah satu papan atas USB dan menyediakan *port com virtual* untuk perangkat lunak pada komputer (mesin Windows akan membutuhkan file .inf, tapi OSX dan Linux mesin akan mengenali papan sebagai port COM secara otomatis).

Perangkat lunak Arduino termasuk monitor serial yang memungkinkan data tekstual sederhana yang akan dikirim ke dan dari papan. The RX dan TX LED di papan akan berkedip ketika data sedang dikirim melalui ATmega8U2 Chip dan USB koneksi ke komputer (tapi tidak untuk komunikasi serial pada pin 0 dan 1).

Sebuah perpustakaan *Software Serial* memungkinkan untuk komunikasi serial pada setiap pin digital Mega2560 ini. ATmega 2560

juga mendukung I2C (TWI) dan komunikasi SPI. Perangkat lunak Arduino termasuk perpustakaan Kawat untuk menyederhanakan penggunaan bus I2C. Untuk komunikasi SPI, menggunakan perpustakaan SPI.

2.7.6. Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) adalah sebuah *software* (perangkat lunak) yang berfungsi untuk membuat, memodifikasi, dan melakukan perubahan pada program yang akan di *download* ke dalam Arduino, program tersebut berisi *source code* yang berfungsi dalam menjalankan perintah-perintah pada suatu sistem yang dibuat. Perintah yang diberikan akan dijalankan melalui *input* atau *output pin* pada Arduino, dimana pin tersebut memiliki berbagai macam fungsi yang disesuaikan dengan kebutuhan suatu sistem yang akan dijalankan. Arduino IDE merupakan suatu *compiler* yang menggunakan bahasa C dimana telah dimodifikasi, sehingga dapat memudahkan pengguna dalam melakukan proses pembuatan suatu *source code*. Selain itu, didalam Arduino IDE juga terdapat berbagai macam contoh program atau *source code* yang dapat diterapkan kedalam sistem yang sedang dibuat. Contoh program atau *source code* ini disebut *library*.

Arduino IDE juga memiliki fitur serial monitor, dimana fitur ini berfungsi untuk menampilkan data serial dari proses yang sedang berjalan pada Arduino. Fitur ini sangat berguna dalam melakukan proses trouble shooting pada *source code* yang sedang dibuat, sehingga apabila terdapat kesalahan didalam *source code* maka dapat dilihat dari data serial yang dikirimkan oleh Arduino ke komputer yang menampilkan proses program sedang berjalan pada Arduino. Selain itu, masih banyak lagi fitur yang terdapat pada Arduino IDE yang berfungsi untuk memudahkan pengguna dalam penggunaan software ini.

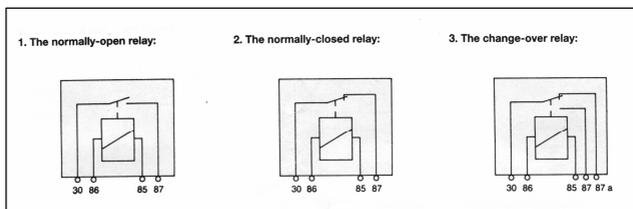


Gambar 2.7 Tampilan Arduino IDE^[42]

2.8. Relay

Relay adalah komponen elektronika berupa saklar elektronik yang digerakkan oleh arus listrik. Pada prinsipnya, relay merupakan saklar dengan lilitan kawat pada batang besi (solenoid) di dekatnya. Ketika solenoid dialiri arus listrik, tuas akan tertarik karena adanya gaya magnet yang terjadi pada solenoid sehingga kontak saklar akan menutup. Ketika arus dihentikan, gaya magnet akan hilang sehingga tuas akan kembali ke posisi semula dan kontak saklar kembali terbuka. Relay biasanya digunakan untuk menggerakkan arus/tegangan yang besar (misalnya peralatan listrik 4 ampere AC 220 V) dengan memakai arus/tegangan yang kecil (misalnya 0.1 ampere 12 Volt DC). Relay yang paling sederhana ialah relay elektromekanis yang memberikan pergerakan mekanis saat mendapatkan energi listrik.

Pada pemakaiannya relay yang digerakkan dengan arus DC dilengkapi dengan sebuah diode yang diparalel dengan lilitannya dan dipasang terbalik yaitu anoda pada tegangan (-) dan katoda pada tegangan (+). Hal ini bertujuan untuk mengantisipasi sentakan listrik yang terjadi pada saat relay berganti posisi dari on ke off sehingga tidak merusak komponen di sekitarnya. Pada umumnya relay yang ditemui hanya memiliki tiga kondisi, yaitu *normally open* (NO), *normally close* (NC), dan *change-over* (CO). Kondisi NO akan terjadi ketika relay diberi tegangan maka saklar akan terbuka. Kondisi NC merupakan kebalikan dari NO dimana saklar akan tertutup ketika relay diberi tegangan. Sedangkan kondisi CO merupakan kondisi dimana relay akan mengubah posisi saklar ketika diberi tegangan.



Gambar 2.8 Kondisi Relay ketika Normally Open (NO), Normally Close (NC), dan Change-Over (CO)^[43]

2.9 Pompa Air

Pompa air adalah suatu peralatan mekanik yang digerakkan oleh tenaga mesin yang digunakan untuk memindahkan cairan (fluida) dari suatu tempat ke tempat lain, dimana cairan tersebut hanya mengalir

apabila terdapat perbedaan tekanan. Pompa juga dapat diartikan sebagai alat untuk memindahkan energi dari pemutar atau penggerak ke cairan ke bejana yang bertekanan yang lebih tinggi. Selain dapat memindahkan cairan pompa juga berfungsi untuk meningkatkan kecepatan, tekanan dan ketinggian cairan.

Dalam penelitian ini pompa air berguna untuk memompa air yang ada di dalam bak penampung. Pompa air yang digunakan adalah pompa aquarium. Pompa dikontrol secara otomatis melalui *microcontroller* yang dihubungkan ke relay.

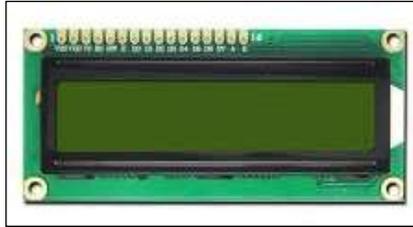


Gambar 2.9 Pompa Air Aquarium^[44]

2.10 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD adalah suatu jenis media tampilan yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD (*liquid crystal display*) bisa memunculkan gambar atau dikarenakan terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari satu buah kristal cair sebagai titik cahaya. Meskipun disebut sebagai titik cahaya, namun kristal cair ini tidak memancarkan cahaya sendiri.

Sumber cahaya di dalam sebuah perangkat LCD (*liquid crystal display*) adalah lampu neon berwarna putih dibagian belakang susunan kristal cair tadi. Titik cahaya yang jumlahnya puluhan ribu bahkan jutaan inilah yang membentuk tampilan citra. Kutub kristal cair yang dilewati arus listrik akan berubah karena pengaruh polarisasi medan magnetik yang timbul, oleh karena itu hanya membiarkan beberapa warna diteruskan sedangkan warna lainnya tersaring. LCD dibagi menjadi dua bagian yaitu bagian depan panel LCD yang terdiri dari banyak dot atau titik LCD dan mikrokontroler yang menempel pada bagian belakang panel LCD yang berfungsi untuk mengatur titik-titik LCD sehingga dapat menampilkan huruf, angka, dan simbol khusus yang dapat terbaca.



Gambar 2.10 Liquid Crystal Display 2x16 Tampak Depan^[45]



Gambar 2.11 Liquid Crystal Display 2x16 Tampak Belakang^[45]

Pada umumnya LCD ini memiliki 16 pin yang terdiri dari delapan pin jalur data (D0-D7), tiga pin jalur kontrol (RS, E, dan RW), pin sumber tegangan dan ground, sebuah pin driver LCD dan dua pin *backlight*. Tabel berikut menunjukkan konfigurasi dari pin-pin LCD tersebut.

Tabel 2.3 Konfigurasi Pin LCD^[46]

Pin	Simbol	Fungsi
1	GND	<i>Data bus line 7 (MSB) Power supply (GND)</i>
2	Vcc	<i>Data bus line 6 Power supply (+5V)</i>
3	VO	Pengaturan kontras LCD
4	RS	<i>Register Select, H = Baca, L = instruksi</i>
5	R/W	<i>Read/Write, H = Baca, L = tulis</i>
6	E	<i>Enable Signal</i>

Tabel 2.3 Lanjutan

Pin	Simbol	Fungsi
7	D0	Data Bit 0
8	D1	Data Bit 1
9	D2	Data Bit 2
10	D3	Data Bit 3
11	D4	Data Bit 4
12	D5	Data Bit 5
13	D6	Data Bit 6
14	D7	Data Bit 7
15	A ⁺	Tegangan Positif <i>Backlight</i>
16	A ⁻	Tegangan Negatif <i>Backlight</i>

Keterangan:

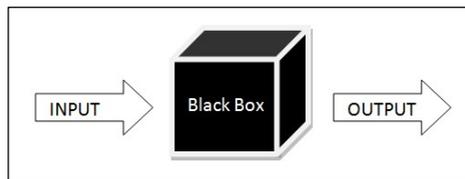
- a. Pin nomor 4 (RS) merupakan Register Selector yang berfungsi untuk memilih Register Kontrol atau Register Data. Register kontrol digunakan untuk mengkonfigurasi LCD. Register Data digunakan untuk menulis data karakter ke memori display LCD.
- b. Pin nomor 5 (R/W) digunakan untuk memilih aliran data apakah *READ* ataukah *WRITE*. Karena kebanyakan fungsi hanya untuk membaca data dari LCD dan hanya perlu menulis data saja ke LCD, maka kaki ini dihubungkan ke GND (*WRITE*).
- c. Pin nomor 6 (*ENABLE*) digunakan untuk mengaktifkan LCD pada proses penulisan data ke Register Kontrol dan Register Data LCD.

2.11 Logika Fuzzy (Fuzzy Logic)

2.11.1 Pengertian Logika Fuzzy

Logika *fuzzy* adalah suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* kedalam suatu ruang *output*. Logika fuzzy pertama dikenalkan oleh Prof. Lotfi Asker Zadeh dari Universitas California

Berkeley pada tahun 1965. Logika *fuzzy* merupakan suatu metode pengambilan keputusan berbasis aturan yang digunakan untuk memecahkan keabu-abuan masalah pada sistem yang sulit dimodelkan atau memiliki ambiguitas. Dasar logika fuzzy adalah teori himpunan *fuzzy*. Logika *fuzzy* memiliki derajat keanggotaan dalam rentang 0 (nol) hingga 1 (satu). Logika *fuzzy* dapat mengolah nilai yang tidak pasti berupa batasan, seperti “sangat”, “sedikit”, dan “kurang lebih”. Komputer tidak dapat memahami nilai asli dari nilai tidak pasti tersebut. Dengan logika *fuzzy*, komputer dapat mengolah ketidakpastian tersebut sehingga dapat digunakan untuk memutuskan sesuatu yang membutuhkan kepintaran manusia dalam penalaran.



