

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Penelitian berjudul “Analisis Peningkatan Gas Metana (CH_4) pada Digester Portabel dengan Kotoran Sapi sebagai Sumber Energi Biogas Berbasis *Internet of Things* (IoT)” memiliki kesamaan dengan penelitian ini, yaitu sama-sama memantau parameter suhu, kelembapan, dan kadar metana yang dihasilkan limbah [3]. Perbedaannya terletak pada penggunaan perangkat, di mana penelitian tersebut menggunakan NodeMCU ESP 12-e (ESP 8266) sebagai mikrokontroler dan sensor DHT-11 untuk mendeteksi suhu dan kelembapan, sementara penelitian ini menggunakan ESP32 dan sensor DHT-22 yang lebih akurat. Selain itu, objek yang diteliti juga berbeda.

Pada tahun 2021, Abas Sato dan Nyoman Sri Wedari melakukan penelitian berjudul “Penggunaan MQ-5 sebagai Sensor yang Murah dengan Akurasi Tinggi untuk Pengukuran Konsentrasi Gas Metana dalam Biogas.” Penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian saat ini, yaitu menggunakan tabung sebagai wadah pengukuran konsentrasi gas metana. Namun, perbedaannya terletak pada implementasi teknologi, di mana penelitian tersebut menggunakan sensor MQ-5 yang terhubung dengan Arduino UNO untuk pencatatan dan pengoperasian data [4].

Pada tahun 2023, Atha Ezrafia, Yuli Fitriyani, dan Mariza Wijayanti melakukan penelitian berjudul “Sistem Monitoring Biodigester Berbasis Arduino Nano.” Penelitian ini menggunakan Arduino Nano sebagai alat kendali utama dengan dukungan sensor seperti thermocouple, sensor pH, sensor *water flow*, dan sensor *water level*. Perbedaan penelitian sekarang dengan penelitian [5] terletak pada desain alat yang lebih portabel dan ekonomis tanpa mengurangi fungsi utama untuk memantau parameter penting, seperti suhu, kelembapan, tekanan, dan kadar metana pada limbah, sehingga lebih mudah diterapkan di tingkat rumah tangga.

Fahriza Amartya, Ekki Kurniawan, dan Jangkung Raharjo pada tahun 2024 melakukan penelitian berjudul “Perancangan Sistem Monitoring Tekanan dan Konsentrasi Gas Metana Pada Biodigester.” Penelitian tersebut memiliki kesamaan dengan penelitian saat ini, yaitu penggunaan sensor MQ-4 untuk mendeteksi gas metana. Namun, perbedaannya terletak pada perangkat keras yang digunakan, di mana penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler ESP8266 dan sensor BMP180 untuk mendeteksi tekanan, sementara penelitian ini menggunakan ESP32 dan sensor tekanan Wisner yang lebih mendukung portabilitas dan efisiensi alat [6].

Penelitian sebelumnya telah berhasil mengimplementasikan sistem pemantauan seperti suhu, kelembapan, tekanan, dan gas metana dalam proses pengelolaan limbah menjadi biogas. Pada penelitian ini, sistem dirancang untuk mendeteksi keempat parameter tersebut menggunakan sensor, yang kemudian ditampilkan melalui LCD dan data disimpan secara *offline* menggunakan SD Card.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Energi Terbarukan

Energi berasal dari kata dalam bahasa Yunani, yaitu "En" yang berarti dalam, dan "Ergon" yang berarti kerja. Dengan demikian, energi dapat diartikan sebagai kemampuan untuk melakukan suatu usaha atau aktivitas. Menurut Undang-Undang No. 30 Tahun 2007, energi adalah kemampuan untuk melakukan kerja yang bisa berupa panas, cahaya, mekanik, kimia, atau elektromagnetik [7].

Energi terbarukan adalah energi yang diperoleh dari sumber yang terus-menerus atau dapat terisi ulang dengan cepat dalam alam, seperti energi yang diproduksi oleh radiasi matahari. Sumber energi baru dan terbarukan di bumi sebagian besar berasal dari energi matahari yang dipancarkan ke bumi.

