

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Pengembangan pada tugas akhir yang akan direalisasikan dengan judul “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air (pH, TDS) dan Debit Air Rumah Tangga Berbasis IoT dan Cloud”, dengan beberapa sumber literatur yang relevan yang menjadi bahan referensi dan pertimbangan penulis.

- a. Penelitian yang berjudul “Sistem Pengecekan Kualitas Air Sumur Berbasis Internet of Things (IoT)” merupakan penelitian yang mengembangkan sistem monitoring kualitas air sumur berbasis IoT menggunakan sensor pH air, sensor turbidity, sensor suhu DS18B20, dan sensor Total Dissolved Solids (TDS). Sistem ini dirancang untuk mengukur dan menampilkan parameter kualitas air secara real-time melalui website. Standar baku mutu air yang digunakan mengacu pada peraturan yang berlaku, di mana parameter pH memiliki standar kisaran 6,5 – 8,5 mg/L, parameter TDS memiliki standar maksimum 1000 mg/L, dan parameter kekeruhan memiliki standar maksimum 25 NTU. Hasil pengujian pada empat sampel sumur yang berbeda menunjukkan bahwa sistem mampu menentukan kelayakan air berdasarkan parameter yang diukur. Penelitian ini menjadi acuan dalam pemilihan sensor pH dan TDS serta penetapan standar baku mutu yang akan digunakan dalam tugas akhir ini, meskipun penelitian tersebut tidak mencakup monitoring dan pengukuran debit air harian[5].
- b. Penelitian yang berjudul "Rancang Bangun Alat Ukur Konsentrasi Ion Timbal (II) Berbasis Mikrokontroller NodeMCU ESP32 Menggunakan Metode Potensiometri" dilatarbelakangi oleh pencemaran air oleh limbah domestik dan industri yang mengandung logam berat timbal. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 492/MENKES/PER/IV/2010, konsentrasi timbal yang diizinkan dalam air minum hanya 0,01 mg/L. Alat yang dirancang menggunakan metode potensiometri dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32, memanfaatkan ADS1220 sebagai pengukur tegangan yang dideteksi dari interaksi mobilitas ion pada larutan uji. Hasil pengukuran menghasilkan rata-

rata akurasi recovery sebesar 100,31% dan error sebesar 0,65%, yang berarti alat telah memenuhi standar validitas instrumen[6].

- c. Penelitian yang berjudul "Implementasi Cloud Computing untuk Sistem Pemantauan Debit dan Penyimpanan Air Berbasis Internet of Things" serta "Sistem Pengukuran dan Analisis Debit Air pada Kebocoran Pipa Percabangan Berbasis IoT" dilatarbelakangi oleh permasalahan pelanggan PDAM yang mengalami pembengkakan tagihan karena meteran analog yang sulit dipantau, sehingga memanfaatkan cloud computing dan IoT untuk pemantauan debit air secara real-time. Sementara itu, penelitian Oktarisa mengembangkan sistem pengukuran debit air menggunakan water flow sensor YF-S201. Kedua penelitian ini menjadi acuan dalam implementasi monitoring debit air dan pengukuran debit air harian menggunakan sensor flow, yang akan diintegrasikan dengan parameter kualitas air dalam tugas akhir ini[4][7].

Sistem “Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air (pH, TDS) dan Debit Air Rumah Tangga Berbasis IoT dan Cloud” dirancang untuk memonitor kualitas air yang dikonsumsi rumah tangga sekaligus memantau debit penggunaan air harian secara real-time. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan integrasi kedua parameter kualitas air (pH dan TDS) dengan monitoring debit flow air dengan mengimplementasikan platform Blynk sebagai dashboard monitoring real-time dan Google Spreadsheet sebagai media pencatatan data debit flow air harian secara otomatis langsung dari ESP32. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan jarak jauh melalui smartphone sekaligus menyimpan riwayat data debit air dalam format yang mudah dianalisis.

2.2. Dasar Teori

2.2.1 Monitoring Kualitas Air dan Flow Air PDAM pada Rumah Tangga

Monitoring kualitas air dan flow air PDAM pada rumah tangga merupakan salah satu inovasi yang digunakan untuk mengatasi permasalahan air yang sering terjadi pada rumah tangga. Alat monitoring ini akan memonitoring dua aspek penting dari air rumah tangga secara bersamaan, yakni aspek kualitas air dan aspek kuantitas air. Sistem ini terintegrasi system Internet of Things (IoT) dan cloud

computing yang nantinya seluruh data hasil pemantauan dapat diakses dari jarak jauh melalui smartphone kapan saja dan dimana saja.

Alur kerja sistem secara berurutan yakni:

- a. Pengambilan data melalui sensor seperti sensor PH yang akan membaca tingkat keasaman air yang mengalir, sensor TDS yang akan membaca jumlah zat padat yang terlarut didalam air, dan terakhir sensor flow YF-S201 yang membaca debit air yang dipasang pada titik masuk air kerumah dan sensor suhu DS18B20 untuk membaca suhu.
- b. Pemrosesan seluruh data dari sensor akan dilakukan oleh ESP32.
- c. Setelah data diproses oleh ESP32, Data dari kelima sensor tersebut akan dikirimkan secara real-time ke platform Blynk untuk ditampilkan pada dashboard smartphone pengguna, serta ke Google Spreadsheet untuk pencatatan data debit air harian secara otomatis.
- d. Data yang telah diolah oleh ESP32 akan dikirimkan ke platform Blynk untuk ditampilkan secara real-time. ESP32 menghitung nilai debit aliran pada setiap siklus polling dan mengirimkan data tersebut secara langsung ke Google Spreadsheet sebagai rekaman historis.
- e. Hasil dari analisis data akan dikirimkan ke smartphone pengguna melalui notifikasi seperti platform Blynk.

2.2.2 Kualitas Air

Air PDAM (Perusahaan Daerah Air Minum) merupakan salah satu sumber utama penyedia air bersih untuk kebutuhan rumah tangga di Indonesia. Air yang didistribusikan oleh PDAM berasal dari sumber air baku seperti sungai, danau, atau waduk, yang kemudian diolah melalui proses pengolahan yang sistematis sebelum dialirkan ke rumah-rumah pelanggan melalui jaringan pipa distribusi. Sebagai bagian dari sistem penyediaan air minum perkotaan, air PDAM pada dasarnya disediakan oleh pemerintah daerah melalui mekanisme pengelolaan yang terpusat untuk memenuhi kebutuhan air bersih masyarakat secara lebih luas. Proses pengolahan air PDAM menjadi air yang layak konsumsi melibatkan serangkaian tahapan yang terstandarisasi. Air baku yang diambil dari sumbernya terlebih dahulu melalui proses koagulasi dan flokulasi untuk menggumpalkan partikel-partikel

kotoran, kemudian dilanjutkan dengan sedimentasi untuk mengendapkan gumpalan tersebut. Setelah itu, air melalui proses filtrasi untuk menyaring partikel yang tersisa, dan tahap akhirnya adalah desinfeksi menggunakan klorin untuk membunuh mikroorganisme patogen yang mungkin masih ada. Proses desinfeksi ini bahkan menyisakan kadar sisa klorin dalam air yang didistribusikan untuk memastikan kualitas air tetap terjaga selama perjalanan melalui jaringan pipa hingga sampai ke konsumen.