Gambar 2.12 Diagram Blok Logika *Fuzzy* sebagai Black Box^[47]

Pada gambar 2.13 logika *fuzzy* dapat dianggap sebagai kotak hitam yang berhubungan antara ruang *input* menuju ruang *output*. Kotak hitam yang dimaksudkan adalah metode yang dapat digunakan untuk mengolah data *input* menjadi *output* dalam bentuk informasi yang baik. Berikut beberapa alasan penggunaan logika *fuzzy* yaitu:

- a. Konsep logika *fuzzy* mudah dimengerti
- b. Penggunaan logika *fuzzy* yang fleksibel
- c. Logika *fuzzy* mampu memodelkan fungsi-fungsi nonlinear yang sangat kompleks
- d. Tidak perlu adanya proses pelatihan untuk memodelkan pengetahuan yang dimiliki oleh pakar
- e. Logika *fuzzy* didasari pada bahasa sehari-hari sehingga mudah dimengerti.

2.11.2 Himpunan *Crisp* dan Himpunan *Fuzzy*

Himpunan *Crisp* biasa disebut juga himpunan tegas yaitu suatu kumpulan dari objek-objek yang didefinisikan secara jelas. Artinya obyek-obyek tersebut dapat ditentukan dengan jelas keberadaannya. Obyek yang ada dalam himpunan itu disebut elemen atau anggota himpunan. Pada umumnya, himpunan disimbolkan dengan alfabet kecil.

Notasi “ $a \in A$ ” dibaca a anggota himpunan A dan notasi “ $a \notin A$ ” a bukan anggota himpunan A . Suatu elemen himpunan tegas A (misal a) hanya mempunyai dua kemungkinan, yaitu termasuk dan tidak termasuk pada himpunan A . Dua kemungkinan tersebut direpresentasikan pada bilangan biner 0 dan 1. Jika $a \in A$ maka elemen tersebut bernilai 1. Jika $a \notin A$ maka elemen tersebut bernilai 0. Nilai atau derajat keanggotaan suatu himpunan tegas dinotasikan dengan $\mu(x)$. Jika x termasuk dalam himpunan A maka $\mu(x) = 1$, dan jika sebaliknya maka $\mu(x) = 0$ ^[39].

Contoh 2.1.

Jika $S = \{Pepaya, Mangga, Apel, Anggur\}$ maka dapat dikatakan bahwa $\mu(Mangga) = 1$ karena $Mangga \in S$, $\mu(Apel) = 1$ karena $Apel \in S$, dan $\mu(Buah) = 0$ karena $Buah \notin S$.

Himpunan *fuzzy* merupakan perkembangan dari himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* adalah himpunan yang anggotanya memiliki derajat keanggotaan bilangan real pada selang $[0,1]$.

Definisi 2.1

Suatu himpunan *fuzzy* pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan nilai fungsi keanggotaan pada interval $[0,1]$.

Suatu himpunan *fuzzy* A pada himpunan semesta U dapat dinyatakan dengan himpunan pasangan terurut elemen x dan nilai keanggotaannya. Secara matematis pernyataan tersebut dapat ditulis dengan:

$$A = \{(x, \mu_A(x) | x \in U)\} \dots \dots \dots (2.2)$$

Definisi 2.2

Misalkan U adalah himpunan tak kosong. Himpunan *fuzzy* A di himpunan universal U didefinisikan dengan fungsi keanggotaan

$$\mu_A: U \rightarrow [0,1] \dots \dots \dots (2.3)$$

dan $\mu_A(x)$ menyatakan derajat keanggotaan dari elemen pada himpunan *fuzzy* untuk setiap $x \in U$. Apabila suatu elemen x dalam suatu himpunan A memiliki derajat keanggotaan *fuzzy* 0 atau dapat ditulis $\mu_A(x) = 0$ artinya x bukan anggota himpunan A , dan jika memiliki derajat keanggotaan *fuzzy* 1 atau $\mu_A(x) = 1$ artinya x merupakan anggota penuh dari himpunan A .

Dengan kata lain himpunan *fuzzy* merupakan himpunan pasangan berurutan dengan elemen pertama adalah elemen himpunan sedangkan elemen kedua adalah derajat keanggotaan dari elemen himpunan tersebut. Himpunan *fuzzy* juga dapat dinyatakan dalam bentuk fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan (*membership function*) adalah fungsi yang memasangkan setiap anggota himpunan dengan tepat suatu derajat

keanggotaan atau dapat disebut dengan derajat keanggotaan berupa suatu bilangan pada selang antara 0 sampai dengan 1.

Contoh 2.2.

Suatu himpunan *fuzzy* TINGGI dapat disusun dengan fungsi keanggotaan TINGGI sebagai berikut:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x < 150 \\ \frac{x-150}{10}; & 150 \leq x \leq 160 \\ 1; & x > 160 \end{cases}$$

Seseorang yang memiliki tinggi badan 158 cm merupakan anggota himpunan TINGGI dengan $\mu_{TINGGI}(158) = 0,8$ dapat pula diartikan secara verbal tinggi badannya mendekati tinggi. Seseorang yang memiliki tinggi badan 152 cm merupakan anggota himpunan TINGGI dengan $\mu_{TINGGI}(152) = 0,2$ dapat pula diartikan secara verbal tinggi badannya kurang tinggi. Seseorang yang memiliki tinggi badan 165 cm merupakan anggota himpunan TINGGI dengan $\mu_{TINGGI}(165) = 1$ dan seseorang yang memiliki tinggi badan 145 cm bukan merupakan anggota himpunan TINGGI dengan $\mu_{TINGGI}(145) = 0$.

Himpunan *fuzzy* memiliki dua atribut, yaitu:

1. Linguistik, yaitu penamaan suatu grup yang mewakili suatu keadaan atau kondisi tertentu dengan menggunakan bahasa alami seperti: Dekat, Sedang, Jauh.
2. Numeris, yaitu suatu nilai (angka) yang menunjukkan ukuran dari suatu variabel seperti: 25, 35, 40 dan sebagainya.

Ada beberapa hal yang perlu diketahui dalam memahami sistem *fuzzy*, yaitu:

a. Variabel *fuzzy*

Variabel *fuzzy* merupakan variabel yang hendak dibahas dalam suatu sistem *fuzzy*, contoh: kecepatan dan jarak.

b. Himpunan *fuzzy*

Himpunan *fuzzy* merupakan suatu grup yang mewakili suatu kondisi atau keadaan tertentu dalam suatu variabel *fuzzy*. Contohnya adalah variabel jarak terbagi menjadi tiga himpunan *fuzzy*, yaitu: Dekat, Sedang, Jauh.

c. Semesta Pembicaraan

Semesta pembicaraan adalah keseluruhan nilai yang diperbolehkan untuk dioperasikan dalam suatu variabel *fuzzy*. Semesta

pembicaraan merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai semesta pembicaraan dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Pada suatu kondisi tertentu nilai semesta pembicaraan ini tidak dibatasi batas atasnya.

Contoh:

1. Semesta pembicaraan untuk variabel kecepatan [0 100]
2. Semesta pembicaraan untuk variabel jarak [0 20]

d. Domain

Domain himpunan *fuzzy* adalah keseluruhan nilai yang diijinkan dalam semesta pembicaraan dan boleh dioperasikan dalam suatu himpunan *fuzzy*. Seperti halnya semesta pembicaraan, domain merupakan himpunan bilangan *real* yang senantiasa naik (bertambah) secara monoton dari kiri ke kanan. Nilai domain dapat berupa bilangan positif maupun negatif. Contoh domain himpunan *fuzzy*:

1. DEKAT = [0, 5]
2. SEDANG = [7, 10]
3. JAUH = [15, 20]

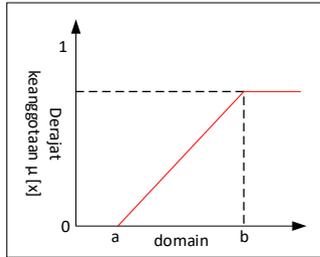
2.11.3 Fungsi Keanggotaan

Fungsi Keanggotaan (*membership function*) adalah suatu kurva yang menunjukkan pemetaan titik-titik input data ke dalam nilai keanggotaannya (derajat keanggotaan) yang memiliki interval antara 0 sampai 1. Salah satu cara yang dapat digunakan untuk mendapatkan nilai keanggotaan adalah dengan melalui pendekatan fungsi. Beberapa fungsi yang bisa digunakan sebagai berikut:

a. Representasi linier

Pemetaan input ke derajat keanggotaannya digambarkan sebagai suatu garis lurus. Terdapat 2 bentuk, yaitu representasi linear naik dan turun. Pada kurva representasi linear naik, himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan [0] dan bergerak ke kanan menuju domain dengan derajat keanggotaan yang lebih tinggi, seperti pada gambar 25 dan untuk fungsi keanggotaan dapat dijelaskan pada persamaan 2.4.

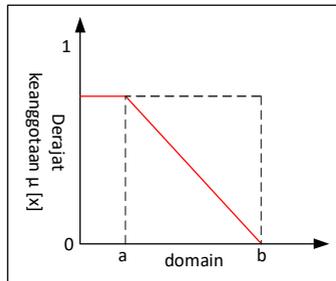
$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots \dots \dots (2.4)$$



Gambar 2.13 Fungsi Keanggotaan Representasi Naik^[48]

Pada kurva representasi linear turun, himpunan dimulai pada nilai domain yang memiliki derajat keanggotaan [1] dan bergerak ke kanan menuju domain dengan derajat keanggotaan yang lebih rendah seperti pada gambar 2.15 dan untuk fungsi keanggotaan dapat dijelaskan pada persamaan 2.5.

$$\mu(x) = \begin{cases} 1; & x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; & a \leq x \leq b \\ 0; & x \geq b \end{cases} \dots \dots \dots (2.5)$$

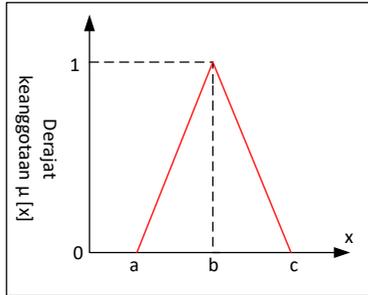


Gambar 2.14 Fungsi Keanggotaan Representasi Turun^[48]

b. Representasi kurva segitiga

Representasi kurva segitiga merupakan gabungan antara 2 garis (linear) seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16 dan untuk fungsi keanggotaan dapat dijelaskan pada persamaan 2.6.

