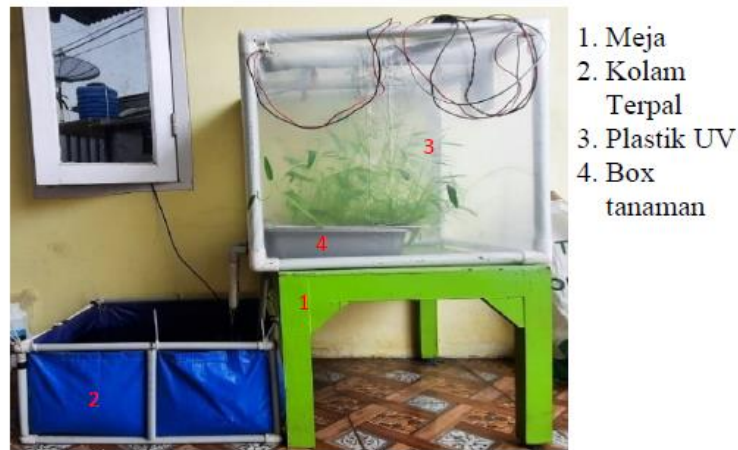


## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Akuaponik

Akuaponik merupakan metode bercocok taman yang menggabungkan akuakultur dan budidaya tanaman secara hidroponik dalam satu tempat, yang mana menggunakan air sebagai media tamannya, dan menjadikan lingkungan hidup bagi ikan yang ada di dalam airnya, sehingga tanaman akan mendapatkan nutrisi dari sisa metabolisme ikan tersebut, dan ikan akan tumbuh secara optimal karena mendapatkan air yang lebih bersih karena adanya tanaman yang menjadi filter alami [16]. Gambar akuaponik dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Akuaponik

Akuaponik menjadi salah satu metode bercocok tanam yang cocok untuk petani sayur khususnya, bercocok tanam dikota yang memiliki tanah atau lahan yang terbatas, karena mampu menghemat lahan dan mampu mendapatkan hasil yang lebih produktif pada satu kali masa tanam sayur tersebut.

#### 2.2 Green house

*Green house* merupakan suatu bangunan yang terdiri dari material kaca atau plastik bening yang berfungsi agar memudahkan masuknya sinar matahari, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan tanpa terganggu dengan keadaan iklim sekitar lingkungan rumah kaca. Rangka rumah kaca harus dibangun dengan struktur

yang kokoh, dan memiliki ventilasi udara yang cukup agar melancarkan sirkulasi udara [16].

*Green house* berfungsi untuk menjaga keadaan iklim yang ada di dalam ruangan *green house* agar kelembapan udara, tanah, suhu, dan intensitas cahaya mampu dijaga dengan baik dan dapat dengan mudah dilakukan *monitoring* dan di kendali dengan mudah. Ada beberapa parameter yang harus diperhatikan dan dilakukan *monitoring* diantaranya kelembapan tanah, suhu, intensitas cahaya, dan sirkulasi udara [17].

*Green house* yang berada pada wilayah indoneisa yang beriklim tropis memiliki banyak keuntungan dalam aktivits produksi tanaman karena tidak banyak terpengaruh perubahan iklim yang ekstrim, curah hujan, kekeringan dan angin kencang yang berasal dari luar ruangan *green house*.

### 2.3 Tanaman kangkung

Kangkung darat (*Ipomea reptans Poir*) merupakan salah satu tanaman hortikultura yang sangat digemari oleh masyarakat Indonesia karena rasanya yang gurih. Tanaman ini termasuk kelompok tanaman semusim dan berumur pendek dan tidak memerlukan area yang luas untuk membudidayakannya sehingga memungkinkan di budidayakan di kota yang pada umumnya lahannya terbatas. Kangkung yang di gunakan seperti pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Tanaman Kangkung.

Pada Gambar 2.2 merupakan kangkung yang banyak ditanam di Pulau Jawa khususnya di Jawa Barat, juga di Irianjaya di Kecamatan Muting Kabupaten Merauke, kangkung merupakan lumbung hidup sehari-hari[17].Tanaman

kangkung akan mampu tumbuh secara optimal pada suhu 20 s.d. 30°C dengan kelembapan >60% kelembapan udara relatif (RH) dan dengan pH kisaran 5,5 sampai 6,5.[18].