Kebutuhan energi yang semakin meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia mendorong pentingnya pengembangan energi terbarukan untuk keberlanjutan. Sumber energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam diperkirakan akan habis dalam beberapa dekade jika tidak ada penemuan cadangan baru. Selain itu, penggunaan energi fosil juga menyebabkan dampak buruk bagi lingkungan, seperti pemanasan global dan polusi. Oleh karena itu, energi terbarukan menjadi solusi penting. Salah satu pilihan yang menonjol adalah biogas, yang dihasilkan dari proses anaerobik limbah. Biogas tidak hanya menyediakan

energi yang bersih, tetapi juga membantu mengurangi limbah. Dengan keuntungan ganda ini, biogas berpotensi menjadi bagian penting dalam strategi energi ramah lingkungan di masa depan.

2.2.2 Biogas dan Proses Anaerob

Salah satu sumber energi alternatif yang saat ini sedang dikembangkan di Indonesia adalah biogas. Biogas merupakan gas yang terbentuk melalui proses anaerobik, di mana molekul karbon yang kompleks dalam bahan organik dipecah menjadi molekul yang lebih sederhana, termasuk metana (CH_4) dan karbon dioksida (CO_2). Di Indonesia, pemanfaatan biogas masih terbatas pada penggunaan sebagai bahan bakar untuk kompor. Namun, sebagian masyarakat Indonesia telah mulai membangun reaktor biogas kecil (biodigester) secara mandiri. Reaktor ini biasanya terbuat dari plastik atau tong, dan bahan baku biogas utamanya berasal dari kotoran sapi, dengan jumlah sapi yang bervariasi antara 3-5 ekor.

Ada tiga tahap utama dalam pembentukan biogas dari pengolahan bahan organik menggunakan mikroorganisme anaerob, yaitu hidrolisis, pengasaman (asidifikasi), dan metanogenesis [8]:

- Hidrolisis

Proses hidrolisis adalah langkah awal dari fermentasi, di mana bahan organik dipecah menjadi senyawa yang lebih sederhana dan larut, seperti lemak, protein, dan karbohidrat. Proses ini mengubah polimer

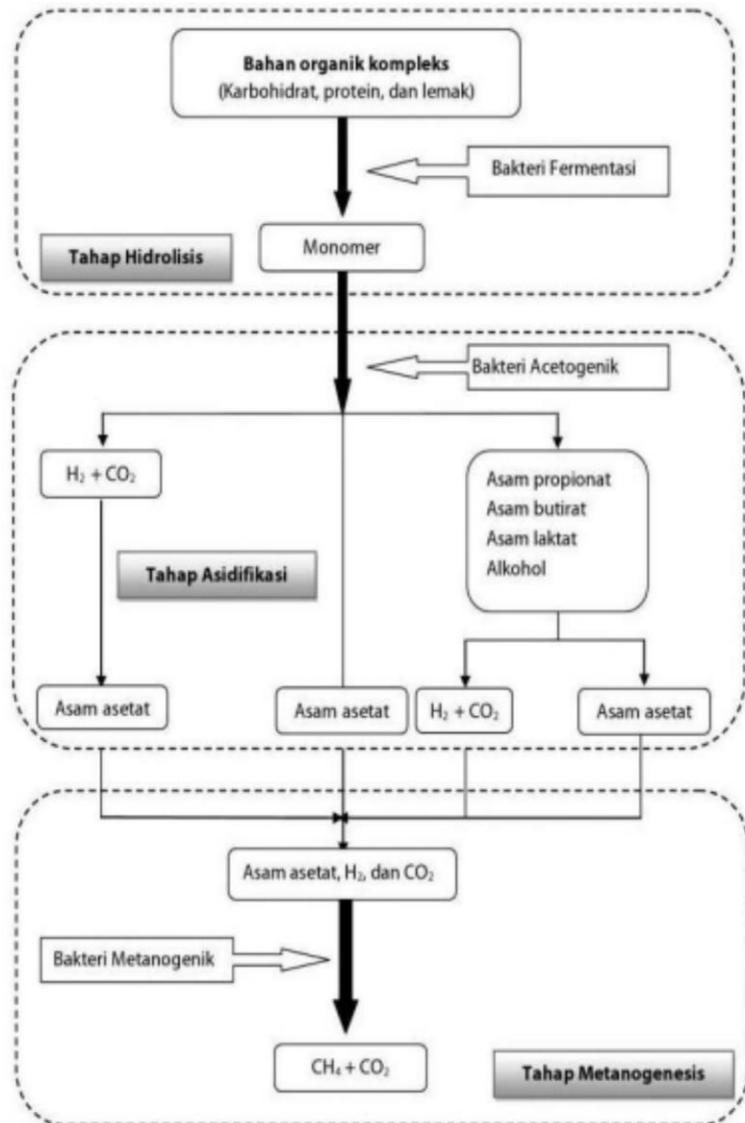
menjadi monomer, menghasilkan senyawa seperti asam organik, glukosa, etanol, CO₂, dan senyawa hidrokarbon lainnya.

