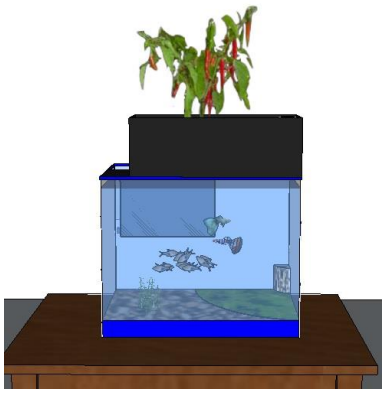
BAB II
TEORI PENUNJANG

1.1 Akuaponik

Akuaponik adalah kombinasi antara akuakultur (budidaya ikan) dan hidroponik (budidaya tanaman yang biasanya sayuran) yang dilakukan secara bersamaan. Metode ini memanfaatkan air dari pemeliharaan ikan secara terus menerus untuk memberikan nutrisi pada tanaman hidroponik dan tanaman hidroponik membersihkan air yang kemudian kembali ke ikan.[1]

Pada akuaponik, limbah kaya nutrisi dari tangki ikan digunakan untuk penyuburan tempat produksi hidroponik. Hal ini bagus untuk ikan karena akar tanaman dan rhizobakteri dapat meresap nutrisi dari air, nutrisi yang dihasilkan dari kotoran ikan, ganggang, dan pakan ikan yang membusuk dapat berfungsi sebagai pupuk cair untuk tanaman hidroponik tumbuh. Dengan kata lain, tempat tanaman hidroponik tumbuh berfungsi sebagai biofilter untuk penguraian amonia, nitrat, nitrit, dan fosfor. Sehingga, air menjadi segar dan kemudian dapat diresirkulasi kembali.[2]



Gambar I.1 Sistem Akuaponik

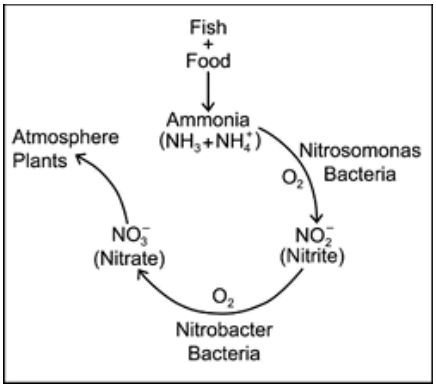
1.1.1 Amonia

Pada akuakultur, ketika makanan dimakan oleh ikan akan dimetabolisme menjadi energi, nutrisi, dan protein yang digunakan untuk kelangsungan hidup dan pertumbuhan. Seperti semua hewan, ada limbah yang dihasilkan oleh proses

metabolisme normal tersebut. Amonia adalah produk limbah utama yang diekskresikan oleh ikan [4].

Dari semua parameter kualitas air yang mempengaruhi ikan dan tanaman, amonia adalah yang paling penting setelah oksigen, terutama dalam sistem intensif [4].

Pada air, amonia menjadi dalam dua bentuk yang disebut TAN (*Total Amonia Nitrogen*). Secara kimiawi, kedua bentuk ini direpresentasikan sebagai NH_4^+ dan NH_3. NH_4^+ disebut amonia terionisasi dan NH_3 disebut amonia tak-terionisasi. Pada akuakultur, amonia dikonversi menjadi senyawa lain yang disebut Nitrit (NO_2^-). Perubahan dari amonia menjadi nitrit dilakukan oleh bakteri *Nitrosomonas* dan perubahan nitrit menjadi nitrat (NO_3^-) dilakukan oleh bakteri *Nitrobacter*. Nitrat tidak beracun untuk ikan kecuali pada tingkat yang sangat tinggi dan relatif tidak berbahaya. Nitrat digunakan oleh tanaman, termasuk ganggang, sebagai makanan. Perubahan yang konstan dari amonia menjadi nitrit kemudian menjadi nitrat disebut sebagai siklus nitrogen (Gambar II.2) [4].



Gambar I.2 Siklus Nitrogen [4]

Amonia merupakan zat yang tidak berwarna dan juga kurang berbau. Amonia yang terakumulasi pada sistem budidaya dapat menyebabkan kematian langsung pada ikan, penurunan produksi dan peningkatan berbagai macam penyakit. Sehingga, satu-satunya cara mendeteksi keberadaan amonia adalah dengan menguji air tersebut menggunakan pengukur nilai pH dan suhu untuk dapat menentukan tingkat ammonia tak-terionisasi pada sistem budidaya [4]. Cara penghitungan jumlah ammonia tak-terionisasi (NH_3) dapat menggunakan langkah-langkah berikut.

Langkah 1 : Ukur nilai TAN (*Total Ammonia Nitrrogen)*

Langkah 2 : Ukur suhu air

Langkah 3 : Ukur pH air

Langkah 4 : Cari faktor pengali pada gambar II.3 berdasarkan pH dan suhu

Langkah 5 : Hitung NH_3 = TAN x Faktor pengali pada Gambar II.3

Fraksi amonia tak-terionisasi (NH_3) dapat dilihat pada gambar II.3:

	Temperature													
pH	42.0 (°F)	46.4	50.0	53.6	57.2	60.8	64.4	68.0	71.6	75.2	78.8	82.4	86.0	89.6
	6 (°C)	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	.0013	.0016	.0018	.0022	.0025	.0029	.0034	.0039	.0046	.0052	.0060	.0069	.0080	.0093
7.2	.0021	.0025	.0029	.0034	.0040	.0046	.0054	.0062	.0072	.0083	.0096	.0110	.0126	.0150
7.4	.0034	.0040	.0046	.0054	.0063	.0073	.0085	.0098	.0114	.0131	.0150	.0173	.0198	.0236
7.6	.0053	.0063	.0073	.0086	.0100	.0116	.0134	.0155	.0179	.0206	.0236	.0271	.0310	.0369
7.8	.0084	.0099	.0116	.0135	.0157	.0182	.0211	.0244	.0281	.0322	.0370	.0423	.0482	.0572
8.0	.0133	.0156	.0182	.0212	.0247	.0286	.0330	.0381	.0438	.0502	.0574	.0654	.0743	.0877
8.2	.0210	.0245	.0286	.0332	.0385	.0445	.0514	.0590	.0676	.0772	.0880	.0998	.1129	.1322
8.4	.0328	.0383	.0445	.0517	.0597	.0688	.0790	.0904	.1031	.1171	.1326	.1495	.1678	.1948
8.6	.0510	.0593	.0688	.0795	.0914	.1048	.1197	.1361	.1541	.1737	.1950	.2178	.2422	.2768
8.8	.0785	.0909	.1048	.1204	.1376	.1566	.1773	.1998	.2241	.2500	.2774	.3062	.3362	.3776
9.0	.1190	.1368	.1565	.1782	.2018	.2273	.2546	.2836	.3140	.3456	.3783	.4116	.4453	.4902
9.2	.1763	.2008	.2273	.2558	.2861	.3180	.3512	.3855	.4204	.4557	.4909	.5258	.5599	.6038
9.4	.2533	.2847	.3180	.3526	.3884	.4249	.4618	.4985	.5348	.5702	.6045	.6373	.6685	.7072
9.6	.3496	.3868	.4249	.4633	.5016	.5394	.5762	.6117	.6456	.6777	.7078	.7358	.7617	.7929
9.8	.4600	.5000	.5394	.5778	.6147	.6499	.6831	.7140	.7428	.7692	.7933	.8153	.8351	.8585
10.0	.5745	.6131	.6498	.6844	.7166	.7463	.7735	.7983	.8207	.8408	.8588	.8749	.8892	.9058
10.2	.6815	.7152	.7463	.7746	.8003	.8234	.8441	.8625	.8788	.8933	.9060	.9173	.9271	.9389

Gambar I.3 Fraksi NH_3 dalam larutan akuades pada pH dan suhu berbeda[4]

1.1.2 Akuakultur

Banyak spesies ikan yang dapat dibudidayakan pada sistem akuaponik dan pemilihan jenis ikan bergantung pada kebutuhan petani akuaponik. Berikut adalah beberapa daftar jenis-jenis ikan yang dapat dibudidayakan pada sistem akuaponik.