#### **2.4 Ikan mas**

Ikan mas (*common carp*) adalah salah satu komoditas ikan air tawar yang memiliki nilai ekonomis. Ikan ini telah memasyarakat dan tersebar hampir di seluruh provinsi di Indonesia Demikian juga di Sumatera ikan mas sangat familiar di masyarakat khususnya di Provinsi Palembang, Bengkulu, Sumatera Barat, dan Sumatera Utara. Banyak pembudidaya ikan di provinsi tersebut membudidayakan ikan mas mulai dari segmen pembenihan sampai ke pembesaran untuk ukuran konsumsi. Ikan mas seperti pada Gambar 2.3



Gambar 2.3 Ikan Mas

Permasalahan dalam kualitas benih yang rendah disebabkan oleh kualitas induk dan rendahnya produksi pada *fase* larva. Penyediaan benih yang bermutu baik dalam jumlah cukup dan *kontinyu* merupakan faktor penting dalam upaya pengembangan budidaya ikan konsumsi [19].

#### **2.5 Faktor luar terhadap pertumbuhan tanaman dan ikan**

Ada beberapa faktor yang mampu mempengaruhi laju pertumbuhan tanaman dan ikan diantaranya adalah pH dan kelembapan. Dalam suatu aktivitas pertanian terutama dengan memanfaatkan sistem akuaponik pada *green house* sangat perlu memperhatikan keadaan lingkungan didalamnya, hal

itu untuk menghasilkan pertumbuhan yang *optimal*, seperti 2 faktor dibawah ini:

a. pH(*Power of Hydrogen*)

pH(*Power of Hydrogen*) didefinisikan sebagai *logaritme negative* dari konsentrasi ion hidrogen yang mempunyai skala antara 0 s.d. 14. pH mengindikasikan air atau cairan termasuk netral, basa atau asam. Air dengan pH  $< 7$  termasuk asam dan pH  $> 7$  termasuk basa [20].

b. Kelembapan

Kelembapan udara adalah banyaknya uap air yang terkandung dalam udara atau atmosfer. Besarnya tergantung dari masuknya uap air ke dalam atmosfer karena adanya penguapan dari air yang ada di lautan, danau, dan sungai, maupun dari air tanah. Disamping itu terjadi pula dari proses transpirasi, yaitu penguapan dari tumbuh tumbuhan. Sedangkan banyaknya air didalam udara bergantung kepada banyak faktor, antara lain adalah ketersediaan air, sumber uap, suhu udara, tekanan udara, dan angin [21].

Sebagai nilai perbandingan antara tekanan uap air. Kelembapan biasanya lebih tinggi apabila berada dalam suatu ruangan yang memiliki ventilasi yang minim untuk sirkulasi udara, kelembapan dibutuhkan pada kegiatan pertanian terutama pada ruangan *green house* untuk membuat pertumbuhan suatu tumbuhan atau ikan menjadi lebih optimal.

## 2.6 Sistem kendali

Sistem kendali merupakan suatu susunan komponen fisik yang terhubung atau terkait sedemikian rupa sehingga dapat memerintah, mengarahkan, atau mengatur diri sendiri atau sistem lain. Sistem kendali terdiri dari sub-sistem dan proses yang disusun untuk mendapatkan *output* dan kinerja yang diinginkan dari *input* yang diberikan. Tujuan utama sistem kendali adalah untuk mendapatkan optimasi, dalam hal ini dapat diperoleh berdasarkan fungsi dari sistem kendali itu tersendiri, seperti pengukuran, membandingkan, pencatatan, perhitungan dan perbaikan [22].

## 2.7 Kendali PID

Bedasarkan data, ada sekitar 97% industri yang bergerak di bidang proses menggunakan kendali PID (*Proportional Integral Derivatif*) dalam melakukan pengontrolannya. Pada awalnya, kendali PID umumnya diimplementasikan dengan menggunakan rangkaian elektronika analog. Seiring dengan berkembangnya dunia digital terutama mikroprosesor dan mikrokontroler, algoritma kendali PID dapat direalisasikan ke dalam bentuk persamaan PID digital. Jika diimplementasikan hanya berupa sebuah program saja yang ditanamkan ke dalam *embedded system* mikrokontroler [22].

