

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian terkait judul "Sistem Monitoring Suhu Air Pada *Aquascape* Berbasis *Internet of Things* (IoT)." Pada penelitian ini membuat suatu perangkat yang menggunakan mikrokontroler NodeMcu Esp8266 dan sensor suhu DS18B20 untuk memonitor suhu air dalam *aquascape*. Perangkat ini menghasilkan output yang dapat diakses oleh pengguna melalui LCD dan situs web. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai sensor suhu dengan termometer digital dalam tiga skenario: air dingin, air normal, dan air hangat. Kedua perangkat diuji pada air yang sama untuk mengukur keakuratan hasil suhu. Meskipun dalam penelitian ini belum terdapat sistem kontrol suhu untuk air dalam *aquascape*, penggunaan kipas pendingin 12V untuk mendinginkan air dapat ditambahkan dan dikembangkan pada penelitian berikutnya[5].

Penelitian berjudul "Sistem Kendali pH dan Kekeruhan Air *Aquascape* Menggunakan Wemos D1 Mini ESP8266 Berbasis IoT," yang merupakan suatu perangkat yang mampu memantau dan mengatur suhu air, tingkat pH, dan kejernihan air dalam wadah *aquascape*. Komponen keras yang digunakan mencakup mikrokontroler Wemos D1 Mini ESP8266, sensor suhu DS18B20, sensor *turbidity*, sensor pH, sensor HC-SR04, pemanas (*heater*), kipas, pompa air, modul L298N, dan *relay* 4 channel. Sementara itu, perangkat lunak yang digunakan dalam sistem kendali ini mencakup Arduino IDE, MQTT Explorer, Node-Red, dan MQTT Dash. Alat ini dapat mengaktifkan kipas sebagai pendingin *aquascape* ketika suhu air melebihi 25°C dan akan dimatikan saat suhu mencapai atau turun menjadi 25°C. Jika tingkat pH air berada di bawah 6,9 atau di atas 8, mikrokontroler akan memicu pompa pembuangan air *aquascape* hingga mencapai tinggi permukaan air maksimal. Setelah air dipompa keluar, pompa pengisi air akan diaktifkan hingga mencapai tinggi permukaan air, dengan sensor HC-SRF04 berada pada jarak 10 cm. Selanjutnya, jika tingkat kekeruhan air berada di bawah 10 NTU

atau di atas 25 NTU, mikrokontroler akan mengaktifkan pompa pembuangan air *aquascape* hingga mencapai tinggi permukaan air maksimal. Setelah air dipompa keluar, pompa pengisi air akan diaktifkan kembali hingga mencapai tinggi permukaan air, dengan sensor HC-SRF04 berada pada jarak 10 cm. Meskipun demikian, penelitian ini belum mencakup sistem pakan ikan otomatis untuk *aquascape*, sehingga hal ini dapat ditambahkan dan dikembangkan dalam penelitian selanjutnya.[6].

Penelitian berjudul “Rancang Bangun *Internet of Things (IoT) Monitoring Aquascape* Berbasis Android”. Penelitian ini membahas tentang alat IoT yang dapat memonitoring suhu air, dan kadar TDS pada *aquascape* serta dapat mengontrol lampu, kipas, dan pompa untuk penambahan pupuk cair. Perangkat keras yang digunakan peneliti menggunakan NodeMcu ESP8266, sensor suhu DS18B20, sensor TDS, LCD I2C 16X2, *relay*, pompa, lampu LED, kipas. Perangkat lunak yang digunakan peneliti menggunakan Android Studio dan *Database Firebase Realtime*. Pengujian dilakukan dengan melakukan 6 kali percobaan pada jam berbeda untuk membaca nilai dari sensor suhu, nilai sensor TDS, dan percobaan menyalakan atau mematikan kipas, lampu, pompa. Pada alat yang dibuat oleh peneliti belum disertakan dengan pembacaan nilai PH pada air *aquascape* serta penelitian ini masih dapat ditambahkan dan dikembangkan menjadi penelitian yang baru[7].