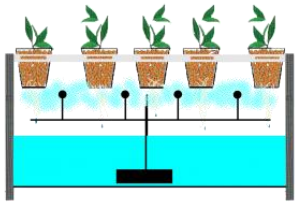
Tabel I.1 Daftar ikan akuakultur [3]

No	Nama Ikan	No	Nama Ikan
1	Tilapia	6	Koi
2	Catfish	7	Perch
3	Trout	8	Bluegills
4	Carp	9	Guppies
5	Goldfish	10	Neon

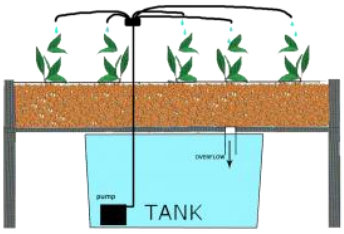
1.1.3 Hidroponik

Hidroponik adalah bagian dari *hydroculture*, yang merupakan pertumbuhan tanaman tanpa media tanah, atau lingkungan berbasis air. Hidroponik tumbuh menggunakan solusi nutrisi mineral untuk memberi makan tanaman dengan air.[10]

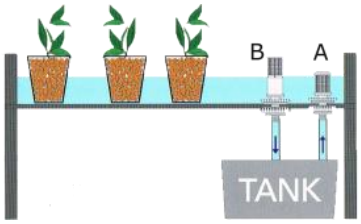
Ada banyak metode pada sistem hidroponik, dibawah ini adalah beberapa metode bercocok tanam secara hidroponik yang sering digunakan.



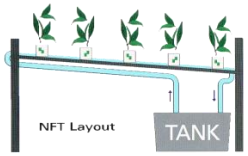
Gambar I.4 Sistem Aeroponic [10]



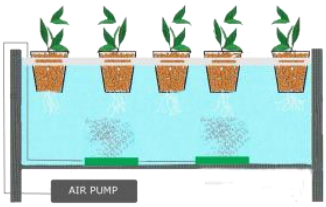
Gambar I.5 Sistem Drip [10]



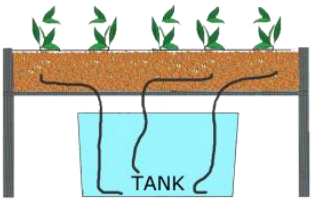
Gambar I.6 Sistem Flood and Drain [10]



Gambar I.7 Sistem N.F.T [10]



Gambar I.8 Sistem Water Culture [10]



Gambar I.9 Sistem Wicks [10]

Dari gambar-gambar metode hidroponik diatas, hal selanjutnya yang harus diperhatikan adalah penggunaan media tanam tempat tumbuh tanaman. Disini akan dijelaskan beberapa media tanam yang paling umum digunakan sebagai pengganti media tanah [25]:

1. Arang Sekam

   Arang sekam atau sekam bakar tidak hanya digunakan sebagai budidaya tanaman hidroponik saja, namun juga digunakan dalam berbagai macam tanaman pot.



Gambar I.10 Arang sekam / sekam bakar [25]

   Media tanam hidroponik menggunakan arang sekam ini mempunyai daya ikat air yang sangat baik dan juga memiliki aerasi yang cukup baik. Selain itu media ini juga sebagai media organik dan juga ramah lingkungan. PH yang dimiliki oleh media ini cenderung netral, sehingga sangat baik untuk pertumbuhan akar tanaman. Dalam teknik hidroponik, media ini sering dikombinasikan dengan *cocopeat*.

2. *Rockwoll*

   Rockwoll merupakan media tanam anorganik yang terbuat dari bahan seperti busa. Bahan ini memiliki serabut halus dengan bobot yang sangat ringan.



Gambar I.11 *Rockwoll* [25]

   Bahan ini biasanya digunakan untuk penyemaian atau untuk penanaman tanaman sayuran daun.

3. *Coir* / *Cocopeat*

   Cocopeat atau *coir* sendiri adalah sebuah media tanam organik yang terbuat dari serbuk saut kelapa. Itu sebabnya mengapa bahan ini disebut sebagai bahan yang ramah lingkungan. Dengan daya serat terhadap air yang cukup

tinggi dan rentan PH antara 5.0 hingga 6,8 membuat daya tahan akan menjadi lebih baik dan juga lebih kuat.



Gambar I.12 *Coir / Cocopeat* [25]

Dalam penggunaannya, bahan ini biasnya dikombinasikan dengan sekam bakar. Perbandingan yang biasanya digunakan adalah 50 berbanding 50. Tujuan dari dikombinasikannya kedua bahan ini adalah untuk menaikkan aerasi media tanam. Dengan aerasi yang baik, maka tanaman akan mendapatkan oksigen yang cukup untuk tumbuh kembangnya.

4. *Perlite*

   Perlite adalah sebuah media tanam hidroponik yang terbuat dari bebatuan silica. Bebatuan ini dipanaskan terlebih dahulu dengan suhu yang cukup tinggi. *Perlite* ini memiliki aerasi yang cukup baik. Memiliki PH yang netral selain itu juga mempunyai bobot yang sangat ringan, seperti busa atau *Styrofoam*.



Gambar I.13 Perlite [25]

Daya serap dari media ini sangat baik, sehingga baik untuk menyangga akar dan baik untuk pertumbuhan akar. Dalam teknik hidroponik media ini sering dikombinasikan dengan cocopeat atau juga *vermiculite* dengan teknik perbandingan tertentu.

5. *Pumice*

Media tanam *Pumice* ini berasal dari bebatuan basalt akibat dari letusan gunung berapi.



Gambar I.14 *Pumice* [25]

Bebatuan ini dapat digunakan sebagai media tanam tanaman hidroponik. Media ini juga dapat dikombinasikan dengan sekam bakar atau dengan vermiculite.

6. *Vermiculite*

   Media tanam *Vermiculite* juga terbuat dari bahan bebatuan yang dipanaskan dalam suhu tinggi. Bahan ini memiliki daya serap air yang cukup tinggi, dan bobot dari bahan ini cenderung lebih berat dari perlite.



Gambar I.15 *Vermiculite* [25]

Bebatuan ini biasanya dikombinasikan dengan perlite dengan perbandingan tertentu.

7. Kerikil

   Media tanam hidroponik ini dapat digunakan untuk di dalam pot bunga atau vas bunga agar terlihat indah. Selain itu media ini juga dapat menyerap air dan baik juga untuk akar tanaman.