### a. Kendali Proporsional (P)

Kendali proporsional berfungsi untuk memperkuat sinyal kesalahan penggerak, sehingga akan mempercepat keluaran sistem mencapai titik referensi.

Hubungan antara *input* kontrol  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  terlihat pada Persamaan (2.1) berikut.

$$u(t) = K_p e(t) \quad (2.1)$$

Apabila Persamaan (2.1) didiskritkan maka akan menjadi:

$$u(t) = K_p e(k) \quad (2.2)$$

### b. Kendali Integral (I)

Kendali integral pada prinsipnya bertujuan untuk menghilangkan kesalahan keadaan tunak (*offset*) yang biasanya dihasilkan oleh kendali proporsional. Hubungan antara *output* kendali integral  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  [7], terlihat pada Persamaan 2.3 berikut.

$$u(t) = K_i \int_u^t e(t) dt \quad (2.3)$$

Apabila Persamaan 2.3 didiskritkan maka akan menjadi:

$$u(k) = K_i \sum_{i=0}^k e(i) T_c \quad (2.4)$$

$$u(k) = K_i T_c \sum_{i=0}^k e(i) = K_i T_c [e(0) + e(1) \dots + e(k-1) + e(k)] \quad (2.5)$$

$$u(k) = K_i T_c [e(k-1) + e(k)] \quad (2.6)$$

Dimana:

$T_c$  = waktu pencuplikan (*sampling time*)

*Integral* ( $\int$ ) adalah suatu operator matematis dalam kawasan kontinyu, jika didiskritkan maka akan menjadi *sigma* ( $\sum$ ). Fungsi dari operator *sigma* adalah

menjumlahkan nilai ke-1 sampai dengan nilai ke-k. Berdasarkan perhitungan diatas, variabel *error* ( $e$ ) yang diintegalkan dalam kawasan *diskrit* akan menjadi  $e(0) + e(1) + \dots + e(k-1) + e(k)$ , atau dengan kata lain *error* yang sebelumnya dijumlahkan hingga *error* yang sekarang.

### c. Kendali Derivatif (D)

Kendali derivatif dapat disebut pengendali laju, karena *output* kendali sebanding dengan laju perubahan sinyal *error*. Hubungan antara *output* kendali derivatif  $u(t)$  dengan sinyal *error*  $e(t)$  terlihat pada Persamaan (2.7) berikut.

$$u(t) = K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.7)$$

Apabila Persamaan (2.7) didiskritkan maka akan menjadi:

$$u(t) = K_d \frac{e(k) - e(k-1)}{T_c} \quad (2.8)$$

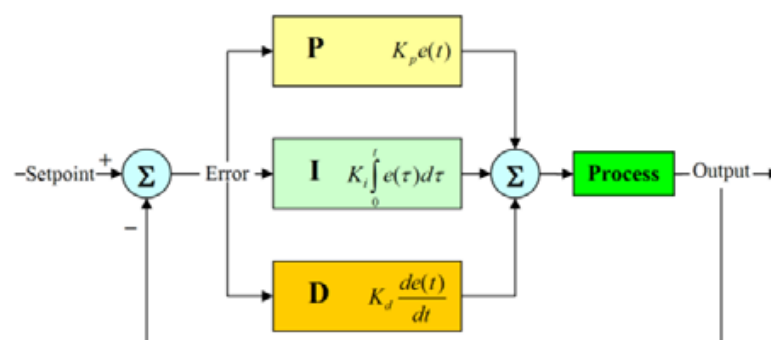
dimana:

$T_c$  = waktu pencuplikan (sampling time)

Derivatif ( $\frac{dx}{dt}$ ) adalah suatu operator matematis pada kawasan kontinyu, jika didiskritkan maka akan menjadi limit. Fungsi dari operator *limit* adalah mengurangi nilai ke-k dengan nilai ke-[k-1]. Kendali yang digunakan dalam sistem kendali PID seperti dibawah ini

#### a. Kendali PID

Gabungan dari ketiga kendali dari  $K_p$ ,  $K_i$ , dan  $K_d$  dalam suatu sistem kontrol disebut dengan “kontrol PID (*Proportional, Integral, Derivatif*)”. Diagram Blok dari kendali PID ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 Diagram Blok Kontrol PID [21]