Keamanan air menjadi aspek fundamental yang menentukan kelayakan suatu sumber air untuk dikonsumsi manusia maupun digunakan dalam aktivitas rumah tangga sehari-hari. Organisasi Kesehatan Dunia (World Health Organization/WHO) menyatakan bahwa akses terhadap air yang aman merupakan hak asasi manusia yang mendasar. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan yang berlaku, air PDAM yang layak dikonsumsi harus memenuhi persyaratan fisik, kimia, dan mikrobiologis. Parameter wajib yang menjadi indikator utama kualitas air antara lain derajat keasaman (pH) yang berada pada rentang 6,5 hingga 8,5, total zat padat terlarut (TDS) maksimal 500 mg/L, kekeruhan maksimal 5 NTU, serta ketiadaan bakteri *E. coli* dan total koliform dalam setiap 100 ml sampel. Kandungan logam berat seperti timbal (Pb) juga dibatasi secara ketat dengan ambang maksimum 0,01 mg/L[8].

Pemantauan kualitas air PDAM secara berkelanjutan menjadi hal yang krusial, mengingat distribusi air melalui jaringan pipa yang panjang berpotensi mengalami kontaminasi akibat kebocoran pipa, korosi, atau masuknya zat asing. Oleh karena itu, sistem monitoring kualitas dan debit air yang dirancang dalam tugas akhir ini menjadi relevan untuk membantu masyarakat memantau keamanan air PDAM yang mereka konsumsi di tingkat rumah tangga secara real-time.

2.2.3 Ph Air

Salah satu unsur kimia yang paling fundamental untuk dipantau pada keamanan air yakni derajat keasaman atau yang dikenal dengan pH (Potential of Hydrogen). pH adalah skala yang digunakan untuk menyatakan tingkat keasaman atau kebasaan suatu larutan, termasuk air. Skala pH berkisar dari 0 hingga 14, dengan nilai pH = 7 dikategorikan netral, nilai pH < 7 menunjukkan kondisi asam

(semakin kecil nilainya, semakin tinggi tingkat keasaman), sedangkan nilai $\text{pH} > 7$ menunjukkan kondisi basa (semakin besar nilainya, semakin tinggi tingkat kebasaan)[9]. Pengukuran pH menjadi sangat penting dalam monitoring kualitas air rumah tangga karena beberapa alasan. Pertama, perubahan nilai pH yang drastis dapat mengindikasikan adanya pencemaran dari limbah domestik, industri, maupun pertanian yang masuk ke sumber air. Kedua, air dengan pH terlalu rendah (asam) bersifat korosif dan dapat melarutkan logam beracun seperti timbal dan tembaga dari pipa distribusi yang terbuat dari logam. Ketiga, air dengan pH terlalu tinggi (basa) dapat menyebabkan rasa pahit yang tidak enak dan berpotensi menyebabkan iritasi pada saluran pencernaan jika dikonsumsi dalam jangka panjang.

Berdasarkan standar baku mutu yang ditetapkan oleh WHO serta mengacu pada regulasi nasional yang berlaku, nilai pH yang aman untuk air minum dan keperluan higiene sanitasi rumah tangga berada pada kisaran 6,5 hingga 8,5[10]. Air yang memiliki nilai pH di luar kisaran tersebut dinyatakan tidak layak konsumsi dan memerlukan penanganan lebih lanjut sebelum digunakan. Dalam sistem yang dirancang pada tugas akhir ini, sensor pH akan membaca nilai pH air secara real-time pada instalasi air rumah tangga. Data tersebut kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan dibandingkan dengan standar baku mutu (kisaran 6,5 – 8,5). Apabila terdeteksi nilai pH berada di luar kisaran tersebut, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna melalui aplikasi Blynk. Dengan demikian, pengguna dapat segera mengambil tindakan preventif seperti merebus air terlebih dahulu, menggunakan filter air, menghindari konsumsi langsung, atau menghubungi pihak pengelola air setempat hingga kondisi air kembali normal. Hal ini sejalan dengan amanat Pasal 14 ayat (3) Permenkes Nomor 2 Tahun 2023 yang mendorong pengembangan teknologi tepat guna untuk peningkatan kualitas air dan perlindungan kesehatan masyarakat.

2.2.4 Zat Padat Terlarut

Total Dissolved Solids (TDS) atau zat padat terlarut total merupakan salah satu parameter penting dalam penentuan kualitas air, khususnya untuk keperluan air minum dan kebutuhan rumah tangga. TDS didefinisikan sebagai jumlah total zat padat terlarut dalam air yang mencakup garam-garam anorganik seperti natrium,

kalsium, magnesium, serta senyawa organik dalam jumlah kecil[11]. Zat-zat terlarut ini umumnya berasal dari proses alamiah seperti pelapukan batuan mineral maupun dari aktivitas antropogenik seperti limbah domestik, industri, dan pertanian yang masuk ke sumber air baku.

Pengukuran kadar TDS dalam air pada dasarnya didasarkan pada prinsip konduktivitas listrik atau daya hantar listrik (DHL). Air murni (H_2O) memiliki resistansi listrik yang sangat tinggi karena tidak mengandung ion-ion penghantar listrik. Ketika terdapat zat padat terlarut yang terdisosiasi menjadi ion-ion bermuatan (kation dan anion), konduktivitas listrik air akan meningkat sebanding dengan konsentrasi zat terlarut tersebut. Sensor TDS bekerja dengan mengalirkan arus listrik bolak-balik (AC) melalui dua elektroda yang dicelupkan ke dalam sampel air, kemudian besarnya arus yang mengalir diukur dan dikonversi menjadi nilai TDS dalam satuan mg/L atau part per million (ppm)[12]. Penggunaan arus AC bertujuan untuk mencegah terjadinya polarisasi pada elektroda yang dapat mengganggu akurasi pengukuran.

Kandungan TDS dalam air minum memiliki batas aman yang telah ditetapkan oleh organisasi kesehatan dunia maupun regulasi nasional. Berdasarkan standar yang ditetapkan oleh World Health Organization (WHO), kadar TDS yang melebihi 500 mg/L dapat menimbulkan rasa tidak enak pada air dan menjadi indikator adanya pencemaran. Secara lebih rinci, WHO mengklasifikasikan kualitas air minum berdasarkan kadar TDS sebagai berikut :

Tabel 2-1 Tabel Klasifikasi Kualitas Air berdasarkan Kadar TDS

Kadar TDS (mg/L)	Klasifikasi	Keterangan
< 300	Sangat Baik (Kelas 1)	Sangat ideal untuk konsumsi rutin
300 – 600	Baik	Masih aman dan dapat diterima untuk diminum
600 – 900	Cukup	Memasuki batas aman, namun rasa mulai kurang enak

900 – 1.200	Tidak Layak	Rasa menjadi tidak enak, tidak direkomendasikan
> 1.200	Berbahaya	Rasa sangat tidak enak, berbahaya bagi kesehatan

Dalam konteks sistem yang dirancang pada tugas akhir ini, sensor TDS digunakan untuk memantau kualitas air PDAM yang dialirkan ke rumah tangga secara real-time. Data hasil pengukuran akan dibandingkan dengan standar baku mutu yang telah ditetapkan (maksimum 1000 mg/L berdasarkan Permenkes). Apabila terdeteksi nilai TDS melebihi ambang batas yang ditentukan, sistem akan mengirimkan notifikasi peringatan kepada pengguna melalui aplikasi Blynk, sehingga pengguna dapat segera mengambil tindakan seperti menggunakan filter air reverse osmosis (RO) yang terbukti efektif menurunkan kadar TDS, atau menghubungi pihak pengelola air setempat.