Gambar I.16 Kerikil [25]

8. Serbuk kayu

   Penggunaan serbuk kayu digunakan sebagai media tanam untuk tanaman hidroponik tertentu. Tanaman-tanaman tersebut memerlukan kelembaban yang tinggi, seperti misalnya jamur, agar dapat bertahan hidup dengan baik.



Gambar I.17 Serbuk kayu [25]

   Serbuk kayu juga dapat digunakan untuk beberapa tanaman lainnya sebagai lapisan paling atas. Dengan demikian kelembaban udara dan juga air yang ada di bagian bawah terjaga dengan baik.

9. *Hydroton* / *Expanded clay*

   Hydroton ini terbuat dari bahan tanah lempung yang dibentuk menjadi bulatan-bulatan kecil kemudian dipanaskan dalam suhu yang cukup tinggi. Ukuran *Hydroton* ini sendiri berbagai macam ada yang berukuran 1 hingga 2,5 cm. *Hydroton* ini akan menyerap air dan nutrisi lainnya yang dibutuhkan oleh tanaman, sehingga nutrisi yang dibutuhkan oleh tanaman akan didapatkan oleh bahan ini.



Gambar I.18 *Hydroton / Expanded clay* [25]

   Karena berbentuk bulatan maka bahan ini tidak akan merusak akar, selain itu dengan pH netral maka kesehatan tanaman menjadi lebih terjaga. Hydroton dapat digunakan berulang-ulang, karena bahan ini dapat atau mudah dicuci.

Pada sistem hidroponik, tingkat kepekatan nutrisi yang dibutuhkan setiap tanaman berbeda-beda. Misalnya tanaman sayuran buah pada umumnya membutuhkan tingkat PPM yang lebih tinggi dibandingkan dengan sayuran daun.

Akan tetapi hal tersebut tidak selalu berlaku, karena ada beberapa jenis tanaman sayuran yang lahap nutrisi dan membutuhkan kandungan PPM yang tinggi. Selain PPM, yang juga harus diperhatikan dalam berhidroponik adalah tingkat keasaman air atau pH. Dibawah ini merupakan daftar jenis tanaman hidroponik berikut dengan kebutuhan nutrisi untuk setiap jenis tanaman: [24]

Tabel I.2 Tabel PPM dan pH Sayuran Daun [24]

No	Nama Sayuran	pH	PPM
1	Artichoke	6.5-7.5	560-1260
2	Asparagus	6.0-6.8	980-1200
3	Bawang Pre	6.5-7.0	980-1260
4	Bayam	6.0-7.0	1260-1610
5	Brokoli	6.0-6.8	1960-2450
6	Brussel Kecambah	6.5	1750-2100
7	Endive	5.5	1400-1680
8	Kailan	5.5-6.5	1050-1400
9	Kangkung	5.5-6.5	1050-1400
10	Kubis	6.5-7.0	
11	Kubis Bunga	6.5-7.0	1050-1400
12	Pakcoy	7.0	1050-1400
13	Sawi Manis	5.5-6.5	840-1680
14	Sawi Pahit	6.0-6.5	1260-1680
15	Seledri	6.5	560-840
16	Selada	6.0-7.0	1260-1610
17	Silverbeet	6.0-7.0	1050-1400

Tabel I.3 Tabel PPM dan pH Sayuran Buah [24]

No	Nama Sayuran	pH	PPM
1	Cabe	5.8-6.5	1260-1540
2	Kacang polong	6.0-7.0	980-1260

3	Okra	6.5	1400-1680
4	Tomat	6.0-6.5	1400-3500
5	Terong	6.0	1750-2450
6	Timun	5.5	1190-1750
7	Timun Jepang	6.0	1260-1680

Tabel I.4 Tabel PPM dan pH Tanaman Buah [24]

No	**Nama Sayuran**	**pH**	**PPM**
1	Blueberry	4.0-5.0	1260-1400
2	Kismis Hitam	6.0	980-1260
3	Kismis Merah	6.0	1400-1680
4	Melon	5.5-6.0	1400-1750
5	Markisa	6.5	840-1680
6	Nanas	5.5-6.0	1400-1680
7	Pisang	5.5-6.5	1260-1540
8	Pepaya	6.5	840-1680
9	Stroberi	6.0	1260-1540
10	Semangka	5.8	1260-1680

1.2 Arduino

Arduino adalah sebuah platform elektronik *open-source* berdasarkan *hardware* dan *software* yang mudah digunakan. Papan Arduino dapat membaca *input* yang didapat melalui sensor yang kemudian dikeluarkan sebagai *output* untuk mengaktifkan aktuator seperti menyalakan lampu LED dengan cara mengirimkan instruksi kepada papan Arduino melalui *port* komunikasi pada perangkat lunak Arduino IDE [7].

Arduino lahir di *Ivrea Interaction Design Institute* sebagai alat yang mudah dan cepat untuk *prototyping*, ditujukan untuk pelajar tanpa latar belakang dalam elektronik dan pemrograman. Semua jenis papan Arduino sepenuhnya *open-source*, yang memberdayakan pengguna secara independen untuk

membangun dan menyesuaikan dengan kebutuhan pengguna. Perangkat lunak IDE juga sepenuhnya *open-source*, yang berkembang melalui kontribusi dari pengguna di seluruh dunia. [7]

1.2.1 Spesifikasi Arduino UNO

Arduino UNO adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328P. Yang memiliki 14 digital pin *input* / *output* (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, kristal 16 MHz, koneksi USB, *power jack*, *header* ICSP dan tombol reset. Papan ini sudah memiliki semua yang diperlukan untuk mendukung keperluan sebuah mikrokontroler. Pengguna hanya perlu menghubungkan papan mikrokontroler ini ke komputer dengan kabel USB atau melalui *port power jack plug* dengan menggunakan adaptor AC-DC atau baterai untuk memulai. Jika terjadi kerusakan pada *chip* ATmega328P, pengguna dapat menggantinya dengan mudah.[6]



Gambar I.19 Arduino UNO

Dibawah ini merupakan spesifikasi mikrokontroler Arduino UNO:

Tabel I.5 Spesifikasi Arduino UNO [6]

Komponen	**Spesifikasi**
Mikrokontroler	ATmega328P
Tegangan Operasi	5V
Input Voltage (disarankan)	7-12V
Input Voltage (limit)	6-20V
Pin Digital I/O	14 (6 pin sebagai output PWM)

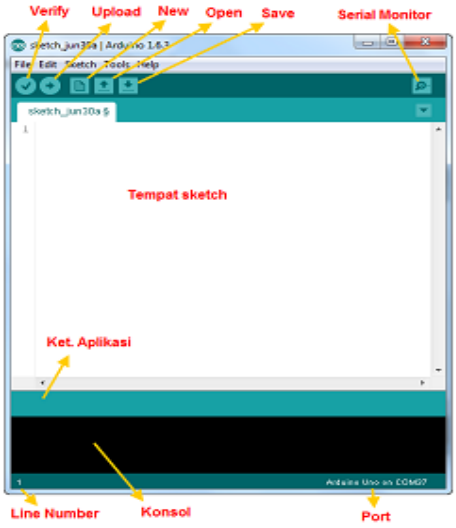
Pins Input Analog	6
Arus DC per pin I/O	20 mA
Arus DC untuk pin 3.3V	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) 0.5 KB untuk bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz
LED_BUILTIN	13
Panjan	68.6 mm
Lebar	53.4 mm
Berat	25 g

1.2.2 Perangkat Lunak Arduino (IDE)

Perangkat lunak arduino IDE (*Integrated Development Environment*) berisi editor teks untuk menulis kode, area pesan, konsol teks, *toolbar* dengan tombol untuk fungsi-fungsi umum dan serangkaian menu, yang merupakan perantara untuk meng-upload program dan berkomunikasi dengan perangkat keras Arduino [5].