$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x-a)/(b-a); & a \leq x \leq b \\ (b-x)/(c-b); & b \leq x \leq c \end{cases} \dots \dots \dots (2.6)$$

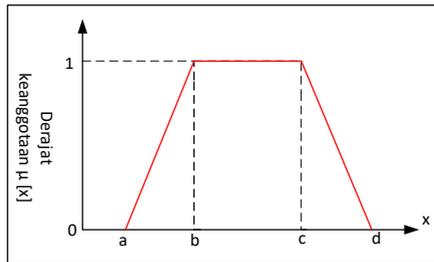


Gambar 2.15 Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva Segitiga^[48]

c. Representasi kurva trapesium

Representasi kurva trapesium menyerupai bentuk segitiga, namun memiliki beberapa titik dengan derajat keanggotaannya 1 seperti pada gambar 2.17 dan untuk fungsi keanggotaan dapat dijelaskan pada persamaan 2.7.

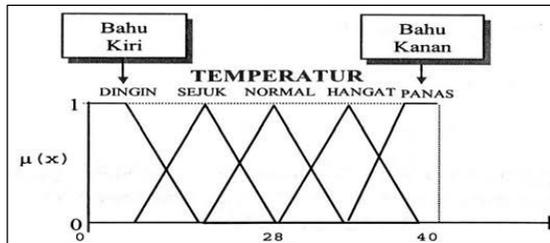
$$\mu(x) = \begin{cases} 0; & x \leq a \text{ atau } x \geq d \\ (x - a)/(b - a); & a \leq x \leq b \\ 1; & b \leq x \leq c \\ (d - x)/(d - c); & x \geq d \end{cases} \dots \dots (2.7)$$



Gambar 2.16 Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva Trapesium^[48]

d. Representasi kurva bentuk bahu

Daerah yang terletak pada sisi kanan dan kiri yang tidak mengalami perubahan, digunakan untuk mengakhiri variabel suatu daerah *fuzzy*. Pada bahu kiri kurva bergerak dari benar ke salah, dan pada bahu kanan kurva bergerak dari salah ke benar. Berikut fungsi keanggotaan representasi kurva bentuk bahu seperti pada gambar 2.18.



Gambar 2.17 Fungsi Keanggotaan Representasi Kurva Bentuk Bahu^[48]

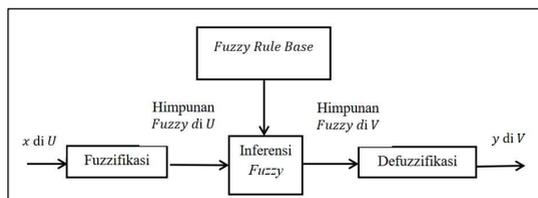
2.11.4 Sistem Fuzzy

Sistem *fuzzy* merupakan sistem berdasarkan aturan himpunan *fuzzy*. Beberapa keistimewaan sistem *fuzzy*, yaitu:

- Sistem *fuzzy* cocok digunakan pada sistem pemodelan karena variabelnya bernilai *real*.
- Sistem *fuzzy* menyediakan kerangka yang digunakan untuk menggabungkan aturan-aturan *fuzzy* jika-maka yang bersumber dari pengalaman manusia.
- Terdapat berbagai pilihan dalam menentukan *fuzzifier* dan *defuzzifier* sehingga dapat diperoleh sistem *fuzzy* yang paling sesuai dengan model.

Elemen dasar dalam sistem *fuzzy*:

- Basis kaidah (*rule base*), berisi aturan-aturan secara linguistic yang bersumber dari para pakar.
- Mekanisme pengambil keputusan (*inference engine*), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*).
- Proses fuzzifikasi (*fuzzification*), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai *fuzzy*.
- Proses defuzzifikasi (*defuzzification*), yaitu mengubah nilai *fuzzy* hasil inferensi menjadi nilai tegas.



Gambar 2.18 Susunan Sistem Fuzzy^[49]

Penjelasan tahapan sistem *fuzzy* adalah sebagai berikut:

1. Fuzzifikasi

Fuzzifikasi didefinisikan sebagai pemetaan dari himpunan tegas ke himpunan *fuzzy*. Kriteria yang harus dipenuhi pada proses fuzzifikasi adalah semua anggota pada himpunan tegas harus termuat dalam himpunan *fuzzy*, tidak terdapat gangguan pada input sistem *fuzzy* yang digunakan harus bisa mempermudah perhitungan pada sistem *fuzzy*.

2. Aturan Fuzzy

Aturan yang digunakan pada himpunan *fuzzy* adalah aturan *if-then*. Aturan *fuzzy IF-THEN* merupakan pernyataan yang direpresentasikan dengan

$$IF < proporsi fuzzy > THEN < proporsi fuzzy > \dots \dots \dots (2.8)$$

Proposisi *fuzzy* dibedakan menjadi dua, proposisi *fuzzy atomic* dan proposisi *fuzzy compound*. Proposisi *fuzzy atomic* adalah pernyataan single dimana x sebagai variabel linguistik dan A adalah himpunan *fuzzy* dari x . Proposisi *fuzzy compound* adalah gabungan dari proposisi *fuzzy atomic* yang dihubungkan dengan operator “or”, “and”, dan “not”^[49].

Contoh 2.3.

x is P , x is Q , dan x is R adalah contoh dari proporsi *fuzzy atomic*. x is P or x is not R dan x is Q and x is R adalah contoh dari proposisi *fuzzy compound*.

Secara sederhana mendefinisikan aturan *fuzzy* sebagai:

$$IF x_1 \text{ is } A_1^k \text{ and } A_2^k \dots THEN y^k \text{ is } B^k \dots \dots \dots (2.9)$$

untuk $k = 1, 2, \dots, n$, A_1^k dan A_2^k menyatakan himpunan *fuzzy* pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan *fuzzy* konsekuen ke- k .

3. Inferensi Fuzzy

Inferensi *fuzzy* merupakan tahap evaluasi pada aturan *fuzzy*. Tahap evaluasi dilakukan berdasarkan penalaran dengan menggunakan input *fuzzy* dan aturan *fuzzy* sehingga diperoleh *output* berupa himpunan *fuzzy*. Macam inferensi *fuzzy* yaitu metode Mamdani, Tsukamoto dan Sugeno yang sering digunakan dalam berbagai penelitian.

4. Defuzzifikasi

Defuzzifikasi merupakan proses yang berkebalikan dengan proses pada fuzzifikasi. Wang (1997) mendefinisikan defuzzifikasi sebagai pemetaan dari himpunan *fuzzy* ke himpunan tegas. Himpunan *fuzzy* yang dimaksud adalah hasil *output* yang diperoleh dari hasil inferensi. Pada proses defuzzifikasi ada tiga kriteria yang harus dipenuhi yaitu masuk

akal, perhitungannya sederhana dan kontinu. Beberapa metode yang digunakan untuk proses defuzzifikasi yaitu metode Centroid, Metode Bisektor, Metode *Mean of Maximum* (MOM), metode *Largest of Maximum* (LOM), metode *Smallest of Maximum* (SOM).

2.11.5 Metode Mamdani

Metode Mamdani pertama kali diperkenalkan oleh Ibrahim Mamdani pada tahun 1975. Metode ini merupakan metode yang paling sederhana dan paling sering digunakan untuk penelitian dibandingkan metode yang lain. Input dan output pada metode mamdani berupa himpunan fuzzy. Metode Mamdani menggunakan fungsi implikasi min dan agregasi max sehingga metode Mamdani juga disebut dengan metode MIN-MAX (min-max inferencing). Keluaran untuk aturan metode Mamdani didefinisikan sebagai

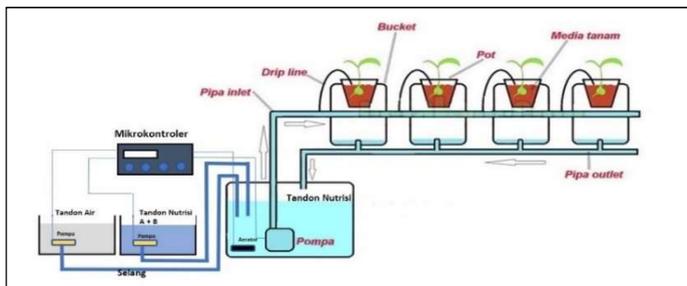
$$\mu_{B^k}(y) = \max[\min[\mu_{A_1^k}(x_i), \mu_{A_2^k}(x_j)]]_k \dots \dots \dots (2.10)$$
 untuk $k=1,2,\dots,n, A_1^k$ dan A_2^k menyatakan himpunan fuzzy pasangan anteseden ke- k , dan B^k adalah himpunan fuzzy konsekuen ke- k .

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Konfigurasi Sistem

Secara umum konfigurasi dari alat sistem kontrol nutrisi dengan metode *Fuzzy logic* yaitu input, mikrokontroller, dan output. Dari ketiga bagian tersebut terdapat *hardware* dan *software*. Sisi input terdiri dari sensor TDS untuk mendeteksi kadar nilai ppm. Pada sisi output terdapat Pompa untuk mengalirkan nutrisi ke setiap tanaman, sedangkan untuk mikrokontroler yang digunakan menggunakan Arduino mega serta *Software* yang digunakan untuk memprogram mikrokontroler menggunakan Arduino IDE, *Software* ini merupakan *software* bawaan dari arduino.

Perancangan alat sistem kontrol nutrisi ini dilakukan dengan tujuan agar pemberian kandungan nutrisi dapat lebih optimal dan mengurangi kesalahan pada pemberian nutrisi, sehingga dapat meningkatkan hasil sayur buah tomat cerry yang lebih baik. Untuk lebih jelas, alat kontrol nutrisi yang akan di rancang dapat dijelaskan pada gambar 3.1.