Kendali ini dapat digunakan untuk memperbaiki respon transien dengan memprediksi *error* yang akan terjadi [21].

b. Aksi Kendali *Proportional, Integral, Derivatif*

Aksi kendali gabungan ini menghasilkan performansi serta keuntungan gabungan dari aksi kendali sebelumnya. PID mempunyai karakteristik *reset* kendali dan rate kendali yaitu meningkatkan respon dan stabilitas sistem serta mengeliminasi steady state *error*. Ini adalah kombinasi dari ketiga aksi kendali:

$$V_o = K_p \cdot e(t) + K_i \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.9)$$

Dari Persamaan (2.9) dapat dirumuskan menjadi pen-*digitalization* PID dengan berbagai metode, sehingga diperoleh bentuk digital diskritnya menjadi persamaan (2.10).

$$u(k) = K_p e_k + K_i T \sum_0^k e_k + \frac{1}{T} K_D (e_k - e_{k-1}) \quad (2.10)$$

Jika kita terapkan dalam bahasa pemrograman menjadi Persamaan (2.11).

$$V_o = K_p \times error + K_i \times (error + last\ error) + Ts + \frac{Kd}{Ts} \times (error + last\ error) \quad (2.11)$$

dengan:

$T_s =$  *time sampling*.

*error* = nilai kesalahan.

*last error* = nilai *error* sebelumnya.

Deviasi atau simpangan antar variabel terukur (PV) dengan nilai acuan (SP) disebut *error* sehingga dirumuskan pada Persamaan (2.12).

$$Error = SP - PV \quad (2.12)$$

dengan:

SP = *Setpoint*

PV = *Present Value*

*Error* = nilai kesalahan.

Nilai *error* dari pembacaan sensor ini yang dijadikan aksi perhitungan kendali PID [21].

## 2.8 Komponen sistem akuaponik

Komponen yang digunakan untuk menjalankan sistem yang diterapkan pada suatu akuaponik dalam perancangan *hardware* yang terdiri dari mikrokontroler

berupa arduino uno, sensor suhu dan kelembapan DHT22, sensor pH 4502C, *relay*, LCD (*Liquid Crystal Display*), pompa air, kipas DC(), *power supply*. Seluruh komponen memiliki fungsi masing masing terhadap sistem saat bekerja pada akuaponik untuk melakukan kendali sesuai *set piont* yang diinginkan.

### 2.8.1 Arduino Uno

Board pada arduino uno memiliki 14 pin *input* atau *output* digital dimana 6 pin digunakan sebagai *output* PWM, 6 inpu analog, memiliki resonansi 16Mhz, dengan koneksi kabel USB, *header* ICSP, dan tombol *reset*. *Board* ini memiliki semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler. Cukup sambungkan ke komputer dengan kabel USB atau daya dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk menjalankannya [22].



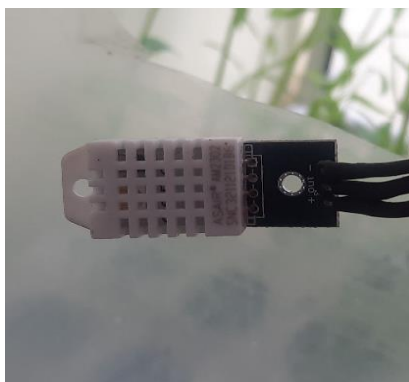
Gambar 2.5 Arduino Uno

Bentuk dari arduino uno yang digunakan pada alat skripsi ini seperti pada Gambar 2.5. Arduino Uno merupakan sebuah *board* yang berbasis mikrokontroler pada ATmega328P.

### 2.8.2 Sensor DHT22

DHT22 merupakan sensor yang memiliki *output* dari kalibrasi berupa sinyal digital. DHT22 menggunakan teknik mengumpulkan sinyal digital eksklusif dari kelembapan dan suhu, memastikan akurasi dan stabilitasnya. Elemen sensor terhubung dengan chip tunggal 8bit komputer. Ukuran kecil konsumsi daya yang rendah dan jarak pengambilan data pada lingkungan hingga radius 20cm, memungkinkan DHT22 cocok di aplikasikan pada lingkungan yang lumayan luas. Bentuk sensor DHT22 seperti pada Gambar 2.6.