Penelitian berjudul “Sistem Kontrol Suhu dan Pakan Otomatis Dalam Aquarium *Aquascape* Menggunakan Nodemcu ESP8266”. Penelitian ini membahas tentang alat IoT yang menggunakan *mikrokontroler* Nodemcu ESP8266, sensor suhu air DS18B20, servo mekanik pakan ikan, *relay*, kipas, dan lampu. Kebutuhan *software* terdiri dari Arduino IDE, Mit App Inventor dan Firebase. Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui nilai yang terbaca dari sensor suhu serta mengetahui status dari hardware dengan cara menyalakan dan mematikan melalui aplikasi. Pengujian juga dilakukan untuk mengetahui apakah kipas efektif untuk menurunkan suhu panas. Setiap 10 menit kipas mampu menurunkan suhu sebanyak 1°C. Pada penelitian ini peneliti tidak menambahkan sensor pembacaan PH air, sehingga penelitian ini masih dapat ditambahkan dan dikembangkan menjadi penelitian yang baru[8].

Penelitian berjudul “Perancangan Sistem Otomasi Pada *Aquascape* Berbasis IoT (*Internet of Things*)” peneliti menggunakan perangkat keras yang terdiri dari Arduino uno, modul *relay 6 channel, power supply*, sensor HC-SR04, sensor suhu DS18B20, LCD, Pompa, dan servo motor. Perangkat lunak yang digunakan peneliti menggunakan aplikasi blynk, dan arduino IDE. Pada pemrograman *mikrokontroler*, peneliti membuat pendingin akan menyala ketika suhu diatas 28°C dan pemanas akan menyala jika suhu dibawah 23°C. Pada jam 08:00 sampai 16:00 lampu LED akan menyala. Pada jam 08:00 dan 20:00 servo pakan ikan otomatis akan aktif dan memberi pakan ikan. Data akan ditampilkan di LCD dan aplikasi Blynk. Pada alat ini peneliti tidak membuat monitoring untuk PH air, sehingga penelitian ini masih dapat dilanjutkan dan dikembangkan menjadi penelitian yang baru[9] .

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Alat Ukur Sistem Monitoring PH dan Suhu Kolam Ikan Lele Berbasis IoT Dengan ESP8266” penelitian ini menggunakan perangkat keras sensor PH, sensor DS18B20, LCD I2C, NodeMCU. Perangkat lunak yang digunakan peneliti menggunakan Arduino IDE, firebase, dan MIT APP In. Pada prosesnya sensor akan mengambil data di lapangan lalu diproses oleh NodeMCU yang sudah terhubung dengan koneksi internet setelahnya data akan ditampilkan melalui LCD dan *software* di *smartphone*. Pada penelitian ini masih belum ditambahkan sistem kontrol untuk mendinginkan suhu air dan mengontrol tingkat pH pada air, sehingga penelitian ini masih bisa dilanjutkan dan dikembangkan menjadi penelitian yang baru[10].

Penelitian berjudul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air (pH dan Kekeruhan) pada Akuarium Berbasis *Internet of Things*” pada penelitian ini peneliti menggunakan perangkat keras Atmega328P, sensor pH *module V.1.1*, dan sensor kekeruhan *RED Turbidity*. Perangkat lunak yang digunakan peneliti menggunakan Arduino IDE, dan *Blynk*. Data dari sensor akan diterima oleh *mikrokontroler* dan setelahnya akan dapat di *monitoring* melalui *software Blynk*. Pada penelitian ini masih belum ditambahkan sensor suhu air yang dapat memonitoring suhu air, sehingga penelitian ini masih dapat ditambahkan dan dikembangkan menjadi penelitian yang baru[11].