Program yang ditulis menggunakan perangkat lunak Arduino (IDE) disebut *sketch*. *Sketch* ini ditulis dalam editor teks dan disimpan dengan ekstensi file .ino. Editor IDE memiliki fitur untuk *cut*/*paste* dan untuk *searching*/*replacing* teks. Daerah *Message* memberikan umpan balik saat menyimpan dan mengekspor dan juga menampilkan kesalahan. Konsol menampilkan output teks dengan Arduino Software (IDE), termasuk pesan kesalahan yang lengkap dan informasi lainnya. Dipojok kanan bawah jendela menampilkan papan yang dikonfigurasi dan *port* serial. Tombol-tombol *toolbar* memungkinkan pengguna untuk memverifikasi dan meng-*upload* program, membuat, membuka, dan menyimpan *sketch*, dan membuka serial monitor [5].

Berikut ini adalah contoh tampilan perangkat lunak IDE berserta tombol-tombol perintah pada program arduino :



Gambar I.20 Interface Arduino IDE

Dari Gambar II.3 diatas dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. *Verify,* Cek *sketch error*
2. *Upload*, *compile sketch* ke papan arduino yang dikonfigurasi.
3. *New,* buat *sketch* baru.
4. *Open,* membuka berkas *sketch*.
5. *Save,* simpan *sketch.*
6. *Serial Monitor,* membuka jendela serial monitor

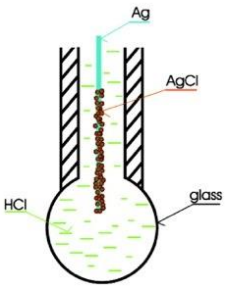
1.3 Sensor

Sensor merupakan sebuah perangkat atau *device* yang berfungsi mengubah suatu besaran fisik menjadi besaran listrik, sehingga keluarannya dapat diolah dengan rangkaian listrik atau sistem digital. [8]

1.3.1 Sensor pH

Sensor pH adalah suatu sensor untuk mengukur keasaman atau basa dari larutan air. Keasaman atau basa dari larutan air ditentukan oleh jumlah relatif dari ion hidrogen (H^+) atau ion hidroksil (OH^-). Larutan yang bersifat asam memiliki jumlah relatif ion hidrogen lebih tinggi, sedangkan larutan yang bersifat basa memiliki jumlah relatif ion hidroksil lebih tinggi. [11]

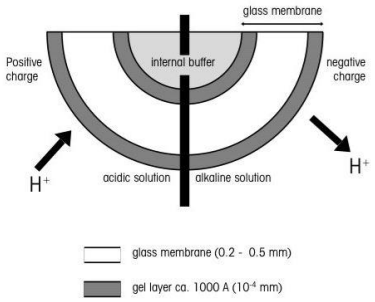
Prinsip kerja utama sensor pH adalah untuk mengukur jumlah ion H_3O^+ didalam larutan. Ujung elektroda kaca (*glass* electrode) adalah lapisan kaca setebal 0.1 mm yang berbentuk bulat (*bulb*). *Bulb* ini dipasangkan dengan silinder kaca non-konduktor yang diisi dengan larutan HCl (0.1 mol/dm^3). Didalam larutan HCl, terdapat sebuah kawat elektroda panjang berbahan perak yang pada permukaannya terbentuk senyawa setimbang AgCl. Konstannya jumlah larutan HCl pada sistem ini membuat elektroda Ag/AgCl memiliki nilai potensial stabil. [12]



Gambar I.21 Skema Sistem Elektroda Kaca (probe) [12]

Inti sensor pH terdapat pada permukaan *bulb* kaca yang memiliki kemampuan untuk bertukar ion positif (H^+) dengan larutan terukur. Kaca *bulb* tersusun atas molekul silicon diosida dengan sejumlah ikatan logam alkali. Pada saat bulb kaca ini terekspos air, ikatan SiO akan terprotonasi membentuk membran tipis $HSiO^+$ sesuai dengan reaksi berikut [12]:

$$SiO + H_3O^+ \rightarrow HSiO^+ + H_2O$$



Gambar I.22 Proses Pertukaran ion H^+ [12]

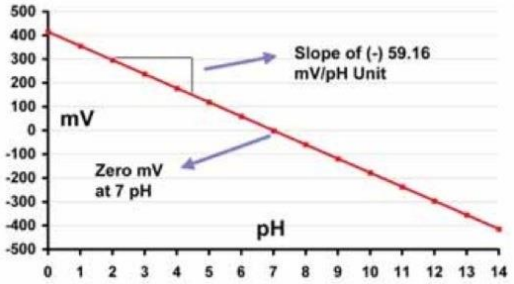
Seperti pada ilustrasi gambar II.13 diatas bahwa pada permukaan *bulb* terbentuk semacam lapisan "*gel*" sebagai tempat pertukaran ion H^+. Jika larutan bersifat asam, maka ion H^+ akan terikat ke permukaan *bulb*. Hal ini menimbulkan

muatan positif terakumulasi pada lapisan "*gel*". Sedangkan jika larutan bersifat basa, maka ion H^+ dari dinding *bulb* terlepas untuk bereaksi dengan larutan tadi. Hal ini menghasilkan muatan negative pada dinding *bulb.* [12]

Pertukaran ion hidronium (H^+) yang terjadi antara permukaan bulb kaca dengan larutan sekitarnya inilah yang menjadi kunci pengukuran jumlah ion H_3O^+ di dalam larutan. Kesetimbangan pertukaran ion yang terjadi di antara dua fase dinding kaca *bulb* dengan larutan, menghasilkan beda potensial di antara keduanya. [12]

$$E_{\text{dinding kaca/larutan}} \approx |R*T / 2.303*F \quad \log a(H_3O^+)| \qquad (I.1)$$

Dimana, R adalah konstanta molar gas (8.314 J/mol K), T untuk temperature (Kelvin), F adalah konstanta Faraday 96,485.3 C/mol, 2.303 adalah angka konversi antara logaritma alami dengan umum, dan $a(H_3O^+)$ adalah aktivitas dari hidronium (bernilai rendah jika nilai konsentrasinya rendah). Pada temperatur 25°C nilai dari RT/2.303F mendekati angka 59,16 mV. Angka 59,16 mV ini menjadi bilangan penting karena pada suhu konstan larutan 25°C, setiap perubahan 1 satuan pH, terjadi perubahan beda potensial elektroda kaca sebesar 59,16 mV. [12]



Gambar I.23 Kurva Perubahan pH dengan Beda Potensial [11]

Perhitungan nilai aktivitas hidronium ($a(H_3O^+)$) pada persamaan di atas memiliki rentang yang sangat lebar yakni antara 10 hingga 10^{-15} mol/dm3. Sehingga untuk meringkas persamaan, maka lahirlah istilah pH dengan persamaan sebagai berikut [12]:

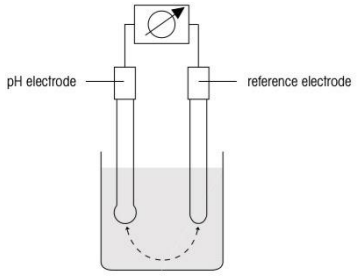
$$pH = -\log a(H_3O^+) \quad (I.2)$$

Tanda negatif adalah untuk membuat semua nilai pH dari berbagai larutan, kecuali larutan yang bersifat sangat ekstrim asam, menjadi bernilai positif.