2.2.5 Debit Air

Debit air merupakan salah satu parameter penting dalam pengelolaan sumber daya air, khususnya untuk kebutuhan rumah tangga yang menggunakan air PDAM. Secara umum, debit air didefinisikan sebagai volume air yang mengalir melalui suatu penampang tertentu per satuan waktu. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2006) yang dikutip dalam literatur hidrologi, debit air adalah laju aliran air yang melewati suatu penampang melintang dengan persatuan waktu, yang dalam sistem satuan SI dinyatakan dalam satuan meter kubik per detik (m^3/detik). Sementara itu, Harnalin (2010) mendefinisikan debit air sebagai jumlah air yang mengalir dari suatu penampang tertentu (sungai, saluran, atau mata air) per satuan waktu yang dapat dinyatakan dalam liter per detik (ltr/dtk), meter kubik per detik (m^3/dtk), atau desimeter kubik per detik (dm^3/dtk). Dalam konteks perpipaan rumah tangga, debit air lebih sering dinyatakan dalam liter per menit (L/min) atau liter per jam (L/jam)[13].

Secara matematis, hubungan antara debit, kecepatan aliran, dan luas penampang dapat dinyatakan dengan persamaan berikut :

$$Q = V \times A$$

Keterangan:

- Q = debit aliran (m^3/detik atau L/menit)
- V = kecepatan aliran air (m/detik)
- A = luas penampang basah saluran atau pipa (m^2)

Dalam sistem distribusi air bersih PDAM, kuantitas air yang sampai ke pelanggan menjadi indikator penting kualitas pelayanan. Kuantitas air dari segi pelayanannya adalah terpenuhinya kebutuhan air secara normal sampai di tingkat pelanggan atau konsumen, yang dihubungkan dengan terpenuhinya tekanan air dan debit air yang normal sepanjang hari. PDAM menetapkan standar pemakaian debit air minimal pada tiap bulannya, dan fluktuasi tekanan serta debit air sering menjadi persoalan pelanggan dalam mendapatkan jatah air bersih yang sesuai dengan tingkat pemakaian mereka.

2.2.6 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah sistem komputer terintegrasi dalam satu chip yang dirancang khusus untuk melakukan tugas-tugas spesifik dalam sistem embedded atau sistem tertanam[14]. Berbeda dengan komputer pribadi atau mikroprosesor pada umumnya yang dirancang untuk menjalankan berbagai macam aplikasi serbaguna, mikrokontroler memiliki arsitektur yang lebih sederhana dan dioptimalkan untuk efisiensi daya serta biaya yang rendah. Dalam sebuah mikrokontroler, seluruh komponen utama komputer seperti unit pemroses pusat (Central Processing Unit atau CPU), memori (baik Random Access Memory maupun Read Only Memory), serta antarmuka input/output telah dikemas dalam satu kemasan chip yang sama.

Secara umum, sebuah mikrokontroler terdiri atas tiga blok bangunan utama, yaitu prosesor, memori, dan port input/output. Prosesor atau CPU berfungsi sebagai otak dari mikrokontroler yang bertugas menjalankan instruksi-instruksi program yang telah ditulis oleh pengguna[15]. Memori pada mikrokontroler terbagi menjadi dua jenis, yaitu memori program yang bersifat non-volatile sehingga program tidak hilang ketika daya dimatikan, serta memori data (RAM) bersifat volatile dan digunakan untuk menyimpan data sementara selama program berjalan. Port input/output merupakan jalur komunikasi untuk membaca data dari sensor-sensor yang terpasang dan memberikan perintah kepada aktuator seperti motor, lampu,

atau relay. Salah satu karakteristik paling khas dari mikrokontroler adalah kemampuannya untuk beroperasi secara real-time. Istilah real-time mengacu pada kemampuan sistem untuk merespon suatu kejadian dalam batas waktu tertentu yang telah ditentukan. Dari segi pengembangan perangkat lunak, mikrokontroler modern umumnya dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman tingkat tinggi seperti C atau C++, yang relatif mudah dipelajari dibandingkan bahasa assembly yang sebelumnya dominan digunakan. Kemudahan pemrograman ini menjadi salah satu faktor utama yang mendorong pesatnya adopsi mikrokontroler dalam berbagai proyek elektronik, mulai dari hobiis hingga produk komersial.

2.2.7 ESP32



Gambar 2. 1 Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan keluarga mikrokontroler *system on chip* (SoC) berbiaya rendah dan konsumsi daya rendah yang diproduksi oleh Espressif Systems, perusahaan asal Shanghai, Tiongkok, dan diproduksi oleh TSMC menggunakan proses fabrikasi 40 nm. Bentuk fisik mikrokontroler ESP32 yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dari segi arsitektur, ESP32 varian orisinal (ESP32-WROOM) dibangun dengan mikroprosesor Tensilica Xtensa LX6 yang tersedia dalam varian dual-core maupun single-core. Prosesor ini dapat beroperasi pada kecepatan clock 160 MHz atau 240 MHz[16]. Keberadaan dua inti prosesor ini memberikan keuntungan signifikan dalam sistem embedded, di mana satu inti dapat dialokasikan untuk menangani tugas-tugas pemrosesan data atau pembacaan sensor, sementara inti lainnya menangani komunikasi jaringan dan konektivitas. Salah satu keunggulan utama ESP32 dibandingkan mikrokontroler konvensional adalah adanya konektivitas nirkabel yang sudah terintegrasi langsung

dalam chip. ESP32 mendukung Wi-Fi 802.11 b/g/n pada frekuensi 2,4 GHz serta Bluetooth v4.2 yang mencakup Bluetooth Classic (BR/EDR) dan Bluetooth Low Energy (BLE)[17]. Fitur ini sangat krusial untuk aplikasi Internet of Things karena memungkinkan perangkat untuk terhubung ke jaringan internet dan mengirimkan data ke platform cloud secara langsung tanpa memerlukan modul tambahan.

Tabel konfigurasi ESP32 sebagai berikut:

Tabel 2- 2 Tabel konfigurasi ESP32

Name	No.	Type	Power Domain	Function
LNA_IN	1	I/O	—	RF input and output
VDD3P3	2	P_A	—	Analog power supply
VDD3P3	3	P_A	—	Analog power supply
XTAL_32K_P	4	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO0, ADC1_CH0, XTAL_32K_P
XTAL_32K_N	5	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO1, ADC1_CH1, XTAL_32K_N
GPIO2	6	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO2, ADC1_CH2, FSPIQ
CHIP_EN	7	I	VDD3P3_RTC	High: on (aktifkan chip), Low: off, jangan dibiarkan floating
GPIO3	8	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO3, ADC1_CH3
MTMS	9	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO4, ADC1_CH4, FSPIHD, MTMS
MTDI	10	I/O/T	VDD3P3_RTC	GPIO5, ADC2_CH0, FSPIWP, MTDI
VDD3P3_RTC	11	P_D	—	Input power supply for RTC
MTCK	12	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO6, FSPICLK, MTCK
MTDO	13	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO7, FSPID, MTDO