Tabel 2.1 Resume Kajian Pustaka

No	Nama (Tahun)	Mikrokontroler	Sensor
1	Slamet Indriyanto, Prasetyo Yuliantoro, Dinda Kusuma-Wati (2022)	NodeMCU ESP 8266	Sensor Suhu Air DS18B20
2	Abdul Rahman, Axel Natanael Salim (2022)	Wemos D1 Mini ESP 8266	- Sensor Suhu Air DS18B20 Sensor Turbidity Sensor pH Sensor HC-SR04
3	Ajib Susanto, Muhammad Nur Haztinanto, dan Sudaryanto (2022)	NodeMCU ESP 8266	Sensor Suhu Air DS18B20 Sensor TDS
4	Firman Pradana Rachman, dan Handri Santoso (2022)	NodeMCU ESP 8266	Sensor Suhu Air DS18B20
5	Lisa Kusuma Sari, Oriza Candra, Hansi Effendi, Fivia Eliza (2023)	Arduino Uno	Sensor Suhu Air Sensor Ultrasonik
6	Fikri Hidayat, Alex Harijanto, Bambang Supriadi (2022)	NodeMCU ESP 8266	Sensor Suhu Air DS18B20 Sensor pH
7	Haryanto, Kristono, Muhammad Fadhil (2021)	Atmega 328P	Sensor pH Sensor Kekeruhan Air

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 *Paludarium*

Paludarium merupakan seni menghias *tank* dengan konsep yang menghadirkan ekosistem darat, udara dan air. Media pada *paludarium* biasanya berupa kaca. Perkembangan *paludarium* pada beberapa tahun terakhir memiliki prospek yang menjanjikan. *Paludarium* juga termasuk dalam produk interior alternatif dikarenakan *paludarium* sendiri menghadirkan beberapa bentuk mini bentang alam, seperti bukit, hutan, danau dan lainnya yang menambah kesan asri dan indah pada sudut ruangan. Komponen utama yang biasanya ada pada *paludarium* seperti tanaman, batu, kayu, dan air. Pada kebanyakan *paludarium* yang dibuat, penghobi biasanya menjadikan pasir malang atau pasir silika sebagai dasar dari *tank paludarium*, lalu di atasnya ditumpuk bebatuan seperti menyerupai tebing air terjun, pada bebatuan ditambahkan tanaman jenis lumut agar menyerupai kondisi alam sebenarnya. Pada *paludarium* salah satu yang harus dirawat agar keindahannya tetap terjaga yaitu tanaman yang diletakkan di atas bebatuan, tanaman

diletakan dengan menggunakan media tanamnya terlebih dahulu agar tanaman dapat tumbuh seperti pada kondisi di alam[1] .

Parameter yang harus dijaga agar tanaman yang ada pada *paludarium* tetap sehat yaitu pada pencahayaan, suhu udara, kelembapan udara dan kelembapan tanah. Durasi pencahayaan perlu diatur untuk menyesuaikan kebutuhan tanaman. Agar penampilannya optimal, durasi penyinaran maksimum 12 jam per hari [4]. Jika tanaman lumut mendapat cahaya yang berlebihan dapat menyebabkan penguapan yang cepat dari air pada tanaman lumut. Akibatnya, tanaman lumut dapat mengalami kekeringan yang berdampak negatif pada pertumbuhan tanaman, warna pada daun juga akan menjadi pucat karena klorofil dari tanaman rusak atau hilang. Jika cahaya yang didapatkan tanaman lumut kurang, pertumbuhannya akan terhambat karena tanaman lumut tidak dapat melakukan fotosintesis dengan optimal, dan apabila cahaya yang didapat kurang secara terus menerus tanaman dapat mati karena tidak dapat memproduksi makanan yang cukup[12].

Parameter selanjutnya yaitu kelembapan media tanam agar kebutuhan air pada media tanam dapat terpenuhi sehingga tanaman dapat bertahan hidup. Kelembapan tanah yang baik bagi tanaman lumut merupakan 65% [3]. Kelembapan tanah yang berlebihan dapat menyebabkan pembusukan pada akar tanaman lumut, kondisi ini menyebabkan gangguan pada penyerapan air dan nutrisi, yang pada seterusnya dapat menghambat bahkan menyebabkan kematian pada tanaman lumut. Kelembapan tanah yang kurang dapat menyebabkan kekeringan, tanaman lumut juga membutuhkan air dalam melakukan fotosintesis, jika kekurangan air terjadi dalam waktu yang lama, tanaman lumut menjadi kering dan dapat menyebabkan tanaman lumut mati. Penting untuk memantau dan mengatur kelembapan tanah untuk tanaman lumut dengan hati – hati, menciptakan kondisi yang tepat dalam hal kelembapan tanah akan membantu tanaman lumut untuk tumbuh dengan baik dan menjaga kesehatan mereka secara keseluruhan [13]. Kebutuhan nutrisi pada media tanam juga memiliki peran penting pada pertumbuhan tanaman lumut penggunaan media tanam yang pas dapat membantu tanaman agar hidup.