Seperti yang telah dibahas di atas, bulb kaca berisi larutan HCl yang merendam sebuah elektroda perak. HCl ini memiliki pH konstan karena ia berada pada sistem yang terisolasi. Karena pH konstan inilah maka ia menciptakan beda potensial yang konstan pada temperatur yang konstan pula. Sebut saja potensial tersebut bernilai E', maka persamaan (II.1) di atas bersama dengan persamaan (II. 2) didapatkan persamaan beda potensial total dari elektroda kaca [12]:

$$E_{\text{elektroda kaca}} = E' - RT/2{,}303F \quad pH \quad I.3$$

Pada sebuah sistem pH meter secara keseluruhan, selain terdapat elektroda kaca juga terdapat elektroda referensi. Kedua elektroda tersebut sama-sama terendam ke dalam media ukur yang sama. Elektroda referensi digunakan untuk menciptakan rangkaian listrik pH meter. Untuk menghasilkan pembacaan pH yang valid, elektroda referensi harus memiliki nilai potensial stabil dan tidak terpengaruh oleh jenis fluida yang diukur. Pada ujung elektroda referensi terdapat *liquid junction* berupa bahan keramik sebagai tempat pertukaran ion antara elektrolit dengan larutan terukur, pertukaran ion ini dibutuhkan untuk menciptakan aliran listrik sehingga pengukuran potensiometer (pH meter) dapat dilakukan. [12]

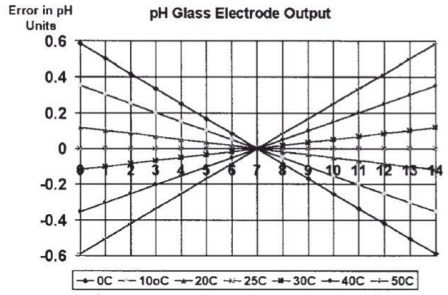


Gambar I.24 Rangkaian Elektroda Pada pH Meter [12]

Elektroda referensi memiliki nilai potensial yang konstan, sehingga persamaan rangkaian potensiometer secara keseluruhan dapat ditulis sebagai berikut [12]:

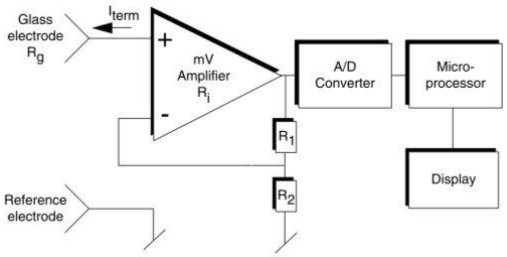
$$E = E_{\text{elektroda referensi}} + E_{\text{elektroda kaca}} \quad \text{(I.4)}$$

Pengukuran pH sangat dipengaruhi oleh temperatur larutan. Oleh karena itu diperlukan sensor temperatur (thermoprobe) pada rangkaian pH meter. Pembacaan temperatur tersebut menjadi input perhitungan pH yang dilakukan oleh microprocessor. [12]



Gambar I.25 Pengaruh Suhu Terhadap Pengukuran pH [11]

Untuk rangkaian pH meter dapat dilihat pada Gambar II.17.



Gambar I.26 Diagram Sederhana pH Meter [12]



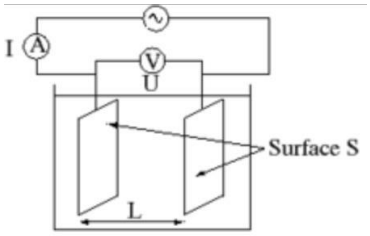
Gambar I.27 pH Sensor Module Logo_PHsensor V1.1

1.3.2 Sensor Konduktivitas / TDS (*Total Dissolved Solid*)

Sensor TDS adalah alat untuk mengukur jumlah padatan atau partikel terlarut didalam air. Alat ini biasa digunakan untuk mengukur jumlah partikel terlarut pada air atau untuk mengukur konsentrasi larutan nutrisi. Pengukuran

nutrisi pada larutan adalah suatu hal yang mutlak dan sifatnya sangat penting. Karena, jika larutan tidak diukur, bisa jadi tanaman kekurangan nutrisi atau kelebihan yang akan menjadi racun yang dapat membunuh tanaman itu sendiri. Satuan yang digunakan pada TDS meter adalah PPM (*Part per Million*). PPM merupakan satuan pengukuran jumlah partikel terlarut yang diukur menggunakan TDS meter. Mengukur kepekatan nutrisi menjadi sangat penting untuk mengetahui dengan pasti berapa kebutuhan nutrisi suatu tanaman. Perlu diketahui juga, bahwa kebutuhan nutrisi (dalam hal ini nilai PPM atau mg/L) setiap jenis tanaman itu berbeda-beda [14]. Untuk mengetahui kebutuhan kepekatan larutan nutrisi suatu tanaman dapat mengacu pada Tabel II.2, II.3 dan II.4.

Sebuah sistem *conductivity* meter tersusun atas dua elektroda, yang dirangkaikan dengan sumber tegangan serta sebuah ampere meter. Elektroda-elektroda tersebut diatur sehingga memiliki jarak tertentu antara keduanya (biasanya 1 cm). Pada saat pengukuran, kedua elektroda ini dicelupkan ke dalam sampel larutan dan diberi tegangan dengan besar tertentu. Nilai arus listrik yang dibaca oleh ampere meter, digunakan lebih lanjut untuk menghitung nilai konduktivitas listrik larutan. [13]



Gambar I.28 Prinsip Kerja Sensor Konduktivitas/TDS [14]

Resistansi dari larutan (R) dapat dihitung menggunakan hukum Ohm.

$$V = R*I \quad \text{(I.5)}$$

Dimana : V = Tegangan (Volt)
I = Arus (Ampere)
R = Hambatan (Ohm)

Tahanan listrik (R) berbanding lurus dengan jarak antara dua elektroda (L) sensor *conductivity*, dan berbanding terbalik dengan luas area elektroda (S) [14].