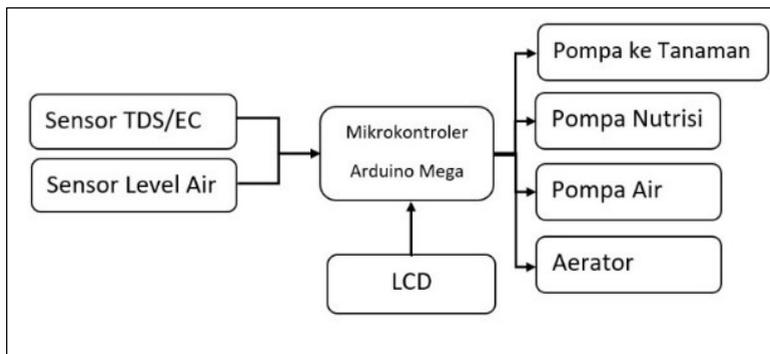


Gambar 3. 1 Rancang bangun Alat

3.2 Perancangan *Hardware*

Pembahasan *hardware* secara teknik perancangan terdiri atas sensor Sensor TDS/ec, *water lefel float*, mikrokontroler, pompa dan LCD. Mula dari sensor *water lefel float* mengukur air yang digunakan, kemudian TDS membaca kandungan nilai ppm untuk di kirimkan ke mikrokontroler apakah sesuai atau tidak. Jika sesuai kadar ppm, pompa nutrisi mati dan pompa ke tanaman menyala sekian menit, jika tidak sesuai pompa nutrisi akan menyala mengisi nutrisi sesuai kebutuhan dan

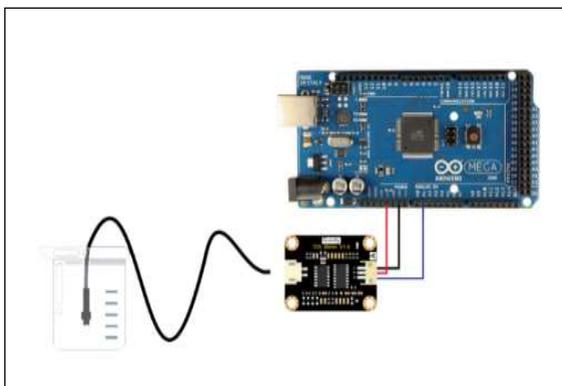
nilai ppm serta waktu akan ditampilkan di LCD. Dengan demikian pemberian nutrisi dapat lebih optimal sehingga dapat mengurangi pembuangan nutrisi yang sia-sia.



Gambar 3.2 Blok Diagram perancangan Hardware

3.2.1 Sensor TDS/EC

Sensor TDS/EC menggunakan metode *Electrical Conductivity* yang dihubungkan dengan arduino dimana *probe* dicelupkan ke cairan atau larutan kemudian dengan rangkaian pemroses sinyal akan menghasilkan *output* yang menunjukkan jumlah kadar garam terlarut dalam part permillion (ppm) atau sama dengan milligram per liter (mg/L).



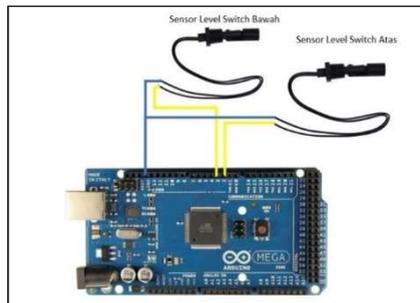
Gambar 3.3 Rangkaian Sensor TDS dengan Arduino Mega

Pada gambar 3.3 merupakan skema konfigurasi pin sensor TDS dengan Arduino Mega, penjelasannya adalah sebagai berikut:

- Pin (-) pada sensor TDS terhubung ke GND pada arduino
- Pin (+) pada sensor TDS terhubung ke power 5 V pada arduino
- Pin A pada sensor TDS terhubung ke pin A1 pada arduino

3.2.2 Sensor Float Level Switch

Sensor *Float Level Switch* berfungsi sebagai pendeteksi tinggi permukaan air secara otomatis pada *reservoir*. Pada penelitian ini menggunakan 2 (dua) sensor yaitu sensor level *switch* bawah dan sensor level *switch* atas. Kedua sensor tersebut dipasang untuk menyalakan pompa air apabila permukaan air tidak sesuai dengan batas bawah yang ditentukan dan pompa air akan mati apabila permukaan air sudah sesuai dengan batas atas yang ditentukan.



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Float Level Switch

Pada gambar 3.4 menjelaskan konfigurasi pin sensor *float level switch* dengan Arduino, penjelasan konfigurasi pin tersebut adalah sebagai berikut:

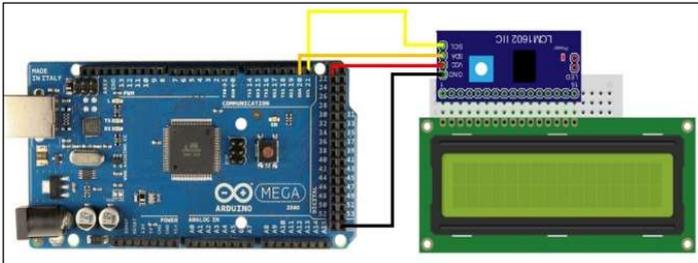
- Kabel warna biru pada sensor level switch terhubung ke GND pada arduino
- Kabel warna kuning pada sensor level switch terhubung ke pin 2 untuk level switch atas dan pin 3 untuk level switch bawah

3.2.3 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display (LCD) dalam penelitian ini berfungsi untuk menampilkan hasil pembacaan pada sensor TDS/EC, sensor *Float Level Switch* dan berbagai data yang diinput pada Arduino. Rancangan rangkaian *Liquid Crystal Display* (LCD) dengan Arduino dijelaskan pada

gambar 3.5. Adapun keterangan konfigurasi pin LCD dengan Arduino adalah sebagai berikut:

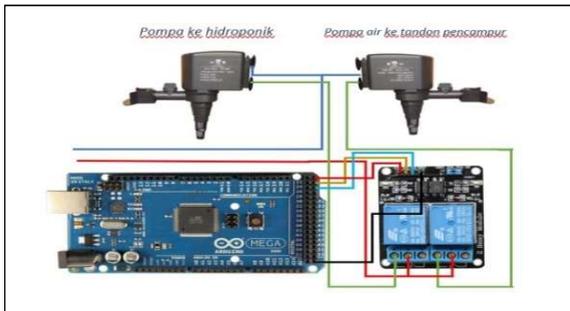
- Pin GND pada lcd terhubung ke pin GND arduino
- Pin VCC pada lcd terhubung ke pin power 5 v pada arduino
- Pin SDA pada lcd terhubung ke pin 20 pada arduino
- Pin SCL pada lcd terhubung ke pin 21 pada Arduino



Gambar 3.5 Liquid Crystal Display (LCD) 16x2 I2C

3.2.4 Pompa Aquarium 12 vDC

Pompa air yang digunakan pada penelitian ini menggunakan 2 (dua) buah pompa Aquarium 12 vDC. Satu pompa digunakan untuk mengalirkan air nutrisi dari *reservoir* ke tanaman dan pompa lainnya digunakan untuk mengalirkan air dari tandon air ke *reservoir*. Rancangan rangkain driver pompa aquarium 12 vDc dengan Arduino dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Pompa Aquarium 12 dc

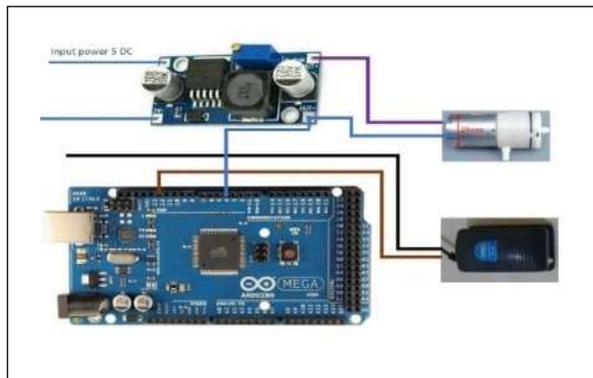
Keterangan konfigurasi pin pada gambar 3.6 adalah sebagai berikut:

- Pin GND pada relay terhubung ke GND pada Arduino

- Pin In 1 pada relay terhubung ke pin 23 pada arduino
- Pin In 2 Pada Relay terhubung ke pin 25 pada arduino
- Pin VCC pada relay terhubung ke power 5 v pada arduino
- Untuk Netral dari 220 vac langsung terhubung ke pompa
- Untuk tegangan 220 vac langsung terhubung ke relay

3.2.5 Aerator dan pompa Dc 5 V

Aerator pada penelitian ini berfungsi untuk menambahkan lebih banyak oksigen terlarut dalam air sehingga dapat dimanfaatkan oleh tanaman. Rancangan rangkaian driver pompa 5v Dc dengan Arduino dapat dijelaskan pada gambar 3.7.



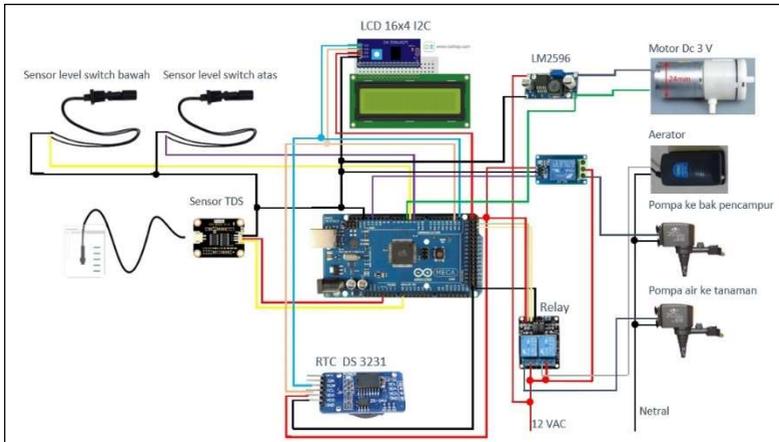
Gambar 3.7 Aerator dan pompa nutrisi dc 5 v

Konfigurasi pin pada gambar 3.7 adalah sebagai berikut:

- In (+) pada LM2596 12 vdc diturunkan ke 3 vdc untuk menyalakan pompa nutrisi
- In (-) pada LM2596 keluar ke pompa dan ke pin 4 pada arduino
- (+) Pada aerator terhubung ke pin 12 pada arduino
- (-) pada aerator langsung terhubung pada netral 220 v

3.2.6 Perancangan *Diagram Wiring*

Berdasarkan perancangan masing-masing *hardware* yang telah dibuat, maka dapat digambarkan perancangan *diagram wiring hardware* dari keseluruhan sistem yang digunakan pada tugas akhir ini. *Diagram wiring hardware* keseluruhan dapat dijelaskan pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Wiring Perancangan Diagram Panel

3.3 Perancangan *Software*

Perancangan *software* dalam penelitian ini diperlukan agar sistem yang direncanakan dapat bekerja dengan baik. *Software* yang digunakan merupakan program bawaan dari arduino yakni Arduino IDE. Pada software Arduino IDE dilakukan pemrograman untuk sistem monitoring kapasitas akumulator dan melakukan *compile* untuk mengetahui letak kesalahan program. Berikut adalah gambar program pada software Arduino IDE.