Suhu udara dan kelembapan udara adalah faktor lingkungan penting yang dapat mempengaruhi pertumbuhan dan kesehatan tanaman lumut. Tanaman lumut memiliki keterbatasan dalam mengatur suhu tubuh dan mengatasi fluktuasi suhu,

sehingga perubahan suhu dan kelembapan yang ekstrem dapat berdampak signifikan pada mereka. Suhu udara yang ideal bagi tanaman lumut merupakan 29°C dengan nilai kelembapan udara sekitar 68% [3]. Suhu udara yang terlalu tinggi dapat menyebabkan penguapan air yang lebih cepat dari media tanam. Akibatnya, tanaman lumut dapat mengalami kekeringan. Suhu udara yang terlalu rendah juga dapat menurunkan vitalitas pada tanaman lumut sehingga dapat menyebabkan kematian pada tanaman lumut. Kelembapan udara yang berlebihan dapat menyebabkan tanaman lumut kekurangan oksigen dan kelembapan yang kurang dapat menyebabkan pertumbuhan terhambat karena kurangnya air yang dibutuhkan untuk tanaman [14].



Gambar 2.1 Gambar *Paludarium*

2.2.2 *Internet of Things (IoT)*

Istilah *Internet of Things (IoT)* adalah suatu digitalisasi yang berfungsi menghubungkan antar perangkat yang terus berkembang dan mengubah aspek kehidupan masyarakat dibidang ekonomi. *Internet of Things* saling berkomunikasi dalam melakukan pekerjaan berupa gambar, audio, video sehingga menghasilkan sebuah informasi dan saling berkoordinasi dalam membuat keputusan. IoT merupakan sistem komputer yang saling terhubung antara objek, manusia atau hewan dan mesin digitalisasi saling melengkapi dengan cara mengidentifikasi kemampuan dalam mentransfer data menggunakan jaringan tanpa membutuhkan interaksi *human-to-human* maupun *human-to-device*.

Internet of Things (IoT) dapat diartikan sebagai perangkat yang memiliki kemampuan yang saling terkoneksi dan berbagi data menggunakan jaringan internet. Selain itu IoT adalah teknologi yang mampu mengendalikan interaksi pada

berbagai *hardware*, serta data menggunakan jaringan internet. Maka *Internet of Things* (IoT) merupakan suatu tindakan yang menghubungkan sesuatu atau “*things*” yang bisa dilakukan manusia ke internet. Selain itu IoT juga berkaitan dengan pengendalian perangkat secara jarak jauh, namun bisa juga dalam berbagi data, memvirtualisasikan semua bahan mentah kedalam *internet* dan lain sebagainya. Internet merupakan penghubung antara berbagai mesin secara otomatis dan terdapat *user* sebagai pengawas dan pengatur pekerjaan alat tersebut secara langsung. IoT memudahkan pekerjaan manusia menjadi lebih cepat, efektif dan efisien [15].



Gambar 2. 2 Gambar Ilustrasi IoT

2.2.3 Arduino IDE

Arduino IDE merupakan *Integrated Development Environment* yang dirancang khusus untuk mendukung pengembangan dan pemrograman perangkat keras menggunakan platform Arduino. Dirancang dengan antarmuka yang intuitif, Arduino IDE menawarkan lingkungan yang ramah pengguna, membuatnya cocok untuk pemula dalam dunia pemrograman dan elektronika. Meskipun bersifat sederhana, IDE ini tetap kuat dan menyediakan alat yang diperlukan untuk memulai proyek dengan mudah.