$$R = (L/S) * \rho \quad (I.6)$$

Dimana ρ adalah tahanan listrik spesifik (Ω.m) larutan, jika persamaan (II.5) dan (II.6) digabungkan dan karena nilai (L/S) adalah konstan untuk setiap sensor konduktivitas, maka dapat diganti dengan sebuah konstanta (C) sehingga didapatkan persamaan berikut [14]:

$$V/I = C * \rho \quad (I.7)$$

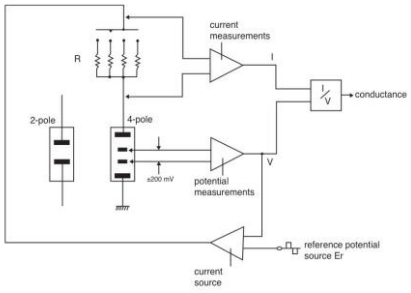
Sensor konduktivitas mengukur konduktivitas listrik spesifik (*specific conductivity*). Konduktivitas listrik spesifik adalah nilai konduktivitas listrik untuk tiap satu satuan panjang. Konduktivitas listrik spesifik ini disimbolkan dengan κ (Kappa), adalah kebalikan dari tahanan listrik spesifik (ρ) [14]:

$$\kappa = 1 / \rho \quad (I.8)$$

Dimana konduktivitas listrik spesifik menggunakan satuan S/m (Siemens per meter). Dan jika persamaan (II.7) dimasukkan ke dalam persamaan (II.8), maka akan kita dapatkan persamaan umum perhitungan nilai konduktivitas listrik spesifik [14]:

$$\kappa = C \times I / V \quad (I.9)$$

Prinsip kerja sensor konduktivitas menggunakan persamaan (II.9) di atas. Dimana besar tegangan listrik (V) ditentukan oleh sistem, besar arus listrik (I) adalah parameter yang diukur, serta konstanta (C) didapatkan sebelumnya dari proses kalibrasi sensor *conductivity* dengan menggunakan larutan yang diketahui nilai konduktivitas spesifiknya [14].



Gambar I.29 Diagram Sensor Konduktivitas [14]

Sensor yang digunakan merupakan sensor konduktivitas / TDS dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Tegangan kerja 5V
- Vout 0-5V
- *Stainless steel* sebagai elektroda



Gambar I.30 Sensor TDS / Konduktivitas

Untuk mengukur nilai PPM dengan sensor konduktivitas / TDS dapat menggunakan rumus konversi ADC (*Analog to Digital Convertion*) sebagai berikut:

$$ADC = (Vin/Vref) * 1023 \quad \text{(I.10)}$$

Rentang yang akan diukur adalah 0 – 5000 PPM, maka dapat dihitung untuk besar nilai perubahan tegangannya kedalam persamaan berikut:

$$X = 5000/1023 \quad \text{(I.11)}$$

$$PPM = X * ADC \quad \text{(I.12)}$$

1.3.3 Sensor Suhu Air DS18B20

Sensor suhu DS18B20 adalah komponen elektronika yang memiliki fungsi untuk mengubah besaran suhu menjadi besaran listrik dalam bentuk tegangan. DS18B20 merupakan sensor suhu digital yang menggunakan satu kabel untuk jalur komunikasi dengan mikroprosesor atau mikrokontroler. Dengan *range* temperatur dari -55ºC sampai dengan +125ºC, dengan keakurasian 0.5ºC pada *range* temperatur -10ºC sampai dengan 85ºC. Sensor suhu DS18B20 yang digunakan berupa kabel dengan ujung logam, bentuk fisik dapat dilihat pada gambar II.6. sensor ini memiliki tiga buah kabel yaitu kabel *VCC*, *Ground*, dan Data.



Gambar I.31 Sensor Suhu DS18B20 Digital Temperatur

Nilai keluaran sensor suhu DS18B20 dapat dihitung menggunakan rumus konversi sebagai berikut:

Temperatur = AnalogRead * (Vref * 100.0/1024.0) (I.13)

Nilai keluaran pada sensor suhu DS18B20 berupa nilai yang bersifat *digital* sehingga tidak diperlukan lagi sebuah perangkat pengubah nilai analog ke nilai *digital* (ADC). Nilai keluaran *digital* pada sensor suhu DS18B20 dapat dilihat pada tabel II.3.

Tabel I.6 Keluaran Digital Sensor Suhu DS18B20

Temperature (ºC)	**Digital Output (Binary)**	**Digital Output (Hex)**
+125ºC	0000 0111 1101 0000	07D0h
+85ºC	0000 0101 0101 0000	0550h
+25.0625ºC	0000 0001 1001 0001	0191h
+10.125ºC	0000 0000 1010 0010	00A2h
+0.5ºC	0000 0000 0000 1000	0008h
0ºC	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5ºC	1111 1111 1111 1000	FFF8h
-10.125ºC	1111 1111 0101 1110	FF5Eh
-25.0.625ºC	1111 1110 0110 1111	FE6Fh
-55ºC	1111 1100 1001 0000	FC90h

*The power on reset value of the temperature register is +85*ºC

1.3.4 Sensor Suhu Ruangan DHT11

Sensor suhu ruangan DHT11 adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur derajat suhu dan kelembaban pada suatu ruangan. Keluaran sensor DHT11 bersifat digital yang sangat mudah untuk diimplementasikan ke mikrokontroler. Gambar sensor suhu DHT11 dapat dilihat pada Gambar II.9.



Gambar I.32 Sensor Suhu DHT11

Berikut merupakan detil spesifikasi dari sensor DHT11:

Tabel I.7 Spesifikasi Sensor DHT11

Parameters	**Conditions**	**Minimum**	**Typical**	**Max**
Humidity				
Resolution		1%RH	1%RH	1%RH
			8 Bit	
Repeatability			± 1%RH	
Accuracy	25 ºC		± 4%RH	
	0-50 ºC			±5%RH
Interchangeability	Fully Interchangable			
Measurement Range	0 ºC	30%RH		90%RH
	25 ºC	20%RH		90%RH
	50 ºC	20%RH		80%RH
Response Time (Seconds)	1/e(63%) 25 ºC, 1m/s *Air*	6 s	10 s	15 s
Hysterisis			± 1%RH	
Long-Term Stability	Typical		± 1%RH/year	
Temperature				
Resolution		1 ºC	1 ºC	1 ºC
		8 Bit	8 Bit	8 Bit

Reapeatability			± 1 ºC	
Accuracy	1/e(63%)	± 1 ºC		30 s
Measurement Range		0 ºC		50 ºC
Response Time (Seconds)	1/e(63%)	6 s		30 s

1.3.5 Sensor Ketinggian Air

Sensor ketinggian air funduino memiliki fungsi sebagai pendeteksi ketinggian air dan juga dapat digunakan sebagai pendeteksi hujan. Penggunaan sensor ketinggian air ini harus diposisikan secara tegak lurus terhadap permukaan air sehingga emakin dalam sensor terendam air maka nilai tegangan keluaran dari pin S akan semakin besar. Gambar sensor ketinggian air dapat dilihat pada gambar dibawah.[21]



Gambar I.33 Sensor Ketinggian Air Funduino

Sensor ini beroperasi pada tegangan 3.3V-5V yang memiliki tiga pin yaitu VCC, GND dan S dimana pin S adalah merupakan pin *output* analog. Spesifikasi lengkapnya dapat dilihat pada Tabel II.4.[21]

Tabel I.8 Spesifikasi Sensor Ketinggian Air Funduino[21]

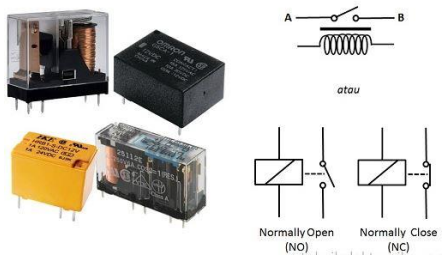
Power supply	3.3V – 5V
Current	< 20mA
Humidity sensitivity range	10% to 90%
Pinout	+ : VCC - : GND S : *Analog output*