Gambar 2.6 Sensor DHT22

Gambar 2.6 merupakan sensor DHT22 yang berfungsi sebagai sensor suhu dan kelembapan yang dirancang khusus untuk 2 jenis pengukuran. Konsumsi daya yang digunakan oleh sensor sangat rendah sehingga cocok digunakan untuk *monitoring* suhu dalam ruangan. DHT22 memiliki rentang ukur suhu 40°C s.d. 125°C. pada sensor sedangkan kelembapan memiliki ukur sekitar 0% s.d. 100% Sensor ini memiliki tiga buah pin yaitu pin satu Vcc sebagai sumber tegangan, pin kedua data sebagai *input/output*, pin ketiga sebagai *ground* dimana dapat dihubungkan ke mikrokontroler lainnya [23].

Sensor DTH22 yang merupakan sensor suhu dan kelembapan memiliki spesifikasi seperti pada Tabel 2.1 dibawah ini

Tabel 2.1 Tabel spesifikasi DHT22 [23]

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

### 2.8.3 Sensor pH 4502C

Alat ukur derajat keasaman (pH meter) adalah sebuah alat elektronik yang digunakan untuk mengukur pH (derajat keasaman atau kebebasan) dari suatu cairan. Alat ukur kadar keasaman (pH meter) biasa terdiri dari probe pengukuran yang terhubung pada sebuah alat elektronik yang mengukur dan menampilkan nilai pH. Prinsip dasar pengukuran pH dengan menggunakan pH meter adalah potensial elektrokimia yang terjadi antara larutan yang terdapat di dalam elektroda gelas yang telah diketahui dengan larutan yang terdapat di luar elektroda gelas yang tidak diketahui. Gambar sensor pH dapat dilihat pada Gambar 2.7.

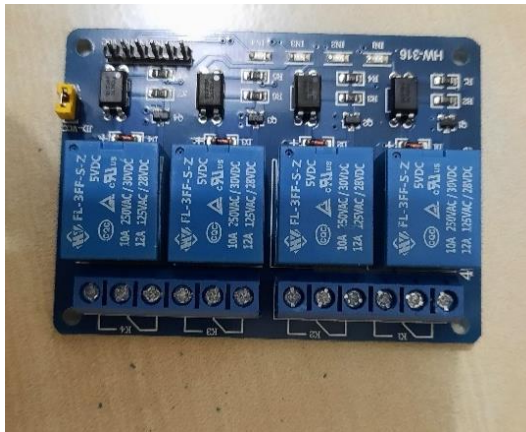


Gambar 2.7 Sensor pH 4502C

Hal ini dikarenakan lapisan tipis dari gelembung kaca akan berinteraksi dengan ion hidrogen yang ukurannya relatif kecil dan aktif. Skema elektroda pH meter akan mengukur potensial listrik antara *mercury kloride* ( $\text{HgCl}$ ) pada elektroda pembanding dan *potassium chloride* ( $\text{KCl}$ ) yang merupakan larutan di dalam gelas elektroda serta potensial antara larutan dan elektroda perak. Tetapi potensial antara sampel yang tidak diketahui dengan elektroda gelas dapat berubah sesuai sampelnya [24].

### 2.8.4 Relay

*Relay* adalah saklar mekanik yang dikendalikan atau dikendali secara elektronik (elektromagnetik). Saklar pada *relay* akan terjadi perubahan posisi OFF ke ON pada saat diberikan energi elektromagnetik pada *armature relay* tersebut. *Relay* pada dasarnya terdiri dari 2 bagian utama yaitu bagian kumparan dan *contact point*.. Bentuk *relay* seperti pada Gambar 2.8.



Gambar 2.8 Relay

Gambar 2.8, Ketika kumparan pada *relay* diberikan tegangan DC atau AC, maka akan terbentuklah medan elektromagnetik yang mengakibatkan *contact point* akan mengalami *switch* ke bagian lain. Keadaan ini akan bertahan selama arus masih mengalir pada kumparan *relay*. *Contact point* akan kembali *switch* ke posisi semula jika tidak ada lagi arus yang mengalir pada kumparan *relay* [25].