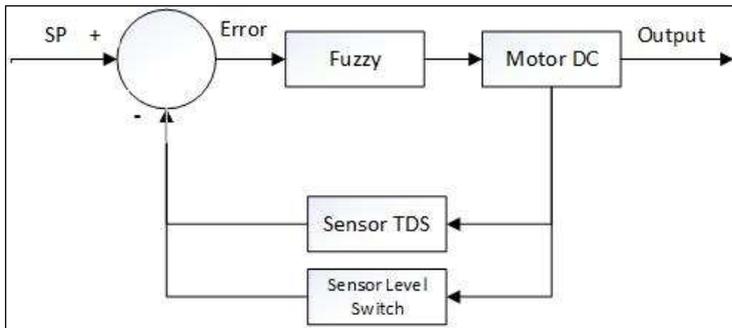


Gambar 3.9 Board Arduino

Setelah *compile* berhasil, dilakukan upload program ke hardware arduino. Tanda bahwa program telah berhasil diupload adalah lampu pada board arduino akan berkedip setiap satu detik sekali.

3.4 Perancangan Sistem Kontrol

Berdasarkan gambar 3.10 diagram blok sistem kontrol fuzzy logic untuk pengaturan nilai ppm dan ketinggian air pada bak reservoir. Penggunaan kontrol *fuzzy logic* pada *microcontroller* arduino mega akan menggerakkan pompa nutrisi dan pompa air dengan pengaturan kecepatan pompa untuk mengalirkan cairan nutrisi dan air dari tempat penampung masing-masing ke bak reservoir. Hasil pengontrolan ini didapat dari pembacaan nilai sensor TDS dan sensor *level switch* yang akan diolah oleh Arduino Mega.

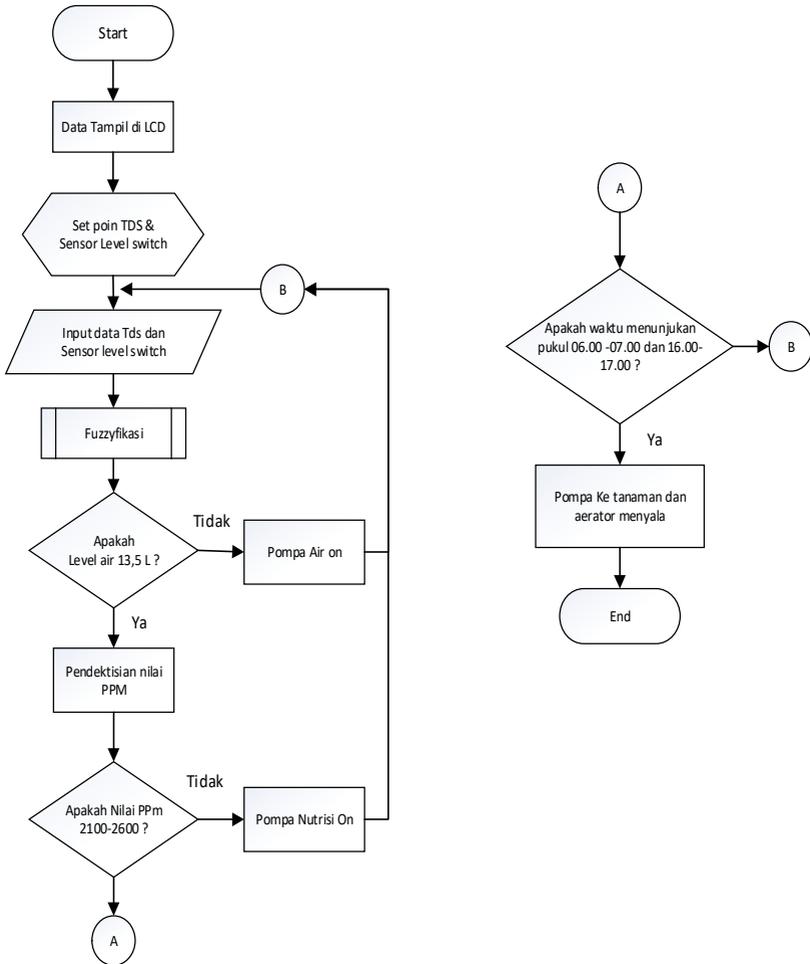


Gambar 3.10 Blok diagram sitem kontrol *fuzzy*

Flowchart program dari alat sistem kontrol nutrisi dapat dijelaskan pada gambar 3.11. Sistem kerja kontrol nutrisi hidroponik sebagai berikut:

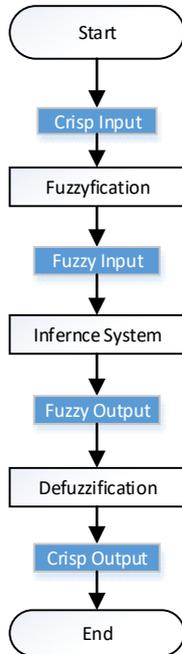
1. Pada sesaat setelah menyala, mula – mula nilai ppm, hari tanggal dan tanggal akan tampil di led;
2. Selanjutnya sensor TDS dan sensor *level switch* akan membaca nilai ppm dan ketinggian air untuk mengetahui apakah sudah sesuai set point yang ditentukan;
3. Jika belum metode Fuzzy akan mengolah data nilai ppm dan tinggi air yang sudah ditentukan untuk mengendalikan pompa nutrisi dan pompa air;
4. Apabila volume air di 13,5 liter maka pompa air akan mati dan apabila dibawah maka pompa akan menyala, begitu pula dengan nilai ppm, jika dibawah 2100 ppm pompa nutrisi akan menyala dan apabila sudah mencapai ppm yang diinginkan pompa nutrisi akan mati.
5. Setelah level air dan nilai ppm sesuai, maka pompa dan aerator pada bak penampung akan menyala mengalirkan air di bak penampungan

ke tanaman serta aerator akan mengeluarkan gelembung untuk mencampur air dan nutrisi di bak penampungan.



Gambar 3.11 Flowchart Sistem Kontrol Nutrisi Hidroponik

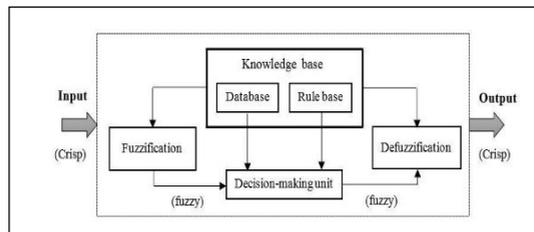
Berikut merupakan *flowchart sub program* pada alat ini yang dapat dijelaskan pada gambar 3.12. *Flowchart* sub program merupakan proses dari metode fuzzy yang terdiri dari *fuzzification*, *inference system*, dan *defuzzification*.



Gambar 3.12 *Flowchart* Sub Program

3.5 Kendali Logika *Fuzzy Logic*

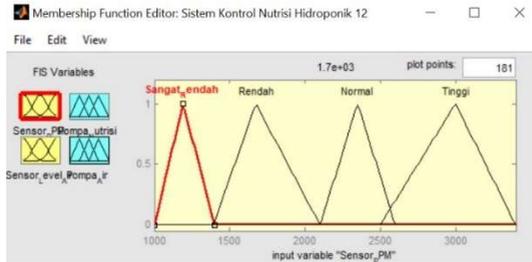
Logika *Fuzzy* pertama kali diperkenalkan oleh Prof. Lotfi Zadeh seorang kebangsaan Iran yang menjadi guru besar di *University of California at Berkeley* pada tahun 1965. Logika *fuzzy* adalah cabang dari sistem kecerdasan buatan (*Artificial Intelegent*) yang mengemulasi kemampuan manusia dalam berfikir ke dalam bentuk algoritma yang kemudian dijalankan oleh mesin.



Gambar 3.13 Model Detail Kendali Logika *Fuzzy*

3.5.1 Fuzzyfikasi

Proses *fuzzyfikasi* merupakan proses untuk mengubah variabel non *fuzzy* (variabel numerik) menjadi variabel *fuzzy* (linguistik). Gambar 3.14 merupakan hasil *input* dari sistem kontrol nutrisi hidroponik.



Gambar 3.14 Fungsi Keanggotaan Sensor TDS

Pada gambar 3.14 mengilustrasikan *fuzzy* set untuk *input* parameter sensor TDS yang terdiri dari 4 triangular membership, yaitu Sangat Rendah, Rendah, Normal dan Tinggi.

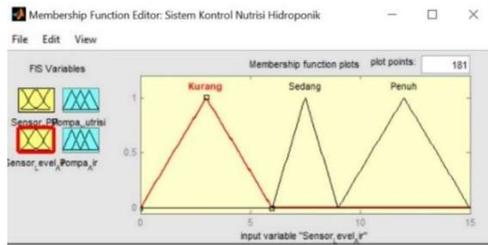
Tabel 3.1 Fuzzyfikasi untuk Sensor TDS

Tingkatan Fuzzy	Kategori PPM
1000 – 1400 ppm	Sangat rendah
1400 – 2100 ppm	Rendah
2100 – 2600 ppm	Normal
2500 – 3400 ppm	Tinggi

Fungsi keanggotaan sensor TDS dalam logika *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan segitiga.

$$\begin{aligned} \mu_{\text{sangat rendah}}(1295) &= \frac{c - x}{c - b} = \frac{1400 - 1295}{1400 - 1190} = \frac{105}{210} = 0,5 \\ \mu_{\text{rendah}}(1525) &= \frac{x - a}{b - a} = \frac{1525 - 1400}{1675 - 1400} = \frac{125}{275} = 0,4 \\ \mu_{\text{normal}}(2400) &= \frac{c - x}{c - b} = \frac{2600 - 2400}{2600 - 2350} = \frac{200}{250} = 0,8 \\ \mu_{\text{tinggi}}(2825) &= \frac{c - x}{c - a} = \frac{3400 - 2825}{3400 - 2600} = \frac{575}{800} = 0,7 \end{aligned}$$

Input dari keanggotaan sensor *level switch* dapat dijelaskan pada gambar 3.15.