- Pengasaman (Asidifikasi)

Pada tahap ini, mikroorganisme memanfaatkan senyawa yang dihasilkan dari hidrolisis sebagai sumber energi untuk menghasilkan senyawa asam organik, seperti asam asetat, asam propionat, asam butirat, dan asam laktat. Selain itu, dihasilkan juga produk sampingan seperti alkohol, CO₂, hidrogen, dan amonia.

- Metanogenesis

Proses terakhir adalah metanogenesis, di mana bakteri metanogenik seperti *Methanococcus*, *Methanosarcina*, dan *Methanobacterium* mengubah produk sampingan dari pengasaman menjadi gas metana, karbon dioksida, dan air, yang membentuk komponen utama biogas.



Gambar 2.1 Proses Pembentukan Biogas

Setiap jenis bahan baku untuk pembuatan biogas yang telah dikembangkan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Produktivitas biogas yang digunakan akan mempengaruhi kualitas nyala api yang dihasilkan. Beberapa jenis biogas menghasilkan nyala

api yang tidak stabil karena dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti suhu, kelembapan, dan tekanan. Proses fermentasi anaerobik oleh mikroorganisme bekerja paling baik pada suhu antara 25°C hingga 40°C. Kelembapan yang ideal untuk fermentasi ini berkisar antara 60% hingga 90%. Tekanan optimal untuk fermentasi adalah tekanan udara normal, yaitu sekitar 1 atm (1 bar hingga 1,1 bar). Berikut beberapa bahan yang biasa dijadikan sebagai bahan baku biogas disajikan pada tabel 2.1 [9] [10].

Tabel 2.1 Rasio Karbon dan Nitrogen (C/N) Limbah

Bahan	Rasio (C/N)
Kotoran bebek	8
Kotoran manusia	8
Kotoran ayam	10
Kotoran kambing	12
Kotoran babi	18
Kotoran domba	19
Kotoran sapi	24
Eceng gondok	25
Kulit nanas	36
Kotoran gajah	43
Batang jagung	60

Jerami padi	70
Jerami gandum	90
Serbuk kayu	Di atas 200

Dalam proses pembuatan biogas, penting untuk memperhatikan komposisi bahan yang digunakan. Kandungan dalam biogas yang dihasilkan sangat tergantung pada jenis bahan baku yang dipilih, seperti yang ditunjukkan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Komposisi Gas (%) dalam Biogas

No	Komponen	Rumus Kimia	Jumlah (%)
1	Methana	CH ₄	54-74
2	Karbon-dioksida	CO ₂	27-75
3	Nitrogen	N ₂	3-5
4	Hidrogen	H ₂	0-1
5	Karbonmonoksida	CO	0,1
6	Oksigen	O ₂	0,1
7	Hidrogen Sulfida	H ₂ S	Sangat sedikit

2.2.3 Digester

Untuk menghasilkan biogas yang bisa digunakan sebagai bahan bakar, diperlukan alat yang disebut digester. Biogas dalam digester mulai terbentuk pada hari ke-2 hingga ke-3, dan produksi puncaknya terjadi pada hari ke-5 hingga ke-7, tergantung pada bahan tambahan yang digunakan. Rata-rata, biogas mengandung sekitar 55% metana, yang merupakan komponen utama biogas. Dalam penelitian ini, digester yang digunakan terbuat dari *stainless steel*.