### 2.8.5 LCD(Liquid Crystal Display)

LCD(Liquid Crystal Display) adalah lapisan dari campuran organik antara lapisan kaca bening dengan elektroda transparan indium oksida dalam bentuk tampilan *seven segment* dan lapisan elektroda pada kaca belakang. Ketika elektroda diaktifkan dengan medan listrik (tegangan), molekul organik yang panjang dan silindris menyesuaikan diri dengan elektroda dari segmen. Bentuk dari LCD dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2.9 LCD(Liquid Crystal Display)

Gambar 2.9 lapisan *sandwich* memiliki *polarizer* cahaya *vertikal* depan dan *polarizer* cahaya horisontal belakang yang diikuti dengan lapisan *reflektor*. Cahaya yang dipantulkan tidak dapat melewati molekul-molekul yang telah menyesuaikan diri dan segmen yang diaktifkan terlihat menjadi gelap dan membentuk karakter data yang ingin ditampilkan [26].

### 2.8.6 Pompa air

Pompa air adalah alat yang digunakan untuk memindahkan suatu cairan atau *fluida* dari suatu tempat ke tempat yang lainnya melalui saluran pipa dengan menggunakan tenaga listrik untuk menghisap dan menyalurkan air secara terus menerus. Pompa yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10 Pompa air.

Dalam prinsip pompa DC pada Gambar 2.10. Kerjanya pompa memiliki perbedaan pada 2 buah bagian *input* dan *output*nya memiliki perbedaan pada bagian tekanan dan bagian hisap, perbedaan tekanan tersebut dihasilkan melalui mekanisme yang terjadi pada roda *impler*, yang membuat keadaan sisi hisap menjadi tidak bergerak. Perbedaan inilah yang dapat menghisap cairan atau *fluida* sehingga dapat dialirkan dari suatu *reservoir* ke tempat lain [27]. Pada penelitian ini digunakan pompa dengan tegangan 12 Volt DC.

### 2.8.7 Kipas DC

Kipas merupakan komponen yang berfungsi menghasilkan angin dan membantu sirkulasi udara menjadi lebih cepat, sehingga mampu menghasilkan

udara yang lebih kering dan sejuk biasanya memiliki 3 atau lebih baling baling dan kipas DC biasanya bekerja pada tegangan 12 VDC., seperti pada Gambar 2.11.



Gambar 2.11 Kipas DC.

Kipas yang digunakan seperti Gambar 2.11 yang memiliki banyak fungsi dan kegunaan pada alat elektronik, khususnya berfungsi sebagai pendingin komponen yang bekerja dalam jangka waktu lama terutama pada PC yang berguna untuk mendinginkan CPU yang bekerja dalam jangka waktu yang lama dan bekerja berat. Pada penelitian kali ini digunakan kipas dengan *input* 12 V DC [28].

### **2.8.8 Power supply**

*Power supply* atau catu daya adalah suatu perangkat listrik yang dapat memberikan energi listrik untuk perangkat listrik yang lain. *Power Supply* yang langsung menyearahkan (*rectify*) dan menyaring (*filter*) tegangan *Input* AC untuk mendapatkan tegangan DC. Tegangan DC tersebut kemudian di-*switch ON* dan *OFF* pada frekuensi tinggi dengan sirkuit frekuensi tinggi sehingga menghasilkan arus AC yang dapat melewati Transformator Frekuensi Tinggi [29]. Pada penelitian kali ini digunakan power supply 12V 5A, dan 12V 3A. Gambar *power supply* yang digunakan seperti pada Gambar 2.12.



Gambar 2.12 *Power supply*.

## 2.9 Matlab

Matlab (*Matrix Laboratory*) adalah suatu program untuk analisis dan komputasi numerik dan merupakan suatu bahasa pemrograman matematika lanjutan yang dibentuk dengan dasar pemikiran menggunakan sifat dan bentuk matriks. Pada awalnya, program ini merupakan *interface* untuk koleksi rutin-rutin *numeric* dari proyek Linpack dan Eispack, dan dikembangkan menggunakan bahasa fortran namun sekarang merupakan produk komersial dari perusahaan Mathworks, Inc. yang dalam perkembangan selanjutnya dikembangkan menggunakan bahasa C++ dan *assembler* [30].