Gambar 3.15 Fungsi Keanggotaan Sensor Level Switch

Pada gambar 3.15 mengilustrasikan *fuzzy set* untuk *input* parameter sensor *level switch* yang terdiri dari 3 triangular membership, yaitu Kurang, Sedang, Penuh.

Tabel 3.2 *Fuzzyfikasi* untuk Sensor level Switch

Tingkatan Fuzzy	Kategori Air
0 – 6 liter	Kurang
6 – 9 liter	Sedang
9 – 15 liter	Penuh

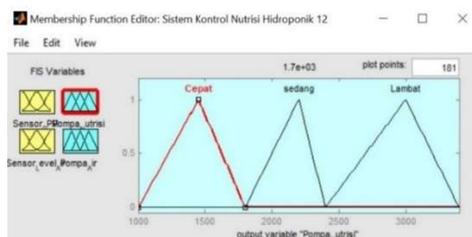
Fungsi keanggotaan sensor *level switch* dalam logika *fuzzy* menggunakan fungsi keanggotaan segitiga.

$$\mu_{kurang}(2) = \frac{c-x}{c-a} = \frac{6-2}{6-0} = \frac{4}{6} = 0,6$$

$$\mu_{sedang}(6,5) = \frac{x-a}{c-a} = \frac{6,5-6}{9-6} = \frac{0,5}{3} = 0,1$$

$$\mu_{penuh}(13,5) = \frac{c-x}{c-b} = \frac{15-13,5}{15-12} = \frac{1,5}{3} = 0,5$$

Output dari keanggotaan pompa nutrisi dapat dijelaskan pada gambar 3.16



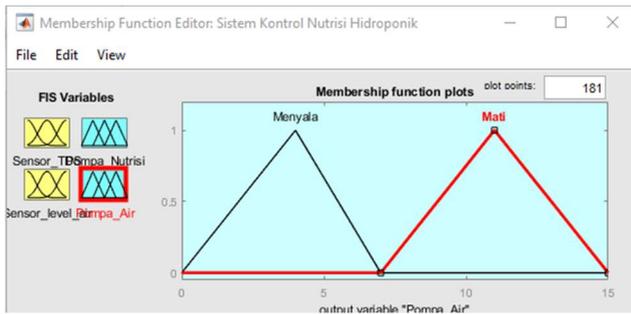
Gambar 3.16 Fungsi Keanggotaan Pompa Nutrisi

Pada gambar 3.16 mengilustrasikan *fuzzy* set untuk output parameter pompa nutrisi yang terdiri dari 3 triangular membership, yaitu Cepat, Sedang, Lambat.

Tabel 3.3 Fuzzyfikasi untuk Pompa Nutrisi

Tingkatan Fuzzy	Kategori Air
1000 – 1800	Cepat
1800 - 2400	Sedang
2400 - 3400	Lambat

Output dari keanggotaan pompa air dapat dijelaskan pada gambar 3.17.



Gambar 3.17 Fungsi Keanggotaan Pompa Air

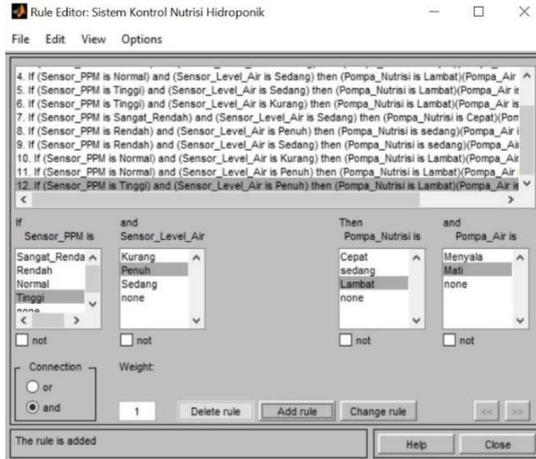
Pada gambar 3.17 mengilustrasikan *fuzzy* set untuk output parameter pompa nutrisi yang terdiri dari 2 triangular membership, yaitu Menyala dan Mati.

Tabel 3.4 Fuzzyfikasi untuk Pompa Nutrisi

Tingkatan Fuzzy	Kategori Air
0 - 8	Menyala
8 - 15	Mati

3.5.2 Inferencing (Rule Base)

Dengan crisp input dari masing-masing sensor dan crisp output dari masing-masing keluaran, maka dapat dibuat *Rule* di *matlab* seperti ditunjukkan pada gambar 3.18 dan pada tabel 3.5.



Gambar 3.18 Rule Base dalam matlab

Tabel 3.5 Rule output pompa nutrisi dan pompa air

Sensor TDS (Nilai ppm)	Sensor Level Air		
	Kurang	Sedang	Penuh
Sangat Rendah	Cepat/Menyala	Cepat/Menyala	Cepat/Mati
Rendah	Sedang/Menyala	Cepat/Menyala	Sedang/Mati
Normal	Lambat/Menyala	Lambat/Menyala	Lambat/Mati
Tinggi	Lambat/Menyala	Lambat/Mati	Lambat/Mati

Untuk memperoleh output yang diinginkan maka dapat kita gabungkan kedua inputan Sensor TDS dan Sensor level air seperti pada tabel 3.5. Jika nilai ppm tinggi pada sensor TDS kemudian level air kurang maka pompa nutrisi akan lambat dan pompa air akan menyala.

Sebagai bahan uji coba, data masukan ke sistem fuzzy ini adalah Nilai ppm pada Sensor TDS = 1295 ppm dan level air=13,5 L. Pada tahap *Fuzzifikasi*, nilai crisp tersebut direpresentasikan pada nilai linguistik. Kemudian dicari nilai μ untuk masing-masing kategori yang mungkin. Hasil tahap *fuzzifikasi* dapat dijelaskan pada tabel 3.6.

Tabel 3.6 Representasi Nilai Linguistik Data Masukan

Data Masukan	Nilai	Model
Input nilai ppm (sensor tds)	1295 ppm	Sangat Rendah, $\mu=0,5$
Input level air	13,5 L	Penuh, $\mu=0,5$

3.5.3 Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi merupakan langkah terakhir dalam suatu sistem logika fuzzy dimana untuk memperoleh nilai *crisp* tertentu sebagai keluarannya dan berikut adalah perhitungan dari contoh fungsi keanggotaan nilai ppm dan level air crisp output model fuzzy Mamdani dengan metode *Centre of Garvity*.

$$COG = \frac{(1295 \times 0.5) + (13,5 \times 0.5)}{0.5 + 0.5} \cong 654,25 \text{ ppm}$$

Jadi hasil percobaan dengan metode COG menunjukkan nilai ppm sangat rendah dengan nilai 654,25 ppm.

3.6 Rancangan Mekanik

Untuk perancangan mekanik pada alat sistem kontrol hidroponik dengan sistem *Dutch Bucket System* (Sistem DBS) dimana terdapat 2 buah ember ukuran diameter 17 cm dan tinggi 19 cm serta bak *reservoir* 33 cm x 25 cm x 23 cm (P x L x T), ember diameter 27 cm dan tinggi 40 cm, untuk bak nutrisi menggunakan ember diameter 12 cm dan tinggi 19 cm. Adapun rancang bangun alat ini dapat dijelaskan pada gambar



Gambar 3.19 Rancang bangun tampak depan



Gambar 3.20 Rancang bangun dari tampak atas

BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Hasil Pengukuran

Metode Pengujian dari Tugas Akhir ini dilakukan menjadi dua tahap pengujian, yaitu Pengujian *Hardware* dan Pengujian *Software* (*system*). Pada pengujian *Hardware* dilakukan beberapa pengujian diantaranya adalah yang pertama merupakan pengujian terhadap Sensor TDS/EC. Pengujian selanjutnya dilakukan pada proses pengaplikasian *software* menggunakan metode *Fuzzy Logic* pada rangkaian keseluruhan. Dari pengujian ini didapatkan data yang berisi hasil pengukuran dan hasil pertumbuhan tanaman tomat ceri. Pada pengujian ini diharapkan kelemahan-kelemahan dari sistem muncul dan diperbaiki agar diperoleh hasil yang lebih baik melalui koreksi-koreksi terhadap kelemahan yang ditemui selama pengujian berlangsung.

4.1.1 Sensor TDS

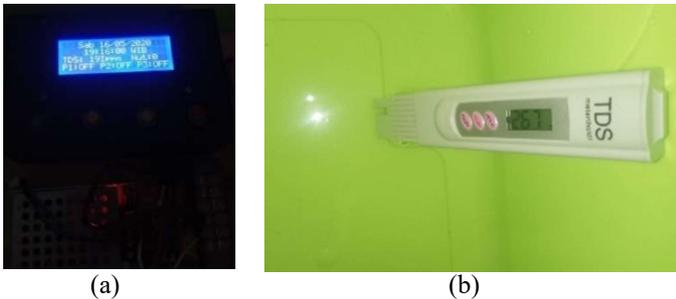
Pengujian ini dilakukan Sensor TDS/EC yang telah diberikan kontrol Arduino Mega 2560. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah hasil nilai ppm Sensor TDS/EC sama dengan hasil nilai TDS/EC digital yang banyak dijual dipasaran. Berdasarkan pengujian tersebut didapat hasil perbandingan seperti ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil uji coba nilai ppm Sensor TDS/EC dan TDS/EC Digital

No	Jumlah Air	Nilai PPM		Nilai ppm + 5 ml Nutrisi	
		Sensor TDS/EC	TDS/EC Digital	Sensor TDS/EC	TDS/EC Digital
1	1,5 l	191	267	594	956
2	3 l	594	669	688	1130
3	4,5 l	698	986	796	1578
4	6 l	867	1390	905	1789
5	7,5 l	1005	1500	1193	2154
6	9 l	1364	1854	1424	2347
7	10,5 l	1620	2106	1858	2591
8	12 l	1891	2557	2092	2876
9	13,5 l	2095	2968	2376	3290
10	15 l	2334	3423	2982	3600

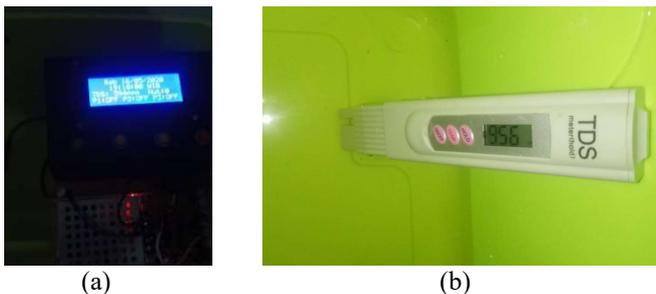
Pengujian pada tabel 4.1 menggunakan PPM awal pada air yaitu 191 ppm dan kemudian ditambahkan 5 ml nutrisi untuk setiap 1,5 liter air dan dalam data ini masih berupa nilai ADC.