Dengan dukungan untuk berbagai sistem operasi, termasuk Windows, macOS, dan Linux, Arduino IDE bersifat *multiplatform*, memastikan aksesibilitasnya untuk pengguna dengan berbagai preferensi. Bahasa pemrograman yang digunakan dalam IDE ini adalah C/C++, memberikan pengguna kemampuan

untuk mengembangkan keterampilan pemrograman dalam bahasa yang umum digunakan di dunia perangkat keras.

Arduino IDE juga menyediakan perpustakaan (*library*) yang kaya, mempercepat proses pengembangan dengan memberikan akses ke berbagai fungsi dan modul tanpa perlu menulis kode dari awal. Serial Monitor pada IDE memungkinkan pengguna memantau dan berinteraksi dengan perangkat keras melalui komunikasi serial, sangat berguna untuk debugging dan pemahaman interaksi antara perangkat keras dan perangkat lunak.

Proses *upload* program ke board Arduino dapat dilakukan dengan mudah melalui koneksi USB, memungkinkan pemrograman perangkat keras tanpa memerlukan pengetahuan khusus tentang pemrograman perangkat keras. Selain itu, Arduino IDE adalah perangkat lunak open-source, memungkinkan akses dan modifikasi kode sumber oleh pengguna. Dukungan dari komunitas yang aktif juga membuat IDE ini menjadi alat yang sangat berguna dalam pengembangan proyek-proyek elektronika. Dengan kemampuannya untuk mendukung berbagai jenis board Arduino dan varian-varian mereka, Arduino IDE memberikan fleksibilitas dan kebebasan dalam eksplorasi ide-ide kreatif dalam dunia perangkat keras [16].

2.2.4 MATLAB

Matlab, yang merupakan singkatan dari "*Matrix Laboratory*," adalah sebuah lingkungan komputasi numerik dan bahasa pemrograman yang populer di kalangan ilmuwan, insinyur, dan peneliti. Fokus utama Matlab adalah pada operasi matriks, yang merupakan elemen kunci dalam banyak aplikasi ilmiah dan teknis. Dengan kemampuan pemrograman dan analisis numerik yang kuat, Matlab memungkinkan pengguna untuk mengimplementasikan algoritma, memanipulasi data, dan melakukan perhitungan matematis kompleks. Kelebihan Matlab terletak pada kemudahan manipulasi matriks, memungkinkan penanganan data multidimensi dengan efisien. Selain itu, Matlab menyediakan berbagai alat untuk visualisasi data, termasuk pembuatan grafik, plot, dan visualisasi 3D. Matlab juga digunakan secara luas dalam berbagai disiplin ilmu dan teknik, seperti fisika, biologi, ekonomi, dan teknik listrik. *Toolbox* dan fungsi yang disediakan mendukung pemodelan matematika, simulasi sistem dinamis, dan pengembangan

aplikasi. Dengan kemampuannya untuk melakukan komputasi paralel, Matlab memberikan solusi yang komprehensif dan efisien untuk berbagai jenis masalah. Dengan interoperabilitas yang baik, Matlab dapat berintegrasi dengan platform dan bahasa pemrograman lainnya, menjadikannya alat yang sangat berharga dalam penelitian ilmiah, pengembangan produk, dan Pendidikan [17].

2.2.5 Web Server

Web server pada berkas-berkas yang berada pada situs web memakai protokol komunikasi HTTP ataupun HTTPS dalam menyajikan layanan akses kepada pengguna adalah sebuah perangkat lunak dengan. Pada perangkat lunak ini dibentuk di dalam sebuah komputer yang kemudian akan dijadikan komputer server. Untuk komputer yang akan dirujuk untuk bertindak sebagai webserver ini setidaknya harus memiliki spesifikasi tersendiri dan komputer nantinya ini dikhususkan untuk menempatkan data-data *website* [18].

2.2.6 Tanaman Lumut

Lumut (*Bryophyta*) adalah kelompok tumbuhan tingkat rendah yang tersebar luas di daratan. Meskipun merupakan tumbuhan kecil, lumut tumbuh melekat pada berbagai substrat seperti batu, pohon, kayu, dan tanah. Kehidupan lumut sangat dipengaruhi oleh faktor lingkungan seperti suhu, kelembapan, dan cahaya. Perbedaan toleransi terhadap faktor lingkungan pada setiap spesies lumut akan memengaruhi tingkat adaptasi, komposisi jenis, dan distribusi mereka.