1.4 Aktuator

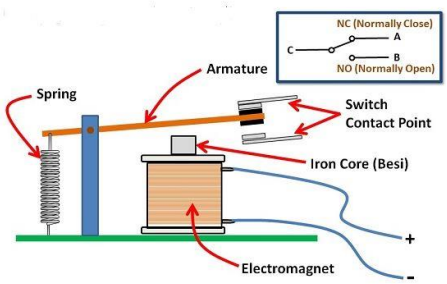
Aktuator adalah suatu peralatan mekanis untuk menggerakkan atau pengendali sebuah mekanisme suatu sistem yang dikendalikan oleh media pengendali otomatis yang terprogram diantaranya mikro kontroler. [9]

1.4.1 *Relay*

Relay merupakan saklar yang dioperasikan secara listrik dan merupakan komponen *electromechanical* yang terdiri dari dua bagian utama yakni *coil* dan *mechanical. Relay* menggunakan prinsip elegtromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar dengan arus listrik yang kecil. [15]



Gambar I.34 Bentuk dan Simbol Relay [15]



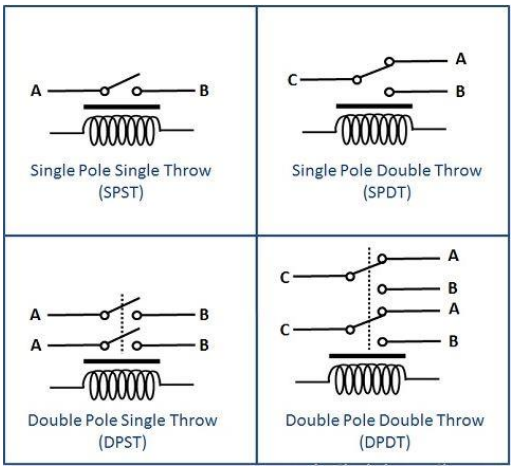
Gambar I.35 Struktur Sederhana Relay [15]

Berdasarkan Gambar II.26, sebuah besi (Iron Core) yang dililit oleh sebuah kumparan *coil* yang berfungsi untuk mengendalikan besi tersebut. Apabila kumparan *coil* diberikan arus listrik, maka akan timbul gaya elektromagnet yang kemudian menarik Armature untuk berpindah dari posisi sebelumnya (NC) ke posisi baru (NO) sehingga menjadi saklar yang dapat menghantarkan arus listrik di posisi barunya (NO). Posisi dimana Armature tersebut berada sebelumnya (NC) akan menjadi terbuka (NO) atau tidak terhubung. Pada saat tidak dialiri arus

listrik, Armature akan kembali lagi ke posisi awal (NC). *Coil* yang digunakan oleh Relay untuk menarik *Contact Point* ke posisi *Close* pada umumnya hanya membutuhkan arus listrik yang relatif kecil.[15]

Karena Relay merupakan salah satu jenis dari Saklar, maka istilah *Pole* (banyaknyakontak yang dimiliki sebuah relay) dan *Throw* (banyaknya kondisi yang dimiliki oleh sebuah kontak) yang dipakai dalam Saklar juga berlaku pada Relay. Berdasarkan penggolongan jumlah *Pole* dan *Throw* dari sebuah relay, maka relay dapat digolongkan menjadi : [15]

- *Single Pole Single Throw* (SPST) : Relay golongan ini memiliki 4 terminal, 2 terminal untuk Saklar dan 2 terminal untuk *Coil*.
- *Single Pole Double Throw* (SPDT) : Relay golongan ini memiliki 5 terminal, 3 terminal untuk Saklar dan 2 terminal untuk *Coil*.
- *Double Pole Single Throw* (DPST) : Relay golongan ini memiliki 6 terminal, diantaranya 4 terminal yang terdiri dari 2 pasang terminal Saklar sedangkan 2 terminal lainnya untuk *Coil*. Relay DPST dapat dijadikan 2 Saklar yang dikendalikan oleh 1 *Coil*.
- *Double Pole Double Throw* (DPDT) : Relay golongan ini memiliki 8 terminal, diantaranya 6 terminal yang merupakan 2 pasang Relay SPDT yang dikendalikan oleh satu (*single*) *Coil*. Sedangkan 2 terminal lainnya untuk *Coil*.



Gambar I.36 Jenis Relay berdasarkan *Pole* dan *Throw* [15]

1.4.2 Pompa Air

Pompa air merupakan suatu alat pengangkut untuk memindahkan zat cair dari suatu tempat ke tempat yang lain. Pada pompa air terdapat motor yang berfungsi untuk memberikan tekanan udara agar dapat memindahkan zat cair.



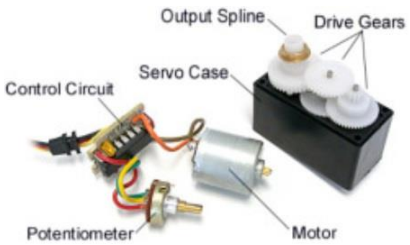
Gambar I.37 Pompa Air Untuk Memindahkan Air dari Akuarium

1.4.3 Motor Servo

Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem *closed feedback* (umpan balik tertutup) dimana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada didalam motor servo. Motor ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian gear, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui pin sinyal dari kabel motor servo [16].



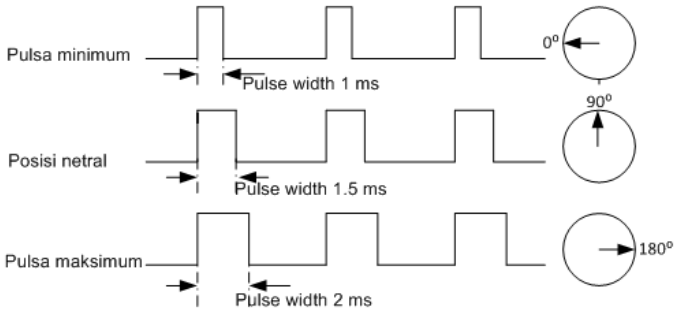
Gambar I.38 Motor Servo 9g [17]



Gambar I.39 Komponen-komponen Motor Servo [16]

Motor servo dikendalikan dengan memberikan sinyal modulasi lebar pulsa (*Pulse Width Modulation* / PWM) melalui kabel kontrol. Lebar pulsa sinyal

kontrol yang diberikan akan menentukan posisi sudut putaran dari poros motor servo. Sebagai contoh, lebar pulsa dengan waktu 1,5 ms (mili detik) akan memutar poros motor servo ke posisi sudut 90º. Bila pulsa lebih pendek dari 1,5 ms maka akan berputar ke arah posisi 0º atau ke kiri (berlawanan dengan arah jarum jam), sedangkan bila pulsa yang diberikan lebih lama dari 1,5 ms maka poros motor servo akan berputar ke arah posisi 180º atau ke kanan (searah jarum jam). [17]



Gambar I.40 Sinyal Lebar Pulsa Kendali Motor Servo [17]

1.4.4 Pemanas Air

Pemanas air adalah suatu alat yang menghasilkan panas dengan dikontrol listrik sehingga dapat dikendalikan oleh pengguna untuk meningkatkan atau menstabilkan suhu air pada akuarium.