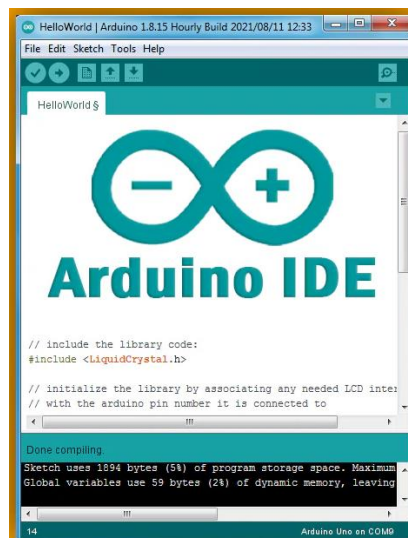
Name	No.	Type	Power Domain	Function
GPIO8	14	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO8
GPIO9	15	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO9
GPIO10	16	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO10, FSPICS0
VDD3P3_CPU	17	P_D	—	Input power supply for CPU IO
VDD_SPI	18	I/O/T/P_D	VDD3P3_CPU	GPIO11, output power supply for flash
SPIHD	19	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO12, SPIHD
SPIWP	20	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO13, SPIWP
SPICS0	21	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO14, SPICS0
SPICLK	22	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO15, SPICLK
SPID	23	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO16, SPID
SPIQ	24	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO17, SPIQ
GPIO18	25	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO18, USB_D-
GPIO19	26	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO19, USB_D+
U0RXD	27	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO20, UART RX (U0RXD)
U0TXD	28	I/O/T	VDD3P3_CPU	GPIO21, UART TX (U0TXD)
XTAL_N	29	—	—	External crystal output
XTAL_P	30	—	—	External crystal input
VDDA	31	P_A	—	Analog power supply
VDDA	32	P_A	—	Analog power supply
GND	33	G	—	Ground

Pemilihan ESP32 sebagai mikrokontroler utama dalam sistem ini didasarkan pada spesifikasi teknis yang dimilikinya. Beberapa parameter penting seperti kecepatan prosesor, ketersediaan pin ADC untuk membaca sensor analog, serta dukungan konektivitas Wi-Fi menjadi pertimbangan utama. Adapun spesifikasi lengkap ESP32 disajikan pada tabel berikut

Tabel 2- 3 Tabel Spesifikasi ESP32

Kategori	Spesifikasi	Detail
Prosesor	Inti (Core)	Dual-core Xtensa® 32-bit LX6
	Kecepatan (Frekuensi)	Hingga 240 MHz
	Kinerja	539.98 CoreMark (single-core @240 MHz) / 1079.96 CoreMark (dual-core @240 MHz)
Memori	ROM	448 KB
	SRAM	520 KB
	RTC SRAM	16 KB (pada modul baru) / 8 KB (pada beberapa varian awal)
Konektivitas	Wi-Fi	802.11 b/g/n, hingga 150 Mbps
Nirkabel	Bluetooth	Bluetooth v4.2 BR/EDR dan Bluetooth LE
Periferal	GPIO	Hingga 34 pin (tergantung varian chip)
	Antarmuka	4x SPI, 2x I2S, 2x I2C, 3x UART, 1x SDIO, 1x Ethernet MAC, dll.
	Analog	12-bit ADC (hingga 18 channel), 2x 8-bit DAC
	Lainnya	Touch sensor, Motor PWM, LED PWM, RMT
Keamanan	Enkripsi & Autentikasi	Secure Boot, Flash Encryption, AES, SHA-2, RSA, RNG
Konsumsi Daya	Deep-sleep	~10 μ A
Kondisi Operasi	Tegangan	3.0 V ~ 3.6 V
	Suhu	-40°C ~ 85°C (untuk varian standar)

2.2.8 Arduino IDE (Integrated Development Environment)



Gambar 2. 2 Arduino IDE

Arduino IDE (Integrated Development Environment) merupakan perangkat lunak sumber terbuka yang digunakan untuk menulis, mengkompilasi, dan mengunggah program ke berbagai papan mikrokontroler, termasuk ESP32[18]. Tampilan antarmuka perangkat lunak Arduino IDE yang digunakan untuk memprogram ESP32 ditunjukkan pada Gambar 2.2. Arduino IDE digunakan sebagai platform utama untuk memprogram ESP32 agar dapat membaca data dari sensor pH, sensor TDS, sensor logam berat, dan dua sensor flow, serta mengirimkan data tersebut ke platform Blynk dan Google Spreadsheet. Salah satu keunggulan utama Arduino IDE adalah kemampuannya untuk mendukung berbagai jenis papan mikrokontroler melalui sistem Board Manager[19]. Meskipun awalnya dirancang khusus untuk papan Arduino, Arduino IDE kini telah berkembang dan dapat digunakan untuk memprogram mikrokontroler dari berbagai produsen, termasuk ESP32 dari Espressif Systems. Hal ini dimungkinkan karena ESP32 mendukung pemrograman dalam bahasa C/C++ yang sama dengan Arduino, sehingga pengguna yang sudah terbiasa dengan Arduino dapat dengan mudah beralih ke pengembangan berbasis ESP32 tanpa harus mempelajari toolchain yang baru dari awal.

Bahasa pemrograman yang digunakan dalam Arduino IDE adalah varian dari C++ yang telah disederhanakan dengan tambahan fungsi-fungsi khusus seperti `setup()` dan `loop()`. Fungsi `setup()` dijalankan satu kali pada saat mikrokontroler

dinyalakan atau di-reset, dan biasanya digunakan untuk inisialisasi seperti mengatur mode pin, memulai komunikasi serial, dan menghubungkan ESP32 ke jaringan Wi-Fi. Sementara itu, fungsi `loop()` akan dijalankan secara berulang terus-menerus setelah `setup()` selesai, dan menjadi tempat utama untuk membaca data dari sensor, memproses data, serta mengirimkannya ke cloud. Library pada Arduino IDE merupakan kumpulan kode yang telah ditulis sebelumnya untuk menyederhanakan interaksi dengan perangkat keras tertentu atau untuk mengimplementasikan protokol komunikasi tertentu.

2.2.9 Aplikasi Blynk



Gambar 2. 3 Logo Blynk

Aplikasi Blynk merupakan platform Internet of Things (IoT) yang dirancang khusus dengan pendekatan mobile-first, memungkinkan pengguna untuk mengembangkan aplikasi IoT berbasis smartphone dengan kemudahan yang luar biasa. Logo resmi platform Blynk yang digunakan sebagai media monitoring pada penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.3. Aplikasi Blynk menawarkan antarmuka yang sangat intuitif dengan sistem drag-and-drop yang memungkinkan pembuatan dashboard kontrol tanpa memerlukan keahlian pemrograman aplikasi mobile yang mendalam[20]. Keunggulan utama Blynk terletak pada kemampuannya untuk membuat tata letak kontrol yang sepenuhnya dapat disesuaikan, di mana pengguna dapat menambahkan berbagai widget seperti tombol, slider, grafik, dan indikator status dengan mudah untuk memantau dan mengendalikan perangkat IoT.