Dalam konteks ekologi, lumut memainkan peran penting dalam ekosistem, khususnya di daerah hutan tropis yang sering hujan. Lumut berkontribusi pada menjaga keseimbangan air, siklus hara, dan menyediakan habitat yang penting bagi berbagai organisme. Selain itu, lumut dapat dijadikan sebagai bioindikator karena sensitivitasnya terhadap perubahan lingkungan. Lumut (*Bryophyta*) juga berfungsi sebagai tumbuhan perintis yang membuka ruang bagi pertumbuhan tanaman lain [19].



Gambar 2.3 Tanaman Lumut

2.2.7 NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 merupakan modul mikrokontroler yang didesain dengan ESP32 di dalamnya. ESP8266 berfungsi untuk konektivitas jaringan Wifi antara mikrokontroler itu sendiri dengan jaringan Wifi. NodeMCU berbasis bahasa pemrograman Lua namun dapat juga menggunakan Arduino IDE untuk pemrogramannya.

Alasan pemilihan NodeMCU ESP32 karena mudah diprogram dan memiliki pin I/O yang memadai dan dapat mengakses jaringan internet untuk mengirim atau mengambil data melalui koneksi WiFi[20]



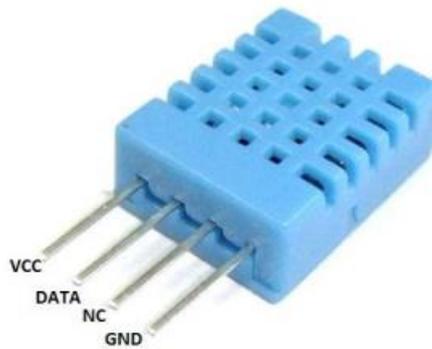
Gambar 2.4 NodeMCU ESP32

2.2.8 SENSOR DHT11

DHT11 merupakan sensor digital untuk mengukur suhu dan kelembapan yang sering digunakan dalam berbagai proyek elektronika. Sensor ini dapat mengukur suhu antara 0°C hingga 50°C dan kelembapan udara antara 20% hingga 80%. Kelebihan utama dari DHT11 adalah keluaran digitalnya yang dapat dibaca langsung oleh mikrokontroler atau perangkat serupa. Sensor ini dilengkapi dengan kalibrasi internal, menghilangkan kebutuhan kalibrasi manual eksternal, dan memudahkan penggunaan.

DHT11 memiliki desain yang sederhana dan biaya yang terjangkau, menjadikannya pilihan populer untuk proyek-proyek dengan anggaran terbatas. Instalasinya juga lebih mudah berkat koneksi satu kabel untuk data. Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi seperti stasiun cuaca portabel, alat pengukur kelembapan tanah, inkubator telur, dan proyek IoT yang memerlukan pemantauan kondisi lingkungan. Penting untuk dicatat bahwa DHT11 memiliki keterbatasan pada rentang pengukuran suhu dan kelembapan tertentu, dan tidak tahan air. Oleh karena itu, penempatannya perlu dilakukan dengan hati-hati untuk menghindari paparan kelembapan berlebihan.

Meskipun demikian, DHT11 tetap kompatibel dengan berbagai mikrokontroler seperti Arduino dan Raspberry Pi, memudahkan integrasinya dalam proyek-proyek pengembangan. Penggunaan DHT11 umumnya melibatkan pemrograman sederhana, menjadikannya pilihan yang baik bagi pengembang pemula yang ingin mengaplikasikannya dalam proyek DIY. Dengan kombinasi kemudahan penggunaan, biaya yang terjangkau, dan fungsionalitas dasar yang memadai, DHT11 tetap menjadi pilihan yang populer untuk pemantauan suhu dan kelembapan dalam proyek-proyek elektronika [21].