Hasil uji coba pada tabel 4.1 dapat dijelaskan bahwa nilai ppm pada Sensor TDS/EC berbeda jauh dengan TDS/EC digital yang dijual di pasaran.



(a) (b)
Gambar 4.1 Sebelum uji coba (a) Sensor *TDS/EC* dan (b) *TDS/EC digital*

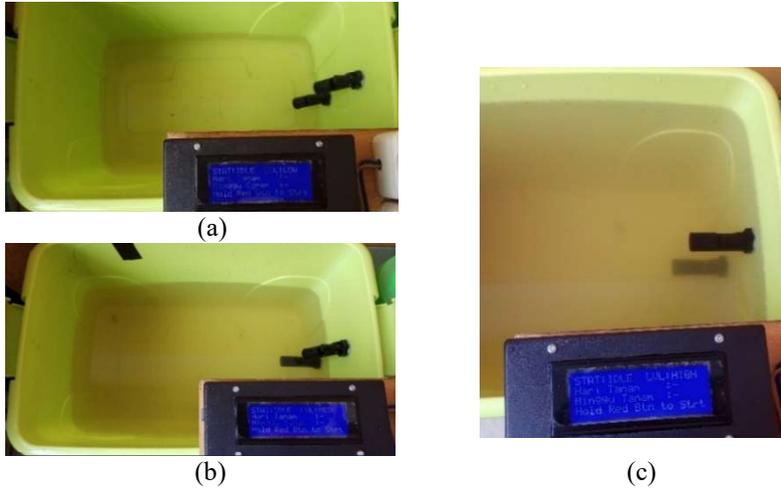
Gambar 4.1 adalah pengujian Sensor TDS/EC dengan TDS/EC digital sebelum diberi 5 ml nutrisi. Ada pun hasil uji coba setelah diberi tambahan 5 ml nutrisi seperti pada gambar 4.2.



(a) (b)
Gambar 4.2 Hasil uji coba (a) Sensor *TDS/EC* dan (b) *TDS/EC digital*

4.1.2 Sensor *Level Switch*

Pada penelitian ini menggunakan Sensor *Level Switch* sebagai sensor yang berfungsi mendeteksi kondisi ketinggian air. Sensor *level switch* akan diprogram dengan *setpoint* tertentu sesuai kebutuhan. Hasil uji coba dapat dijelaskan pada gambar 4.3.



Gambar 4.3 Hasil pengujian; (a) Low; (b) Medium dan (c) High

Dari hasil pengujian tersebut didapatkan hasil seperti pada tabel 4.2 berikut:

Tabel 4.2 Data pengujian sensor *Level Switch* dengan jumlah air

No	Level	Ketinggian	Jumlah Air
1	Low	0 -7 cm	0 - 5,5 liter
2	Medium	7 - 13 cm	5,5 - 11 liter
3	Hight	13 - 21 cm	11 - 15,5 liter

4.1.3 *Liquid Crystal Display (LCD)*

Pada tugas akhir ini menggunakan *Liquid Crystal Display (LCD)* untuk menampilkan hasil dari berbagai data yang sebelumnya sudah di inputkan ke arduino. Pengujian dilakukan menggunakan Arduino sebagai alat untuk menampilkan beberapa karakter. Pada pengujian LCD ini, Arduino diberi program untuk menampilkan hari, tanggal, waktu, nilai ppm, *on-off* aerator, *on-off* pompa hidroponik, dan *on-off* pompa air. Pengujian berhasil jika LCD dapat menampilkan karakter sesuai yang ada dalam program.

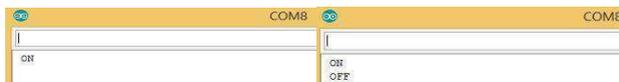


Gambar 4.4 Hasil uji coba LCD

Gambar 4.4 merupakan hasil pengujian dari konfigurasi antara arduino dengan LCD sesuai data yang diinputkan dari *software* arduino ide.

4.1.4 Pompa DC 12 v dengan relay

Pada tugas akhir ini menggunakan 2 buah Pompa aquarium dc 12 V sebagai pompa sirkulasi dari bak *reservoir* ke tanaman dan dari bak penampung air ke bak *reservoir*. Hasil uji coba dapat dijelaskan pada gambar 4.5.



(a)

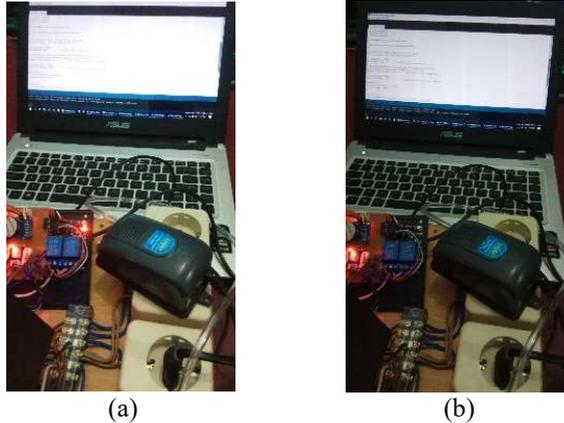
(b)

Gambar 4.5 Pengujian Relay dan Pompa DC 12v; (a) kondisi HIGH; (b) kondisi LOW

Gambar 4.5 menunjukkan bahwa pengujian pompa dc 12 v dengan modul relay menggunakan kondisi HIGH dan LOW berhasil.

4.1.5 Aerator Dc 12 v dengan relay

Pada tugas akhir ini menggunakan Aerator aquarium dc 12 V sebagai pencampur di bak *reservoir* antara nutrisi dan air dari bak penampung. Relay berfungsi sebagai fungsi logika.



Gambar 4.6 Pengujian Relay dan aerator DC 12v; (a) kondisi HIGH; (b) kondisi LOW

Tabel 4.3 Data pengujian Relay dan aerator DC 12v

No	Pengujian	Input Arduino	Relay	Error
1	Uji 1	HIGH	Switch Off	0%
2	Uji 2	LOW	Switch On	0%

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa setelah melakukan beberapa pengujian, dapat disimpulkan bahwa relay dan aerator aquarium DC12V yang digunakan merupakan aktuator yang cukup baik karena menghasilkan error 0%

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian ini dilakukan secara *real* pada sistem kontrol nutrisi pada hidroponik yang telah di kontrol oleh arduino. Pada pengujian ini bertujuan untuk mengetahui perbedaan dari alat yang telah diberi *fuzzy logic* dan yang tidak di beri *fuzzy logic* . Pada Gambar 4.7 merupakan hasil realisasi dari perancangan mekanik yang sebelumnya telah dirancang.



Gambar 4.7 Hasil Perancangan Mekanik

Adapun beberapa pengujian yang telah dilaksanakan dijelaskan pada tabel 4.4, 4.5, 4.6 dan 4.7.

Tabel 4. 4 Pengujian tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 7 L

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		191	458	530	590	650
1	80%	0	11	20	26	38
2	75%	0	15	24	32	40
3	70%	0	20	29	40	49
Rata-rata						42,33

Tabel 4.4 merupakan hasil pengujian pertama tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 7 liter dengan kondisi kadar PPM awal adalah 191 ppm untuk mencapai kadar nilai 650 ppm membutuhkan waktu rata-rata 42,33 detik dengan kecepatan pompa 70%, 75% dan 80%.

Tabel 4. 5 Pengujian dengan metode *fuzzy logic* menggunakan air 7 L

No	Kecepatan Pompa Nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		191	458	530	590	650
1	80%	0	9	17	23	32
2	75%	0	12	21	29	35
3	70%	0	16	27	35	40
Rata-rata						35,66

Sedangkan pengujian kedua seperti yang dijelaskan pada tabel 4.5 menggunakan metode *fuzzy logic* dengan air 7 liter pada kondisi kadar PPM awal adalah 191 ppm untuk mencapai kadar nilai 650 ppm membutuhkan waktu rata-rata 35,66 detik dengan kecepatan pompa 70%, 75% dan 80%.. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode *fuzzy logic* dapat mempercepat 6,67 detik untuk mencapai kadar nilai 650 ppm daripada tanpa metode *fuzzy logic*.

Tabel 4.6 Pengujian tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 15 L

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		221	458	530	590	650
1	100 %	0	40	52	60	70
2	90%	0	46	59	69	81
3	80%	0	54	66	73	88
Rata-rata						79,66

Tabel 4.6 merupakan hasil pengujian ketiga tanpa metode *fuzzy logic* menggunakan air 15 liter dengan kecepatan pompa 80%, 90% dan 100% pada kondisi kadar PPM awal 221 ppm. Rerata waktu yang dibutuhkan dari kadar PPM awal mencapai kadar nilai 650 ppm yaitu 79,66 detik.

Tabel 4.7 Pengujian dengan metode *fuzzy logic* menggunakan air 15 L

No	Kecepatan pompa nutrisi	Waktu yang Dibutuhkan untuk Mencapai Kadar Garam Terlarut Nutrisi (PPM) (detik)				
		221	458	530	590	650
1	100 %	0	35	44	51	60
2	90%	0	40	49	58	65
3	80%	0	48	56	62	71
Rata-rata						65,33

Sedangkan pengujian keempat seperti yang dijelaskan pada tabel 4.7 menggunakan metode *fuzzy logic* dengan air 15 liter pada kondisi kadar PPM awal adalah 221 ppm untuk mencapai kadar nilai 650 ppm membutuhkan waktu rata-rata 65,33 detik dengan kecepatan pompa 80%, 90% dan 100%. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan metode *fuzzy logic* dapat mempercepat 14,33 detik untuk mencapai kadar nilai 650 ppm daripada tanpa metode *fuzzy logic*.

Tabel 4.8 Hasil pertumbuhan tanaman tomat ceri

No	Tanggal	Tinggi Tanaman		
		Metode Fuzzy		Tanpa Metode Fuzzy
		Pot 1	Pot 2	
1	5 Mei 20	2 cm	1,7 cm	1,5 cm
2	10 Mei 20	5,4 cm	4,2 cm	3,2 cm
3	16 Mei 20	8,2 cm	7 cm	5 cm
4	22 Mei 20	12,7 cm	10,5 cm	8,3 cm
5	27 Mei 20	15,2 cm	13,7 cm	10,8 cm
6	03 Juni 20	18 cm	14,7 cm	11,5 cm
7	08 Juni 20	21 cm	16,4 cm	13,9 cm
8	13 Juni 20	23,2 cm	19,5 cm	16,6 cm
9	16 Juni 20	25,5 cm	21,7 cm	21 cm
10	24 Juni 20	32,6 cm	27,8 cm	23,4 cm
11	06 Juli 20	55,5 cm	46 cm	26 cm

Berdasarkan tabel 4.8 dapat dijelaskan bahwa ketinggian tanaman tomat ceri lebih tinggi dengan menggunakan metode *fuzzy logic* daripada tanpa metode *fuzzy logic*.