Dalam arsitekturnya, Blynk terdiri atas tiga komponen utama yang saling terintegrasi. Komponen pertama adalah Blynk App, yaitu aplikasi mobile yang

tersedia untuk perangkat iOS dan Android yang berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk membuat dashboard dan mengontrol perangkat IoT. Komponen kedua adalah Blynk Cloud, yaitu server cloud yang menangani komunikasi antara aplikasi mobile dan perangkat keras, menyimpan data, serta memproses notifikasi dan automasi. Komponen ketiga adalah Blynk Library, yaitu library perangkat lunak yang diinstal pada lingkungan pemrograman seperti Arduino IDE yang memungkinkan mikrokontroler seperti ESP32 untuk terhubung dan berkomunikasi dengan server Blynk. Dari segi keamanan komunikasi data, Blynk telah mengimplementasikan protokol MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) dengan enkripsi TLS 1.2 dan 1.3 untuk memastikan data yang dikirimkan antara perangkat dan cloud tetap aman dari intersepsi pihak yang tidak berwenang[21].

Salah satu fitur terbaru yang diperkenalkan Blynk adalah Blynk.Edgent, yang kini tersedia sebagai komponen native untuk framework ESP-IDF (Espressif IoT Development Framework). Blynk Edgent menyediakan berbagai kemampuan canggih seperti BLE-assisted provisioning yang memungkinkan pengguna akhir untuk menyambungkan perangkat ke jaringan Wi-Fi melalui aplikasi Blynk tanpa perlu memasukkan kredensial secara manual pada kode program, Network Manager yang dapat menyimpan hingga 16 jaringan Wi-Fi yang berbeda dengan kemampuan failover otomatis, serta Over-the-Air (OTA) firmware updates yang memungkinkan pembaruan firmware perangkat dari jarak jauh melalui konsol Blynk.

2.2.10 Google Spreadsheet

Google Spreadsheet merupakan layanan spreadsheet berbasis cloud yang disediakan oleh Google sebagai bagian dari suite Google Workspace. Layanan ini memungkinkan pengguna untuk membuat, mengedit, dan menyimpan data dalam format tabel secara online tanpa memerlukan perangkat lunak tambahan. Dalam konteks sistem monitoring berbasis IoT, Google Spreadsheet berfungsi sebagai media penyimpanan data yang dapat diakses dari jarak jauh dan mendukung pencatatan data secara otomatis.

Fitur utama Google Spreadsheet yang dimanfaatkan dalam sistem monitoring adalah kemampuannya untuk menerima data dari perangkat IoT melalui

koneksi internet. Data hasil pengukuran dari ESP32 dikirimkan ke Google Spreadsheet menggunakan Google Apps Script atau Google Sheets API, yang bertindak sebagai jembatan komunikasi antara perangkat keras dan lembar kerja. Proses ini memungkinkan data sensor seperti pH, TDS, suhu, dan debit air untuk dicatat secara otomatis dalam format tabel yang terstruktur, lengkap dengan timestamp untuk setiap entri data.

Keunggulan penggunaan Google Spreadsheet dalam sistem monitoring antara lain adalah penyimpanan data berbasis cloud yang aman dan dapat diakses dari mana saja, kapasitas penyimpanan yang besar, serta kemudahan dalam melakukan analisis data menggunakan fitur-fitur spreadsheet seperti grafik dan formula. Data yang terkumpul dapat digunakan untuk membuat grafik tren kualitas air, menghitung statistik, atau melakukan analisis lebih lanjut untuk mendeteksi pola perubahan kualitas air dalam jangka waktu tertentu. Beberapa penelitian sebelumnya telah mengimplementasikan integrasi serupa, misalnya pada sistem monitoring kualitas air menggunakan ESP32 yang berhasil mengirimkan data ke Google Spreadsheet dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 100%. Dengan demikian, Google Spreadsheet menjadi solusi penyimpanan data yang efektif dan efisien untuk mendukung sistem monitoring kualitas air dan debit air rumah tangga berbasis IoT.

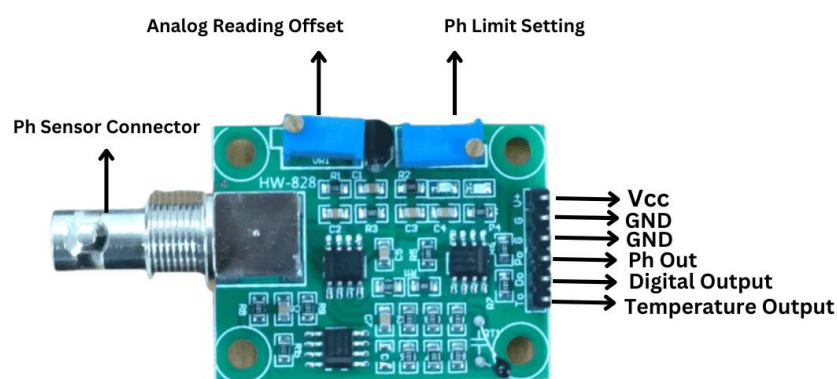
2.2.11 Sensor pH



Gambar 2. 4 Sensor pH

Sensor pH adalah perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur derajat keasaman atau kebasaan suatu larutan. Bentuk fisik sensor pH yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.4. Nilai pH (Potential

of Hydrogen) merupakan indikator penting yang menunjukkan konsentrasi ion hidrogen dalam suatu larutan, yang dinyatakan dalam skala 0 hingga 14. Larutan dengan nilai pH 7 dikategorikan netral, nilai pH di bawah 7 menunjukkan kondisi asam, sedangkan nilai pH di atas 7 menunjukkan kondisi basa[22]. Secara umum, sensor pH terdiri atas dua komponen utama, yaitu probe atau elektroda pH dan rangkaian pengkondisi sinyal (signal conditioning circuit). Probe pH berfungsi sebagai elemen sensor yang bersentuhan langsung dengan larutan yang akan diukur, sementara rangkaian pengkondisi sinyal berfungsi untuk memproses sinyal listrik yang sangat kecil yang dihasilkan oleh probe menjadi sinyal yang dapat dibaca oleh mikrokontroler. Probe pH pada dasarnya adalah sebuah sel elektrokimia yang menghasilkan tegangan listrik sangat kecil, antara 0 hingga 1 volt saat dicelupkan ke dalam larutan. Tegangan yang dihasilkan ini berbanding lurus dengan nilai pH larutan, di mana setiap perubahan satu satuan pH akan mengubah tegangan sekitar 59 milivolt pada suhu 25 derajat Celcius[22]. Prinsip kerja ini dikenal sebagai respons Nernstian, yang merupakan dasar dari semua pengukuran pH menggunakan metode potensiometri. Konfigurasi pin pada modul sensor pH ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2. 5 Pinout Modul Sensor pH

Berdasarkan Gambar 2.5, fungsi masing-masing pin pada modul sensor pH dirangkum pada Tabel 2.4 berikut.

Tabel 2- 4 Tabel Konfigurasi Pin Modul Sensor pH

Pin	Fungsi
VCC	Pin input daya positif untuk menyalakan IC Op-Amp pada modul. Diperlukan tegangan 5V DC dari ESP32 agar rangkaian pembacaan tegangan analog berjalan dengan stabil.
GND	Ground pertama berfungsi sebagai jalur netral/negatif daya. Ground kedua terhubung secara internal (short) dengan pin Ground pertama. Disediakan dua pin G untuk mempermudah pencabangan common ground ke perangkat/sensor lain jika diperlukan.
Ph Out	Pin ini mengeluarkan tegangan searah (DC) analog yang nilainya berubah secara linear sesuai dengan perubahan ion hidrogen yang dideteksi probe. Pin inilah yang wajib dihubungkan ke ESP32.
Digital Output	Berfungsi sebagai saklar digital otomatis. Batas pemicunya (threshold) diatur secara manual memutar potensiometer Ph Limit Setting di bagian atas modul.
Temperature Output	Pin ini mengeluarkan sinyal analog dari sensor suhu (termistor) bawaan papan jika Anda ingin menggunakannya untuk kompensasi suhu otomatis (Automatic Temperature Compensation).