Gambar 2.5 DHT11

2.2.9 SENSOR YL-69

Sensor kelembapan tanah memiliki kemampuan untuk mengukur tingkat kelembapan di dalam tanah, menggunakan dua probe pada ujung sensor. Dalam satu set sensor kelembapan tipe YL-69, terdapat sebuah modul yang mencakup IC LM393, berfungsi sebagai pembanding offset rendah dengan nilai kurang dari 5mV, menunjukkan stabilitas dan presisi yang tinggi. Sensitivitas deteksi dapat diatur dengan memutar potensiometer pada modul pemroses. Untuk deteksi yang presisi melalui mikrokontrol atau Arduino, dapat menggunakan keluaran analog (dihubungkan dengan pin ADC atau input analog pada mikrokontroler) yang memberikan nilai kelembapan dalam rentang skala 0 V (relatif terhadap GND) hingga vcc (tegangan catu daya). Modul ini dapat dioperasikan dengan catu daya antara 3,3 volt hingga 5 volt, memberikan fleksibilitas penggunaan untuk berbagai jenis mikrokontroler [22].



Gambar 2.6 Modul Sensor YL-69

2.2.10 RTC DS3231

RTC DS3231, atau *Real-Time Clock* DS3231, merupakan modul waktu real yang diakui karena presisi tinggi dan keandalannya. Dengan menggunakan osilator kristal berfrekuensi tinggi, modul ini mampu memberikan akurasi waktu yang sangat tinggi dalam jangka waktu yang panjang. Fungsionalitasnya mencakup pengukuran tanggal dan waktu dengan format yang mudah dibaca serta integrasi sensor suhu untuk memantau kondisi lingkungan. Koneksi melalui antarmuka I2C memudahkan integrasi dengan mikrokontroler atau sistem lainnya. Salah satu fitur pentingnya adalah adanya baterai cadangan yang memungkinkan RTC tetap berfungsi saat sumber daya utama terputus, menjaga ketepatan waktu. RTC DS3231 sering digunakan dalam proyek-proyek yang memerlukan sinkronisasi waktu, seperti jam digital, logger data waktu nyata, dan sistem otomatisasi yang bergantung pada waktu. Dalam konteks *paludarium*, modul ini dapat digunakan untuk mengatur jadwal pencahayaan atau sistem pengendalian otomatis yang melibatkan waktu, seperti pengontrol pemanas atau penyejuk sesuai dengan perubahan suhu sepanjang hari. Selain itu, penggunaan RTC DS3231 dapat dipantau dan diuji untuk memastikan keakuratannya selama periode waktu tertentu. Kombinasi keandalan dan performa tinggi membuat RTC DS3231 menjadi pilihan yang populer untuk berbagai aplikasi elektronika dan sistem otomatisasi yang membutuhkan manajemen waktu yang akurat[23] .

2.2.11 Sensor LDR

Sensor LDR, atau *Light Dependent Resistor*, adalah sebuah komponen elektronik yang memiliki resistansi yang berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang diterimanya. Modul sensor LDR sering digunakan dalam berbagai proyek elektronika dan sistem otomatisasi untuk mendeteksi kehadiran atau tingkat intensitas cahaya di sekitarnya. Modul ini biasanya terdiri dari material semikonduktor khusus yang mengalami perubahan resistansi ketika terpapar cahaya. Bentuknya mirip dengan resistor dengan dua kaki atau konektor untuk memudahkan integrasi dengan rangkaian elektronika. Prinsip kerjanya adalah ketika intensitas cahaya meningkat, resistansi LDR menurun, dan sebaliknya.