Beberapa hal yang perlu diperhatikan saat membangun biodigester adalah [11]:

- Kondisi anaerob: Proses digesti harus dilakukan tanpa oksigen. Jika udara yang mengandung oksigen masuk ke dalam digester, hal ini akan mengurangi produksi metana. Bakteri lebih memilih menggunakan oksigen daripada mengurai bahan organik dalam digester.
- Temperatur yang stabil: Suhu ideal untuk digester di Indonesia biasanya antara 25–40 derajat Celsius.
- Keasaman (pH): pH yang ideal untuk pertumbuhan bakteri dalam digester berkisar antara 6,6 hingga 7,0, dan sebaiknya tidak di bawah 6,2.
- C/N rasio: Rasio karbon terhadap nitrogen (C/N) yang ideal untuk produksi biogas adalah antara 20 hingga 40. Untuk menambah karbon,

bahan seperti jerami atau urea (yang mengandung nitrogen) dapat digunakan.

- Nutrisi tambahan: Selama proses fermentasi, bakteri memerlukan nutrisi tambahan berupa unsur logam dalam jumlah kecil. Kekurangan nutrisi ini dapat menghambat produksi metana. Nutrisi yang dibutuhkan meliputi ammonia (NH_3) sebagai sumber nitrogen, nikel (Ni), tembaga (Cu), besi (Fe), serta magnesium (Mg), fosfor dalam bentuk fosfat (PO_4), dan seng (Zn) dalam jumlah yang sangat sedikit.

2.2.4 Sistem monitoring

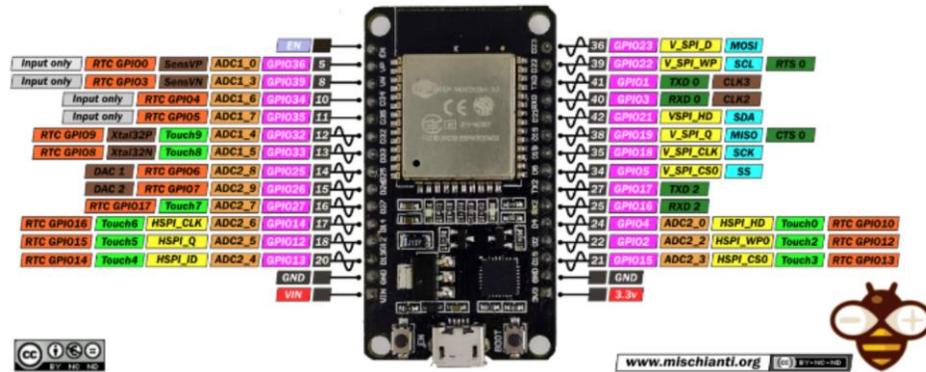
Monitoring atau pemantauan adalah serangkaian kegiatan yang melibatkan pengumpulan data, peninjauan, pelaporan, dan tindakan berdasarkan informasi yang diperoleh dari suatu proses yang sedang dilaksanakan. Monitoring biasanya digunakan untuk membandingkan kinerja dengan target yang telah ditentukan, guna memastikan bahwa proses berjalan sesuai rencana. Aktivitas ini juga memberikan informasi tentang kelangsungan suatu proses dan membantu menetapkan langkah-langkah perbaikan yang berkelanjutan. Pemantauan dilakukan selama proses sedang berlangsung, dan sistem monitoring dapat difokuskan pada setiap kegiatan dalam bagian tertentu, seperti kegiatan pemesanan barang oleh bagian *purchasing*.

Tujuan sistem monitoring dapat dilihat dari beberapa aspek, seperti objek dan subjek yang dipantau, serta hasil dari pemantauan itu sendiri. Beberapa tujuan utama dari sistem monitoring adalah:

- Menjamin bahwa suatu proses dijalankan sesuai prosedur yang berlaku, sehingga tetap berada di jalur yang benar.
- Memberikan tingkat keakuratan data yang tinggi bagi pihak yang melakukan pemantauan.
- Memungkinkan identifikasi cepat terhadap hasil yang tidak diinginkan dalam suatu proses, tanpa harus menunggu hingga proses selesai.
- Meningkatkan motivasi dan kebiasaan positif di kalangan pekerja.

2.2.5 Mikrokontroler ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler canggih yang diperkenalkan oleh Espressif Systems sebagai penerus ESP8266. Mikrokontroler ini merupakan SoC (*System on Chip*) yang terintegrasi, dilengkapi dengan konektivitas WiFi 802.11, Bluetooth versi 4.2, dan berbagai periferal lainnya [12].