Spesifikasi dari sensor ini dirangkum pada Tabel 2-5 adalah berikut

Tabel 2- 5 Tabel Spesifikasi Sensor pH

Parameter	Spesification
Heating voltage	5+-0.2V (AC - DC)
Working current	5-10mA
The detection concentration range	PH0-14
The detection range of temperature	0-80 centigrade
The response time	≤ 5S

Stability time	$\leq 60S$
Power consumption	$\leq 0.5W$
The working temperature	-10-50 centigrade (the nominal temperature 20 centigrade)
Working humidity	95%RH (nominal humidity 65%RH)
Service life	3 years
Size	42mm x 32mm x 20mm
The output	analog voltage signal output

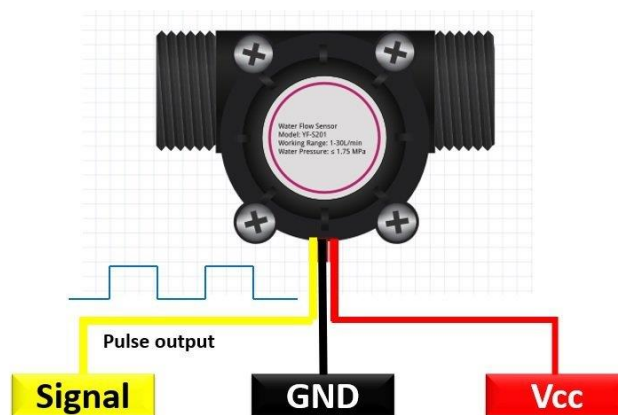
2.2.12 Sensor Flow YF-S201



Gambar 2. 6 Sensor Flow YF-S201

Sensor flow YF-S201 merupakan perangkat yang berfungsi untuk mengukur debit aliran fluida, khususnya air, yang mengalir melalui suatu pipa atau saluran. Bentuk fisik sensor flow YF-S201 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.6. Sensor ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi seperti sistem monitoring debit air rumah tangga, pengisian tangki otomatis, sistem hidroponik, hingga mesin kopi dan dispenser[23]. Secara konstruksi fisik, sensor flow YF-S201 terdiri atas tiga komponen utama yaitu body atau rumah sensor yang terbuat dari bahan plastik, rotor atau kincir air yang dilengkapi dengan magnet, serta sensor hall effect yang berfungsi sebagai pembaca perubahan medan magnet. Rotor dipasang di dalam body sensor dan dapat berputar secara bebas ketika dialiri air. Pada rotor tersebut terdapat magnet kecil yang ikut berputar ketika rotor bergerak. Sementara itu, sensor hall effect diletakkan di luar jalur aliran air sehingga tidak bersentuhan langsung dengan fluida, yang membuat

sensor ini aman dari kerusakan akibat air dan memiliki daya tahan yang baik. Konfigurasi pin pada sensor flow YF-S201 ditunjukkan pada Gambar 2.7 dan penjelasan lebih lanjut terkait pin konfigurasi sensor ini dirangkum pada tabel 2-6 berikut



Gambar 2. 7 Pinout Sensor Flow

Tabel 2- 6 Tabel Konfigurasi Pin Sensor Flow

Pin	Fungsi
VCC	Berfungsi sebagai saluran masukan daya positif penyuplai tegangan kerja sirkuit efek Hall. Pin ini dihubungkan pada terminal 5V DC mikrokontroler untuk menjamin kinerja sensor secara optimal sesuai dengan rentang operasi spesifikasi pabrikan.
GND	Berfungsi sebagai saluran potensial nol (0V) atau Ground. Kabel ini dikoneksikan pada pin GND ESP32 untuk membentuk interkoneksi sistem referensi tegangan terikat.
Ph Out	Pin ini merupakan jalur keluaran yang menghasilkan sinyal pulsa digital. Sinyal pulsa ini dihasilkan oleh hall-effect sensor di dalam perangkat ketika magnet pada baling-baling berputar akibat aliran air. Setiap satu liter air yang mengalir menghasilkan sekitar 450 pulsa, sehingga pulsa yang terbaca dapat dikonversi menjadi nilai debit dalam satuan liter per menit (L/min).

Spesifikasi dari sensor Flow dijelaskan pada tabel 2-7 berikut

Tabel 2- 7 Spesifikasi dari Flow YF-S201

Parameter	Spesification
Operating Voltage	4.5V to 18V DC
Output type	5V TTL
Maximum current draw	15mA at 5V
The sensor used	Hall Effect
Working Flow rate	1 to 30 Liters/Minute
Accuracy	±10%
Pulses per Liter	450
Output duty cycle	50% +-10%
Maximum water pressure	2.0 MPa
Flow rate pulse characteristics	7.5 * Flow rate (L/min)

Untuk keperluan monitoring debit air rumah tangga secara real-time, digunakan sensor flow meter seperti YF-S201. Sensor flow meter YF-S201 bekerja berdasarkan prinsip Hall effect, di mana ketika air mengalir melalui gulungan rotor, terjadi perubahan medan magnet secara terus menerus yang menyebabkan timbulnya pulsa listrik yang frekuensinya dapat ditentukan. Pulsa ini selanjutnya akan dijadikan referensi untuk menghitung volume pemakaian air. Secara lebih rinci, cara kerja sensor YF-S201 adalah sebagai berikut: ketika air melewati sensor, rotor akan berputar dan kecepatan rotor akan sesuai dengan aliran air yang masuk; pulsa sinyal dari rotor akan diterima oleh sensor Hall effect untuk diproses oleh mikrokontroler.

Berdasarkan datasheet sensor YF-S201, hubungan antara frekuensi pulsa yang dihasilkan dengan laju aliran air dinyatakan dengan persamaan :

$$F = 7,5 \times Q$$

Keterangan:

F = frekuensi pulsa yang dihasilkan (Hz)

Q = laju aliran air (L/menit)

Dari persamaan tersebut, volume air yang mengalir dalam satuan liter dapat dihitung berdasarkan jumlah pulsa yang terbaca. Sensor YF-S201 memiliki spesifikasi 450 pulsa per liter, artinya setiap 450 pulsa yang dihasilkan setara dengan 1 liter air yang mengalir. Hasil pengujian yang dilakukan pada penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sensor flow YF-S201 memiliki nilai rata-rata error sebesar 3,10% dan nilai akurasi mencapai 96,90%[24].