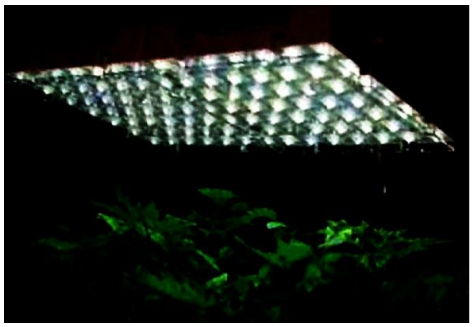
Gambar I.41 Pemanas Air untuk Akuarium

1.4.5 Lampu (*Grow Light*)

Lampu merupakan suatu komponen listrik yang bekerja sebagai pemancar cahaya yang dihasilkan dari suatu proses kelistrikan. Pada tugas akhir ini penulis menggunakan jenis lampu LED sebagai sumber pencahayaan untuk pertumbuhan tanaman dan juga ikan.

Lampu LED, kependekan dari ”*Light Emitter Diodes*” sangat efektif untuk pencahaayan tanaman didalam ruangan. Lampu ini memancarakan spektrum

panjang gelombang yang luas dan tidak terlalu panas untuk jumlah cahaya yang dihasilkan. Lampu LED hanya mengkonsumsi listrik sekitar 70% dari lampu pijar dan 10 kali lebih awet. Kelemahan utama dari lampu LED adalah harga pembelian awal yang sangat mahal. Namun biaya penggantian lebih murah. [23]

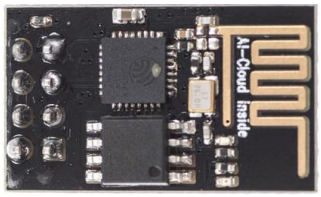


Gambar I.42 *Grow Light* [23]

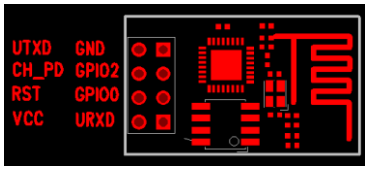
Selain keseimbangan yang tepat seperti nutrisi, air dan udara, pencahaayaan adalah faktor terakhir yang dibutuhkan untuk keberhasilan bertani tanpa media tanah. Untuk akuaponik didalam ruangan, membutuhkan pencahayaan dari lampu yang terang sekitar 14-16 jam, dilanjutkan dengan 8-10 jam dalam keadaan gelap, karena tanaman membutuhkan waktu gelap untuk metabolisme dan istirahat. [23]

1.5 ESP8266 Wifi *Module*

ESP8266 *Wifi Module* adalah modul *Wifi* yang dapat memberikan akses mikrokontroler ke jaringan *WiFi.* Modul ini adalah modul SoC (*System on Chip*) mandiri yang tidak selalu memerlukan mikrokontroler (biasanya Arduino) untuk memanipulasi masukan dan keluaran. ESP8266 *WiFi Module* juga dapat bertindak sebagai mikrokontroler. Hal ini membuat ESP8266 sangat fleksibel.[19]



Gambar I.43 ESP8266-01 Wifi Module [19]



Gambar I.44 Pin ESP8266-01 [20]

Tabel I.9 Deskripsi fungsi masing-masing pin ESP-01 [20]

Pin	Deskripsi
UTXD	UART0 *Transmit*
URXD	UART0 *Receive*
GPIO0	Memiliki internal *pull-up*
GPIO2	Memiliki internal *pull-up*
CH_PD	Chip *enable*, aktif *High*
RST	*External reset signal*
GND	*Ground*
VCC	+3.3V power input

Modul ESP8266 memiliki karakteristik seperti berikut [18]:

- *802.11 b/g/n protocol*
- *Wi-Fi 2.4 GHz, support WPA/WPA2*
- *Super small module size (11.5mm x 11.5mm)*
- *Integrated 10-bit ADC*
- *Integrated TCP/IP protocol stack (ipv4 only at the moment)*
- *Integrated TR switch, balun, LNA, power amplifier and matching network*
- *Integrated PLL, regulators, and power management units*
- *+20dBm output power in 802.11b mode*
- *Supports antenna diversity*
- *Deep sleep power <10uA, Power down leakage current < 5uA*
- *Integrated low power 32-bit MCU*
- *SDIO 2.0, SPI, UART, I2C*
- *STBC, 1x1 MIMO, 2x1 MIMO*

- *A-MPDU & A-MSDU aggregation & 0.4μs guard interval*
- *Wake up and transmit packets in < 2ms*
- *Standby power consumption of < 1.0mW (DTIM3)*
- *Operating temperature range -40C ~ 125C*

Modul ESP8266 dioperasikan dengan perintah AT. Berikut adalah perintah-perintah AT untuk mengoperasikan modul ESP8266:

Tabel I.10 AT *Commands* [18]

Commands	***Set/Execute***	***Test***	***Description***
AT+RST			*Restart the module*
AT+CWMODE	AT+CWMODE=<mode>	AT+CWMODE=?	*Wifi mode* 1=Sta, 2=AP, 3=both
AT+CWJAP	AT+ CWJAP =<ssid>,<pswd>	AT+ CWJAP?	*Join the AP*
AT+CWLAP	AT+CWLAP		*List of the AP*
AT+CWQAP	AT+CWQAP	AT+CWQAP=?	*Quit the AP*
AT+CWSAP	AT+CWSAP= <ssid>,<pswd>,<channel>, <encryption>		*Set the parameters of AP*
AT+CIPSTATUS	AT+CIPSTATUS		*Get the connection status*
AT+CIPSTART	1)single connection (+CIPMUX=0) AT+CIPSTART= <type>,<addr>,<port>; 2) multiple connection (+CIPMUX=1) AT+CIPSTART=	AT+CIPSTART=?	*set up TCP or UDP connection* : id = 0-4, type = TCP/UDP, addr = IP address, port= port

	<id><type>,<addr>, <port>		
AT+CIPSEND	1)single connection(+CIPMUX=0) AT+CIPSEND=<length>; 2) multiple connection (+CIPMUX=1) AT+CIPSEND= <id>,<length>	AT+CIPSEND=?	*send data TCP/IP*
AT+CIPCLOSE	AT+CIPCLOSE=<id> or AT+CIPCLOSE	AT+CIPCLOSE=?	*close TCP or UDP connection*
AT+CIFSR	AT+CIFSR	AT+ CIFSR=?	*Get IP address*
AT+ CIPMUX	AT+ CIPMUX=<mode>		*Set connection mode* (0=single, 1=mutiple)
AT+ CIPSERVER	AT+ CIPSERVER= <mode>,[<port>]		*Set server mode : 0=close, 1=open, port = port*
+IPD			*received data*

1.6 Web

Web atau dikenal sebagai *World Wide Web* adalah suatu ruang informasi yang dapat berupa teks, gambar, video dan suara yang disimpan di server dan dapat diakses melalui web *browser* dengan jaringan internet yang menggunakan konsep *URL* (*Uniform Resources Locator*) untuk menuliskan alamat web yang akan diakses menggunakan protokol *HTTP* (*HyperText Transfer Protocol*). [22]

Web merupakan layanan yang paling cepat berkembang dan paling popular dikalangan pengguna internet. Web saat ini telah semakin dinamis, interaktif dan cerdas dengan bahasa pemrograman yang dikembangkan seperti *PHP* (*Hypertext PreProcessor*), JavaScript dan *CSS* (*Cascading Style Sheet*) untuk menutupi kekurangan yang terdapat pada *HTML* (*HypertText Markup Language*).[22]