Gambar 2.2 Pinout dari ESP32

Keunggulan ESP32 dibandingkan mikrokontroler lainnya terletak pada jumlah pin yang lebih banyak, termasuk pin analog, kapasitas memori yang lebih besar, dukungan Bluetooth 4.0 *Low Energy*, dan konektivitas WiFi. Fitur-fitur ini menjadikan ESP32 sangat cocok untuk aplikasi *Internet of Things* (IoT) (Imran, 2020). Spesifikasi ESP32 dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.3 Spesifikasi ESP32

Kategori	Item	Spesifikasi
Certification	<ul style="list-style-type: none"> RF certification WiFi certification Bluetooth certification Green certification 	<ul style="list-style-type: none"> FCC/CE-RED/IC/TELEC/KCC/SRRC/NCC Wi-Fi Alliance BQB RoHS/REACH
Test	Reliability	HTOL/HTSL/uHAST/TCT/ESD

WiFi	<ul style="list-style-type: none"> • Protocols • Frequency range 	<ul style="list-style-type: none"> • 802.11 b/g/n (802.11n, speed up to 150 Mbps) A-MPDU and A-MSDU aggregation, support 0.4 μs guard interval • 2.4 GHz ~ 2.5 GHz
Bluetooth	<ul style="list-style-type: none"> • Protocols • Radio • Audio 	<ul style="list-style-type: none"> • Compliant with Bluetooth v4.2 BR/EDR and BLE • NZIF receiver with -97 dBm sensitivity, Class-1, Class-2 and Class-3 transmitters, AFH • CVSD and SBC audio
Hardware	<ul style="list-style-type: none"> • Module interface On-chip • On-chip sensor • Integrated crystal • Integrated SPI flash • Operating voltage 	<ul style="list-style-type: none"> • SD card, UART, SPI, SDIO, I2C, LED PWM, motor PWM, I2S, IR, pulse counter, GPIO, capacitive touch sensor, ADC, DAC • Hall sensor • 40 MHz crystal • 4 MB • 2.7 V – 3.6 V

2.2.6 Sensor DHT-22

Sensor DHT-22 adalah perangkat yang dapat mengukur suhu dan kelembapan dengan akurasi tinggi. Sensor ini memiliki banyak keunggulan, seperti tingkat kalibrasi yang presisi, rentang pengukuran yang luas, dan kemampuan mengirimkan data melalui kabel hingga jarak 20 meter, sehingga dapat dipasang di berbagai lokasi [13].



Gambar 2.3 Sensor DHT-22

DHT-22 memberikan hasil pengukuran suhu dan kelembapan yang akurat dengan keandalan tinggi dan stabilitas jangka panjang. Sensor ini dilengkapi dengan elemen pengukur kelembapan tipe resistif dan elemen pengukur suhu tipe NTC. Selain itu, sensor ini memiliki mikrokontroler 8-bit bawaan yang memungkinkan respons cepat dan efisiensi biaya. Terkait spesifikasi detail dari sensor DHT-22 bisa dilihat pada Tabel 2.4

Tabel 2.4 Spesifikasi Sensor DHT-22

Model	DHT-22
Tegangan	3.3 - 6 VDC

<i>Output signal</i>	<i>Digital signal via 1-wire bus</i>
<i>Operating range</i>	<i>Polymer capacitor</i>
<i>Accuracy</i>	<i>Humidity 0-100% RH Temperature -40~80 Celsius</i>
<i>Resolution or sensitivity</i>	<i>Humidity 0.1%RH Temperature 0.1 Celsius</i>
<i>Repeatability</i>	<i>Humidity +-1%RH Temperature +-0.2 Celsius</i>
<i>Humidity hysteresis</i>	<i>+/-0.3% RH</i>
<i>Long-term stability</i>	<i>+/-0.5%RH/year</i>
<i>Sensing period</i>	<i>Average: 2s</i>
<i>Interchangeability</i>	<i>Fully interchangeable</i>

2.2.7 Sensor Tekanan

Sensor tekanan adalah alat yang digunakan untuk mengukur tekanan dengan mengubahnya menjadi sinyal listrik. Sinyal ini memiliki nilai yang sesuai dengan tekanan yang terdeteksi oleh sensor. Biasanya, sensor tekanan digunakan untuk mengukur tekanan pada gas dan cairan. Dalam alat ini, sensor tekanan berfungsi untuk memantau tekanan yang dihasilkan selama proses anaerob limbah di dalam wadah *stainless steel* (digester). Sensor yang digunakan yaitu Wisner WPT-83G yang bisa dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.4 Sensor Tekanan Wisner