2.2.13 TDS (*Total Dissolved Solids*) Sensor V1.0



Gambar 2. 8 Sensor Total Dissolved Solids

Sensor Total Dissolved Solids atau yang lebih dikenal dengan sensor TDS merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur konsentrasi total zat padat terlarut dalam suatu cairan, khususnya air. Bentuk fisik sensor TDS yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.8. Zat padat terlarut tersebut dapat berupa senyawa organik maupun anorganik seperti natrium, kalsium, magnesium, serta senyawa organik dalam jumlah kecil[25]. Pengukuran kadar TDS dalam air pada dasarnya didasarkan pada prinsip konduktivitas listrik atau daya hantar listrik (DHL). Air murni (H_2O) memiliki resistansi listrik yang sangat tinggi karena tidak mengandung ion-ion penghantar listrik. Ketika terdapat zat padat terlarut yang terdisosiasi menjadi ion-ion bermuatan (kation dan anion), konduktivitas listrik air akan meningkat sebanding dengan konsentrasi zat terlarut tersebut. Sensor TDS bekerja dengan mengalirkan arus listrik bolak-balik (AC) melalui dua elektroda yang dicelupkan ke dalam sampel air, kemudian besarnya arus yang mengalir diukur dan dikonversi menjadi nilai TDS dalam satuan mg/L atau part per million

(ppm)[12]. Penggunaan arus AC bertujuan untuk mencegah terjadinya polarisasi pada elektroda yang dapat mengganggu akurasi pengukuran.

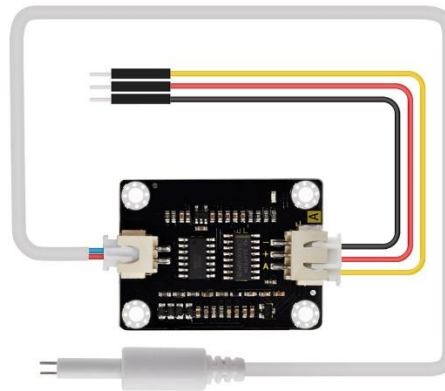
Dalam regulasi di Indonesia, terdapat perbedaan standar baku mutu TDS antara air minum dan air untuk keperluan higiene sanitasi. Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 32 Tahun 2017 tentang Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan dan Persyaratan Kesehatan Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi, Kolam Renang, Solus Per Aqua, dan Pemandian Umum, disebutkan bahwa Air untuk Keperluan Higiene Sanitasi adalah air dengan kualitas tertentu yang digunakan untuk keperluan sehari-hari seperti pemeliharaan kebersihan perorangan (mandi dan sikat gigi), serta untuk keperluan cuci bahan pangan, peralatan makan, dan pakaian. Kualitas air ini berbeda dengan kualitas air minum. Standar baku mutu TDS untuk Air Higiene Sanitasi berdasarkan Permenkes No. 32 Tahun 2017 ditunjukkan pada tabel 2-8.

Tabel 2- 8 Tabel Sanitasi Berdasarkan Permenkes No.32 Tahun 2017

No	Parameter Wajib	Satuan	Standar Baku Mutu (Kadar Maksimum)
1.	Kekeruhan	NTU	25
2.	Warna	TCU	50
3.	TDS (Total Dissolved Solid)	mg/L	1000
4.	Suhu	°C	Suhu udara $\pm$ 3
5.	Rasa	-	Tidak berasa
6.	Bau	-	Tidak berbau

Berdasarkan tabel di atas, kadar maksimum TDS yang diperbolehkan untuk Air Higiene Sanitasi adalah 1000 mg/L. Nilai ini lebih longgar dibandingkan standar untuk air minum yang hanya memperbolehkan kadar TDS maksimum 500 mg/L berdasarkan Permenkes No. 492 Tahun 2010.

Gambar dan penjelasan dari Pin dan fungsi pin pada sensor Total Dissolved Solids ditunjukkan pada gambar 2.9 dan tabel 2-9 berikut



Gambar 2. 9 Pinout Modul Sensor TDS

Tabel 2- 9 Tabel Konfigurasi Pin Modul Sensor TDS

Pin	Fungsi
VCC	Pin ini berfungsi sebagai jalur masukan tegangan suplai untuk mengaktifkan rangkaian sensor. Sensor ini membutuhkan tegangan operasi dalam rentang 3.3V hingga 5.5V DC yang diperoleh dari mikrokontroler atau sumber daya eksternal.
GND	Pin ini berfungsi sebagai jalur ground atau tegangan referensi 0V. Pin GND harus terhubung dengan ground pada mikrokontroler agar rangkaian listrik menjadi lengkap dan pembacaan sinyal analog yang dihasilkan stabil.
Ph Out	Pin ini merupakan jalur keluaran sinyal analog. Sensor menghasilkan tegangan keluaran yang sebanding dengan nilai TDS air yang diukur, dengan rentang tegangan 0 hingga 2.3V. Sinyal tegangan ini kemudian dibaca oleh mikrokontroler melalui pin ADC (Analog-to-Digital Converter) untuk dikonversi menjadi nilai TDS dalam satuan ppm (parts per million).

Spesifikasi dari sensor TDS ditunjukkan pada tabel 2-10 berikut ini:

Tabel 2- 10 Spesifikasi dari sensor TDS

Parameter	Specification
Input Voltage	3.3 ~ 5.5V
Output Voltage	0 ~ 2.3V

Working Current	3 ~ 6mA
TDS Measurement Range	0 ~ 1000ppm
TDS Measurement Accuracy	± 10% F.S. (25 °C)
Module Size	42 * 32mm
Module Interface	PH2.0-3P
Electrode Interface	XH2.54-2P

2.2.14 Sensor DS18B20



Gambar 2. 10 Sensor DS18B20

Sensor DS18B20 digunakan sebagai sensor pendukung untuk meningkatkan akurasi pengukuran Total Dissolved Solids (TDS) pada sistem monitoring kualitas air. Bentuk fisik sensor suhu DS18B20 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2.10. Prinsip kerja sensor TDS didasarkan pada pengukuran konduktivitas listrik air, yang nilainya sangat dipengaruhi oleh suhu. Ketika suhu air meningkat, mobilitas ion dalam larutan juga meningkat sehingga konduktivitas listriknya naik meskipun konsentrasi zat terlarut sebenarnya tidak berubah[26]. Akibatnya, pembacaan TDS menjadi tidak akurat jika tidak dilakukan kompensasi suhu. Sensor DS18B20 berfungsi untuk mengukur suhu air secara real-time. Data suhu yang diperoleh kemudian digunakan dalam algoritma kompensasi untuk menormalkan pembacaan TDS ke suhu referensi standar 25°C. Dengan adanya kompensasi suhu, variabilitas pembacaan akibat perubahan suhu lingkungan dapat dikurangi secara signifikan, sehingga perubahan nilai TDS yang terdeteksi benar-benar mencerminkan perubahan kualitas air yang sebenarnya.

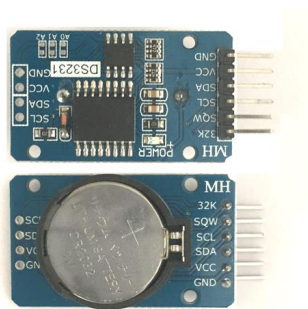
Penelitian menunjukkan bahwa tanpa kompensasi suhu, nilai TDS dapat bervariasi secara signifikan hanya karena perubahan suhu, sehingga menyulitkan identifikasi perubahan kualitas air.

Pada tabel 2-11 berikut dijelaskan konfigurasi pin pada sensor DS18B20 dan fungsi setiap pin.

Tabel 2- 11 Tabel Konfigurasi Pin Sensor DS18B20

Pin	Fungsi
VCC	Pin ini berfungsi sebagai sumber tegangan untuk sensor DS18B20 dapat beroperasi pada tegangan 3.3V atau 5V.
GND	Pin ini berfungsi sebagai jalur ground atau tegangan referensi 0V. Pin GND harus terhubung dengan ground pada mikrokontroler agar rangkaian listrik menjadi lengkap dan pembacaan sinyal analog yang dihasilkan stabil.
DQ	Pin DQ adalah jalur utama untuk komunikasi antara ESP32 dan sensor DS18B20. Semua perintah (seperti memulai konversi suhu atau membaca hasil) dan data suhu dikirimkan melalui pin tunggal ini. Protokol 1-Wire memungkinkan pertukaran data hanya dengan satu kabel data.