(a)



(b)

Gambar 4.8 Hasil pengukuran tomat ceri; (a) Pot 1; (b) pot 2; pada tanggal 16 Juni 2020



(a)



(b)

Gambar 4.9 Hasil pengukuran tomat ceri; (a) Pot 1; (b) pot 2 ;pada tanggal 24 Juni 2020



(a)

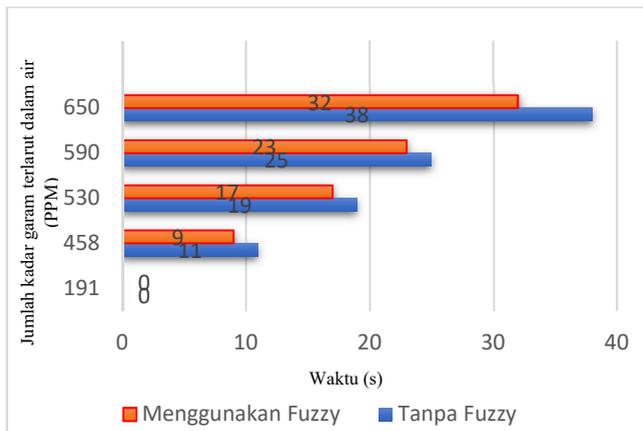


(b)

Gambar 4.10 Hasil pengukuran tomat ceri pada; (a) pot tanpa metode fuzzy; (b) pot dengan metode Fuzzy pada tanggal 06 Juli 2020

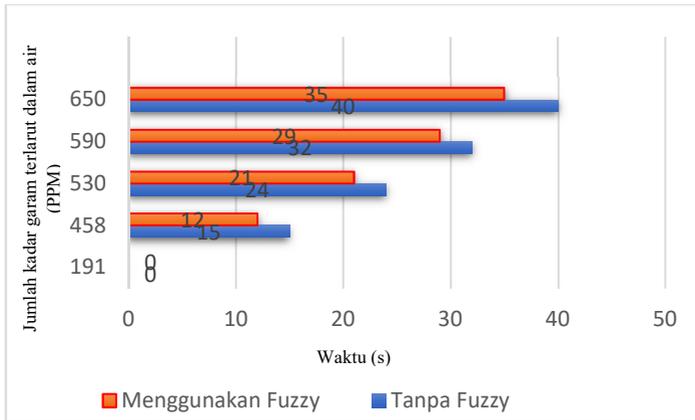
4.3 Analisa Data

Berdasarkan data hasil pengujian dari gambar 4.11, 4.12, 4.13, 4.14, 4.15, 4.16 yang dilakukan dapat diketahui bahwa terdapat selisih waktu dari hasil alat rancang tanpa metode *fuzzy logic* dengan metode *fuzzy logic*.



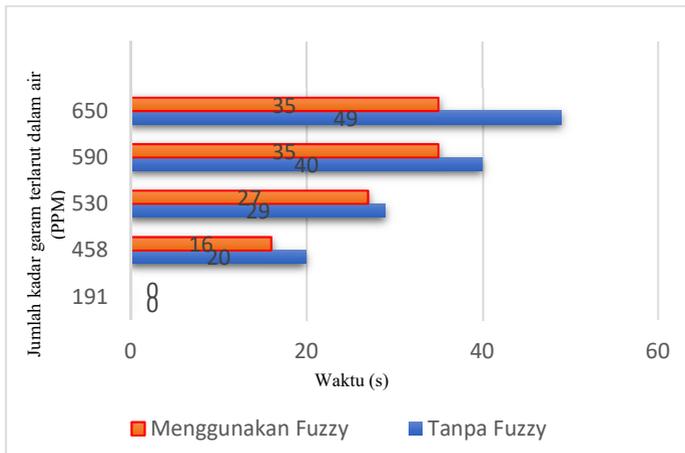
Gambar 4.11 Hasil perbandingan 1

Pada gambar 4.11 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 80% dan air 7 Liter.



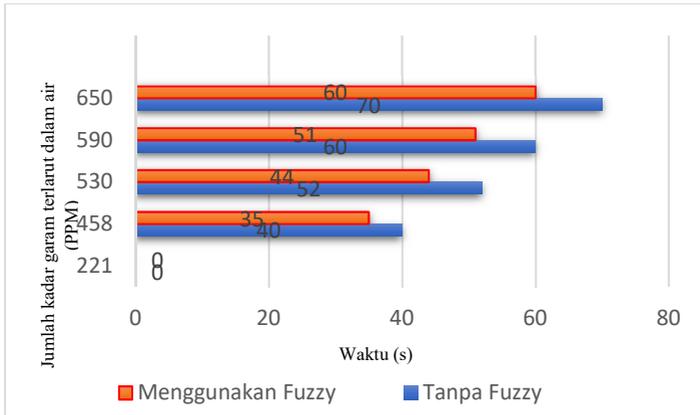
Gambar 4.12 Hasil Perbandingan 2

Pada gambar 4.12 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 75% dan Air 7 Liter.



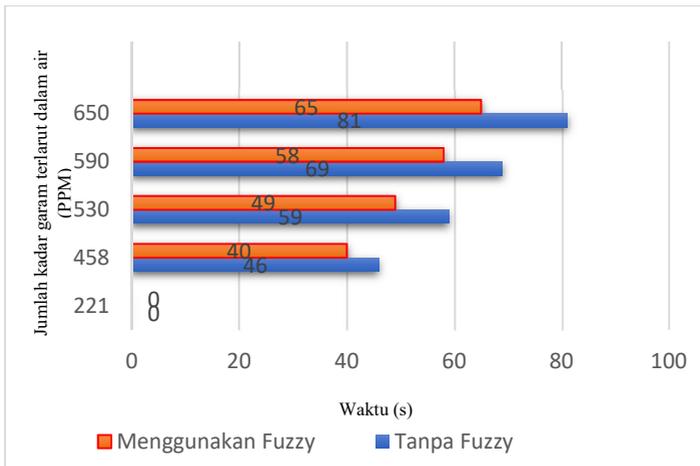
Gambar 4.13 Hasil Perbandingan 3

Pada gambar 4.13 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 70% dan Air 7 Liter.



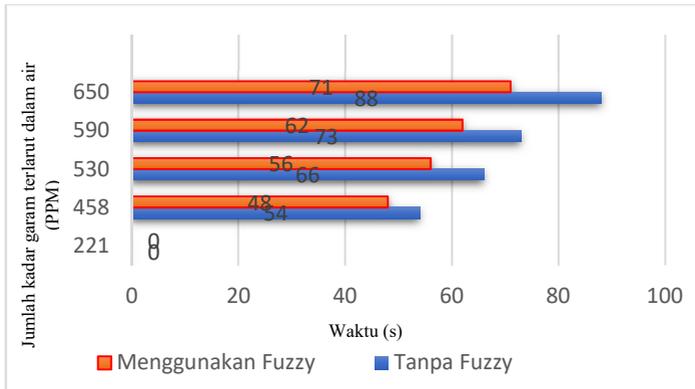
Gambar 4.14 Hasil Perbandingan 4

Pada gambar 4.14 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 100% dan air 15 Liter.



Gambar 4.15 Hasil Perbandingan 5

Pada gambar 4.15 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 90% dan air 15 Liter.



Gambar 4.16 Hasil Perbandingan 6

Pada gambar 4.16 merupakan hasil perbandingan tanpa menggunakan *fuzzy logic* dengan menggunakan *fuzzy logic* dengan kecepatan motor 80% dan air 15 Liter.

Berdasarkan hasil perbandingan mulai gambar 4.10 sampai gambar 4.15 didapatkan bahwa menggunakan *fuzzy logic* lebih cepat dalam memberi nutrisi karena tepat sesuai kebutuhan dan dapat menghemat pemakaian nutrisi.

BAB V SIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari Tugas Akhir yang berjudul Sistem Kontrol Nutrisi untuk Tanaman Hidroponik Sayur Buah Berbasis *Fuzzy Logic* adalah sebagai berikut:

1. Penerapan metode *fuzzy logic* dalam tugas akhir ini berfungsi sebagai pengendali otomatis nutrisi yang dibutuhkan tanaman sayur buah tomat ceri. Pada pengujian yang telah dilakukan untuk mencapai nilai nutrisi dari 221 ppm sampai 650 ppm, sistem ini membutuhkan waktu rata-rata 52,2 detik dengan kondisi air sebanyak 15 liter. Sedangkan apabila pengaturan menggunakan metode manual akan membutuhkan waktu yang lama karena harus melakukan pengecekan dan pengaturan kondisi nutrisi secara manual.
2. Penelitian ini berhasil merealisasikan rancangan sistem kontrol berbasis *fuzzy logic* yang dibuktikan dengan proses pengujian yang cukup baik.
3. Walaupun terdapat perubahan volume larutan di tabung pencampur terjadi, namun sistem sirkulasi nutrisi hidroponik tetap terjaga, akan tetapi dapat mempengaruhi molaritas nutrisi sehingga nilai nutrisi dapat berkurang.
4. Dari hasil pengujian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa menggunakan *fuzzy logic* lebih lebih optimal dalam pemberian nutrisi daripada tanpa *fuzzy logic*, serta pertumbuhan lebih cepat menggunakan *fuzzy logic* dari pada tanpa *fuzzy logic*. Hal ini dibuktikan dengan ketinggian tanaman pada tanggal 6 Juli 2020 tanaman yang menggunakan metode *fuzzy logic* sebesar 55 cm sedangkan yang tanpa metode *fuzzy logic* 26 cm.

5.2 Saran

Untuk kelanjutan Riset yang akan datang, diharapkan adanya pengembangan pada alat ini dengan penyempurnaan didalamnya. Adapun masukan-masukan yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian ini ke depan adalah sebagai berikut:

1. Dapat dikembangkan sistem yang berbasis *IoT* sehingga dapat lebih mudah memantau melalui web atau ponsel.
2. Tanaman bisa diganti dengan tanaman lain, seperti melon, semangka atau tanaman sayur.
3. Dapat dikembangkan lebih *simple* dan di produksi massal.