## 2.10 Kajian pustaka

Penelitian dilakukan untuk kendali terhadap suhu dan kelembababan tanaman tomat pada *green house*. Sistem kendali kelembaban tanah pada tanaman tomat menggunakan metode PID yang dirancang dapat melakukan monitoring secara otomatis dengan mengontrol kelembapan tanah pada tanaman tomat agar dapat mempertahankan nilai kelembapan tanah sesuai dengan yang diinginkan, yaitu sekitar 60%. Hasil pengujian keseluruhan sistem didapatkan hasil tuning PID yang terbaik dengan nilai  $k_p$  30,  $k_i$  100, dan  $k_d$  80. Kinerja PID sudah mendekati nilai *setpoint* dan terdapat sedikit *error* dan nilai PWM yang dihasilkan meningkat ataupun menurun dengan cepat sebanding dengan parameter  $k_p$  yang diberikan [31].

Penelitian bertujuan untuk merancang sistem kendali dan monitoring kualitas air parameter pH air pada budidaya ikan koi dengan menggunakan pengontrolan

PID-*Gain Scheduling* (PID-GS) dan thingspeak untuk pemantauannya. Dalam kasus ini, kendali PID-GS digunakan untuk mengatur kecepatan motor pompa DC 12V yang akan mengalirkan isi cairan buffer pH asam dan pH basa. Penjadwalan yang digunakan untuk mengganti nilai parameter PID berupa nilai *error* yang mana penjadwalan tersebut akan dibagi menjadi 3 jenis, yaitu  $e > 3$ ;  $1,5 < e \leq 3$  dan  $0 < e \leq 1,5$  [32].

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui hasil pengujian sistem kendali kelembapan pada miniatur aeroponik menggunakan kendali PID sehingga dapat memperbaiki hasil respon kelembapan *plant* miniatur aeroponik agar tetap stabil sesuai nilai kelembapan *setpoint* yang dikehendaki. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali kelembapan pada miniatur aeroponik berhasil dibuat. Implementasi kendali pada sistem kendali kelembapan pada miniatur aeroponik dengan nilai respon dinamik pada saat parameter PID dengan nilai  $K_p$  121.4,  $K_i$  20 dan,  $K_d$  5 dapat memperbaiki respon sistem dengan  $E_{ss}$  0,046% [33].

Tujuan digunakannya PID adalah digunakan untuk mengontrol laju aliran minyak berat masuk pipa dengan mengontrol getaran di motor pompa. Aktuator torsi diletakkan pada pompa motor untuk mengontrol getaran pada motor dan akan mengontrol laju aliran dalam pipa. Pada penelitian ini didapatkan nilai  $K_p$  458,  $K_i$  650,  $K_d$  110, sebagai sistem terbaik yang digunakan pada *plant* [34].

Pada penelitian ini bertujuan untuk melakukan deteksi dan pemadaman api dengan menggunakan robot kendali otomatis. Kontrol PID yang digunakan dengan menggunakan nilai  $K_p$  18 *respon* yang dihasilkan cukup cepat dengan nilai *rise time* 17,6 detik, kemudian pada saat ditambahkan nilai  $K_d$  7 *respon* yang dihasilkan memiliki nilai osilasi yang kecil dan memiliki nilai *rise time* 16,6 detik serta dapat mencapai *steady state* pada waktu 74,4 detik, kemudian pada saat ditambahkan nilai  $K_i$  8 *respon* yang dihasilkan sudah dapat mencapai *steady state* dengan *rise time* 15,2 detik dan *setting time* 67,2 detik [35].

Tujuan dilakukan penelitian ini untuk melakukan kendali terhadap suhu yang ada di dalam inkubator. Fungsi kendali pada inkubator *mobile* dapat bekerja sesuai spesifikasi yang dikehendaki berdasarkan program dengan mikrokontroler Arduino menggunakan PID. Gain kendali PID paling optimum pada pemanas dan

kipas pada inkubator ini adalah  $K_p$  1,501,  $K_i$  0,015, dan  $K_d$  -1,319. Sistem ini bersifat stabil dengan nilai *gain margin* sebesar 109 dB dan *phase margin* sebesar inf derajat [36].