2.2.15 RTC DS3231



Gambar 2. 11 Real-Time Clock

Real-Time Clock atau RTC adalah sirkuit elektronik yang berfungsi sebagai penunjuk waktu nyata yang terus berjalan meskipun perangkat utama dalam keadaan mati. Modul Real-Time Clock (RTC) DS3231 yang digunakan pada sistem

ini ditunjukkan pada Gambar 2.11. RTC mampu menghitung detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun secara akurat dengan mempertimbangkan koreksi tahun kabisat, berbeda dengan timer biasa yang hanya menghitung periode waktu tertentu[27]. Fitur utama RTC adalah adanya sumber daya cadangan berupa baterai, biasanya jenis CR2032, yang membuat RTC tetap berdetak meskipun catu daya utama sistem dimatikan. Konsumsi daya RTC dalam mode cadangan ini sangat rendah, hanya sekitar beberapa ratus nanoampere hingga mikroampere, sehingga baterai mampu bertahan hingga bertahun-tahun.

Penjelasan terkait pin dan fungsi serta spesifikasi pada RTC ditunjukkan pada tabel 2-12 dan tabel 2-13 berikut

Tabel 2- 12 Tabel Konfigurasi Pin RTC

Pin	Fungsi
VCC	Suplai tegangan utama (2.3 – 5.5V DC)
GND	Tegangan referensi 0V (ground)
SDA	Jalur data untuk komunikasi I2C
SCL	Jalur clock untuk komunikasi I2C
BAT	Masukan daya cadangan dari baterai
32K	Keluaran sinyal osilator 32.768 kHz
INT/SQW	Keluaran interupsi alarm atau gelombang kotak
RST	Reset eksternal atau indikasi power-fail

Tabel 2- 13 Tabel Spesifikasi Modul RTC DS3231

Kategori	Parameter	Simbol	Kondisi
Sumber Daya	Tegangan Catu Daya Utama	VCC	-
	Tegangan Catu Daya Backup Baterai	VBAT	-
Konsumsi Daya	Arus Aktif (I ² C Aktif)	ICCA	VCC = 3.63V
			VCC = 5.5V
	Arus Siaga (I ² C Tidak Aktif)	ICCS	32kHz Output ON, SQW OFF, VCC = 3.63V

Kategori	Parameter	Simbol	Kondisi
			32kHz Output ON, SQW OFF, VCC = 5.5V
	Arus Konversi Suhu	ICCSCON V	I ² C Tidak Aktif, VCC = 3.63V
			I ² C Tidak Aktif, VCC = 5.5V
	Arus Baterai (Saat VCC Aktif)	IBATLKG	VBAT
Akurasi Waktu	Akurasi Penunjukan Waktu	tKA	-40°C s/d +85°C, VCC = 3.3V
Komunikasi I ² C	Kecepatan Clock I ² C (Mode Cepat)	fSCL	Fast-Mode
	Level Tegangan Input Logika 1 (SCL, SDA)	VIH	-
	Level Tegangan Input Logika 0 (SCL, SDA)	VIL	-
Pin dan Sinyal	Tegangan Deteksi Power-Fail	VPF	-
	Waktu Konversi Suhu	tCONV	-
	Frekuensi Output	fOUT	-
Kondisi Operasi	Suhu Operasi	TA	Varian <i>Commercial</i>
			Varian <i>Industrial</i> (SN#)

2.2.16 Power Supply 5V 2A



Gambar 2. 12 Power Supply 5V

Power supply atau catu daya merupakan komponen vital dalam setiap sistem elektronik karena berfungsi sebagai sumber energi listrik yang dibutuhkan oleh seluruh komponen agar dapat beroperasi dengan baik. Modul power supply 5V yang digunakan sebagai sumber daya sistem ditunjukkan pada Gambar 2.12. Secara umum, power supply didefinisikan sebagai suatu rangkaian elektronik yang berfungsi untuk mengubah tegangan listrik dari sumber (seperti listrik AC dari PLN) menjadi tegangan DC (arus searah) yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan beban[28]. Dalam sistem monitoring yang dirancang pada tugas akhir ini, digunakan power supply dengan spesifikasi 5V 2A yang berfungsi untuk mencatu daya ke mikrokontroler ESP32 dan seluruh sensor yang terintegrasi.

Secara umum, rangkaian power supply 5V terdiri atas beberapa tahapan utama, yaitu transformator, penyearah (rectifier), filter, dan regulator tegangan. Prinsip kerjanya adalah sebagai berikut: tegangan listrik AC 220V dari sumber PLN diturunkan oleh transformator menjadi tegangan AC yang lebih rendah (biasanya sekitar 6-9V AC). Tegangan AC rendah ini kemudian dilewatkan ke rangkaian penyearah yang terdiri dari dioda (baik sistem setengah gelombang maupun jembatan dioda) untuk mengubah arus AC menjadi arus DC yang masih berupa gelombang penuh. Selanjutnya, tegangan DC yang masih berdenyut ini melewati rangkaian filter berupa kapasitor elektrolit yang berfungsi untuk meratakan tegangan. Tahap terakhir adalah regulator tegangan, yang dalam kasus power supply 5V menggunakan IC regulator seperti LM7805 untuk menghasilkan tegangan keluaran DC yang stabil sebesar 5V[29].

Pemilihan power supply 5V 2A didasarkan pada perhitungan kebutuhan daya seluruh komponen sistem. Mikrokontroler ESP32 memiliki konsumsi daya tipikal sekitar 100-200mA saat aktif dengan Wi-Fi dan Bluetooth menyala. Namun, saat mengirim data secara intensif melalui Wi-Fi, ESP32 dapat menarik arus puncak hingga 300-400mA. Sementara itu, kebutuhan arus dari penggunaan keseluruhan sensor yang digunakan pada alat ini akan ditampilkan pada tabel 2-14 berikut

Tabel 2- 14 Tabel Kebutuhan Tegangan dan Arus

Komponen	Tegangan Kerja	Arus Kerja
ESP32	3.3V / 5V	100-400 mA
Sensor pH	5V	5-10 mA
Sensor TDS	3.3V - 5.5V	3-6 mA
Sensor Flow YF-S201	4.5V - 18V	15 mA (maks)
Modul RTC DS3231	3.3V - 5V	100-500 μ A (sangat kecil)
Total		= 123mA + 0,1 = 123,1 mA

Berdasarkan perhitungan tersebut, total kebutuhan arus seluruh komponen diperkirakan tidak melebihi 500-600 mA. Dengan demikian, power supply 5V 2A memiliki kapasitas arus yang cukup besar (2000 mA) dan masih menyisakan daya cadangan yang signifikan. Hal ini penting untuk menjaga stabilitas sistem karena power supply tidak bekerja pada batas maksimum kemampuannya, sehingga tegangan keluaran tetap stabil meskipun terjadi fluktuasi beban sesaat. Penggunaan power supply dengan kapasitas yang lebih besar dari kebutuhan aktual juga mencegah terjadinya overheating dan memperpanjang umur komponen.