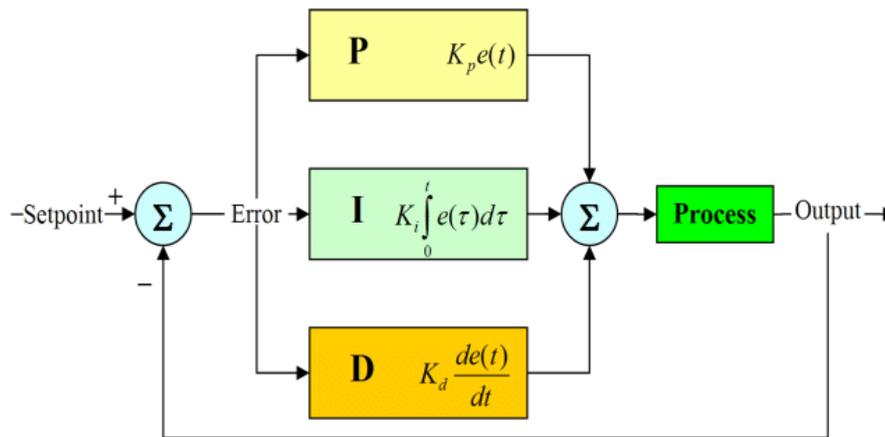
Penggunaan umumnya melibatkan deteksi kehadiran cahaya, kontrol otomatis lampu, dan monitoring lingkungan. Dalam aplikasi *paludarium* atau lingkungan tanaman, modul sensor LDR dapat digunakan untuk mengatur pencahayaan, seperti menyalakan lampu tambahan saat tingkat cahaya alami menurun. Penting untuk mencatat bahwa sensor LDR rentan terhadap perubahan resistansi yang dapat disebabkan oleh faktor-faktor selain cahaya, seperti suhu. Pengujian sensor LDR dapat dilakukan dengan menempatkannya di berbagai lingkungan dengan intensitas cahaya yang berbeda dan mengukur nilai resistansinya untuk menilai akurasi sensor tersebut[24].



Gambar 2.7 Modul Sensor LDR [24]

2.2.12 PID

Kontrol PID (*propotional integral derivative*) merupakan salah satu strategi kontrol konvensional. Implementasinya yang mudah awalnya dikembangkan menggunakan divais pneumatis, yang diikuti dengan elektronika analog, sebelum ditemukannya mikroprosesor. PID memiliki struktur kontrol yang sederhana yang dipahami oleh banyak perancang plant. Karena banyak sistem kontrol yang menggunakan kontrol PID terbukti berkinerja memuaskan, kontrol PID masih luas digunakan pada kontrol industri. Menurut survey yang dilakukan pada tahun 1989, lebih dari 90 persen jenis kontrol yang digunakan pada industri adalah PID. Kontrol PID telah menjadi cakupan riset yang aktif. Karena banyak plant yang dikontrol oleh kontroler PID memiliki dinamika yang hampir sama, adalah dimungkinkan untuk menetapkan parameter-parameter kontroler dari informasi plant, bukan dari model matematis sempurna. Teknik-teknik ini digunakan karena pengaturan parameter-parameter kontroler dilakukan dengan usaha minimum dan juga karena kerumitan dalam mendapatkan model matematis. Dua teknik PID yang paling populer adalah eksperimen kurva reaksi step dan eksperimen siklus kalang-tertutup dengan kontrol proporsional di sekitar titik operasi nominal [25].



Gambar 2. 8 Diagram Blok Kontroler PID [25]

Dari gambar diagram blok diatas, fungsi alih kontroler PID dapat dinyatakan pada persamaan 2.1[25]:

$$G_s(s) = K_p e(t) + K_i \int_0^1 e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (2.1)$$

Persamaan 2.1 menjelaskan bahwa nilai keluaran $G_s(s)$ merupakan jumlah dari kontrol proporsional (K_p), kontrol integral (K_i), dan kontrol derivatif (K_d), yang masing-masing dipengaruhi oleh *error* (e) dan waktu (t) tertentu. Setiap konstanta pengendali PID memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing, dengan karakteristik sebagai berikut:

Tabel 2.2 Karakteristik Pengendali PID [25]

Parameter	<i>Rise Time</i>	<i>Overshoot</i>	<i>Settling Time</i>	<i>Steady-State Error</i>
Proporsional	Menurunkan	Meningkatkan	Perubahan Kecil	Menurunkan/mengurangi
Integral	Menurunkan	Meningkatkan	Meningkatkan	mengeliminasi
Derivatif	Perubahan Kecil	Menurunkan	Menurunkan	Perubahan Kecil