Tekanan yang terbaca oleh sensor ini menjadi salah satu parameter penting dalam menentukan efisiensi proses fermentasi anaerob. Dalam konteks biodigester, tekanan yang dihasilkan mencerminkan jumlah gas metana yang terbentuk selama proses dekomposisi limbah. Data tekanan ini kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses dan ditampilkan melalui LCD serta disimpan pada SD Card. Dengan memantau tekanan secara kontinu, pengguna dapat mengevaluasi kinerja biodigester dan melakukan penyesuaian jika terjadi penyimpangan yang dapat memengaruhi produksi gas metana. Adapun spesifikasi sensor lebih jelasnya bisa dilihat pada Tabel 2.5

Tabel 2.5 Spesifikasi Sensor Tekanan

<i>Brand</i>	Wisner
<i>Measuring range</i>	0-10 Bar
<i>Accuracy</i>	$\pm 1\%FS$
<i>Output signal</i>	0.5-4.5V DC
<i>Supply voltage</i>	DC 5V
<i>Operating temperature</i>	-20 ~ 85°C

<i>Response time</i>	$\leq 3\text{ms}$
<i>Operating current</i>	$\leq 3\text{mA}$
<i>Overload pressure</i>	150%FS
<i>Protection class</i>	IP65

2.2.8 Sensor MQ-4

Sensor gas MQ-4 menggunakan material SnO_2 (timah dioksida), yang memiliki konduktivitas rendah di udara bersih. Ketika terdapat gas yang mudah terbakar, konduktivitas sensor meningkat seiring dengan kenaikan konsentrasi gas. Perubahan konduktivitas ini dapat diubah menjadi sinyal keluaran untuk menunjukkan tingkat konsentrasi gas menggunakan rangkaian sederhana. Sensor ini sangat sensitif terhadap gas metana dan memiliki ketahanan terhadap gangguan dari alkohol dan gas lainnya.



Gambar 2.5 Sensor MQ-4

SnO_2 adalah semikonduktor oksida logam yang berfungsi untuk mendeteksi gas. Ketika dipanaskan, material ini bereaksi dengan gas-gas

reduksi seperti hidrogen (H_2), metana (CH_4), karbon monoksida (CO), etanol (C_2H_5), dan hidrogen sulfida (H_2S), yang menyebabkan konduktivitasnya meningkat. Pada saat yang sama, molekul oksigen yang terserap di permukaan semikonduktor menangkap elektron dari pita konduksi, memengaruhi sensitivitas sensor [14].

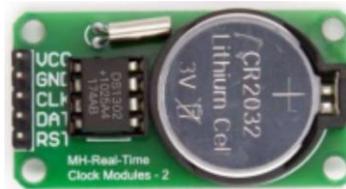
Tabel 2.6 Spesifikasi Sensor MQ-4

Model		MQ-4	
Sensor Type		Semiconductor	
Standard Encapsulation		Bakelite, Metal cap	
Target Gas		Methane	
Detection range		300~10000ppm(CH_4)	
Standard Circuit Conditions	Loop Voltage	V_C	$\leq 24V$ DC
	Heater Voltage	V_H	$5.0V \pm 0.1V$ AC or DC
	Load Resistance	R_L	Adjustable
Sensor character under standard test conditions	Heater Resistance	R_H	$26\Omega \pm 3\Omega$ (room tem.)
	Heater consumption	P_H	$\leq 950mW$
	Sensitivity	S	$R_s(\text{in air})/R_s(\text{in } 5000\text{ppm}CH_4) \geq 5$
	Output Voltage	V_S	$2.5V \sim 4.0V$ (in 5000ppm CH_4)
	Concentration Slope	α	$\leq 0.6(R_{5000\text{ppm}}/R_{1000\text{ppm}} CH_4)$
Standard test conditions	Tem. Humidity	$20^\circ C \pm 2^\circ C$; $55\% \pm 5\% RH$	
	Standard test circuit	$V_C: 5.0V \pm 0.1V$; $V_H: 5.0V \pm 0.1V$	
	Preheat time	Over 48 hours	

Saat sensor gas aktif, sinyal yang dihasilkan dikirim ke mikrokontroler, yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Mikrokontroler ini mengubah sinyal menjadi data yang dapat ditampilkan melalui komputer. Salah satu mikrokontroler yang sering digunakan untuk rangkaian sensor ini adalah Arduino Uno, karena kemudahan penggunaannya.

2.2.9 RTC DS1302

RTC (*Real Time Clock*) adalah modul yang berfungsi sebagai pengatur waktu, mirip dengan jam pada umumnya, yang dirancang menggunakan *chip* elektronik. Modul ini dapat menghitung detik, menit, dan jam secara akurat serta menyimpan data waktu secara *real-time*.



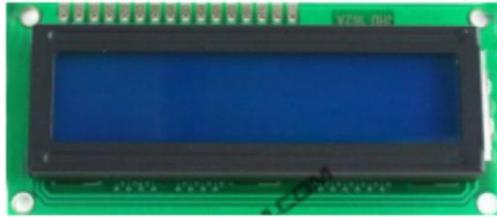
Gambar 2.6 RTC DS1302

Pada penelitian ini, modul RTC yang digunakan adalah DS1302. Modul ini dilengkapi dengan baterai cadangan tipe CR2032 yang berfungsi sebagai sumber daya saat modul tidak terhubung ke mikrokontroler. Dengan adanya baterai cadangan ini, data waktu yang sudah diatur tetap tersimpan dan tidak hilang meskipun modul kehilangan daya.

2.2.10 Liquid Crystal Display

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah komponen elektronik yang digunakan untuk menampilkan tulisan, karakter, atau huruf dengan menggunakan kristal cair sebagai media utama. Modul LCD dilengkapi dengan mikrokontroler yang berfungsi mengatur tampilan karakter, serta memiliki memori dan register untuk menyimpan data. Modul ini juga memiliki beberapa

pin, salah satunya berfungsi sebagai jalur untuk mengirimkan data karakter yang akan ditampilkan [15].



Gambar 2.7 LCD 16x2

Penting untuk memahami perbedaan antara layar LCD dan layar LED. Layar LED menggunakan sejumlah lampu LED yang memancarkan cahaya sendiri, sehingga bisa terlihat di tempat gelap (seperti pada jam digital). Sebaliknya, layar LCD hanya memantulkan cahaya dan tidak dapat dilihat di tempat gelap tanpa pencahayaan tambahan. Contoh modul LCD adalah LMB162A, yang memiliki konfigurasi 16 karakter per baris dengan 2 baris. Setiap karakter dibentuk dari 8 baris piksel dan 5 kolom piksel, di mana baris terakhir digunakan untuk kursor.

Tabel 2.7 Spesifikasi LCD

No	Spesifikasi
1	16 karakter x 2 baris
2	5x7 titik matrix karakter + kursor
3	HD44780 <i>Equivalent LCD kontroller/driver Built-In</i>

4	4-bit atau 8-bit MPU <i>Interface</i>
5	Mempunyai 192 karakter tersimpan
6	Bekerja hampir dengan semua Mikrokontroler

2.2.11 Baterai

Baterai adalah perangkat elektrokimia yang berfungsi menyimpan energi dalam bentuk kimia dan mengubahnya menjadi energi listrik saat digunakan. Proses ini bekerja secara dua arah: saat pengisian, energi listrik diubah menjadi energi kimia, sedangkan saat digunakan, energi kimia diubah kembali menjadi energi listrik.



Gambar 2.8 Baterai 18650

Baterai memiliki dua kutub, yaitu kutub positif (+) dan kutub negatif (-), yang memungkinkan aliran listrik. Baterai sekali pakai (*disposable*) umumnya memiliki tegangan sebesar 1,5 volt dan tersedia dalam berbagai bentuk, seperti tabung atau kotak. Selain itu, terdapat baterai isi ulang

(*rechargeable battery*) yang dapat diisi kembali setelah habis, sehingga lebih ramah lingkungan dan ekonomis untuk penggunaan jangka panjang [16]. Pada penelitian ini, produk menggunakan baterai jenis *rechargeable battery* 18650 dengan kebutuhan tegangan sebesar 5 volt untuk beroperasi. Karena setiap baterai memiliki tegangan 3,7 volt, maka diperlukan dua baterai yang disusun secara seri untuk mencapai tegangan yang dibutuhkan. Susunan ini memastikan tegangan total yang dihasilkan mencukupi kebutuhan alat secara optimal.

2.2.12 SD Card

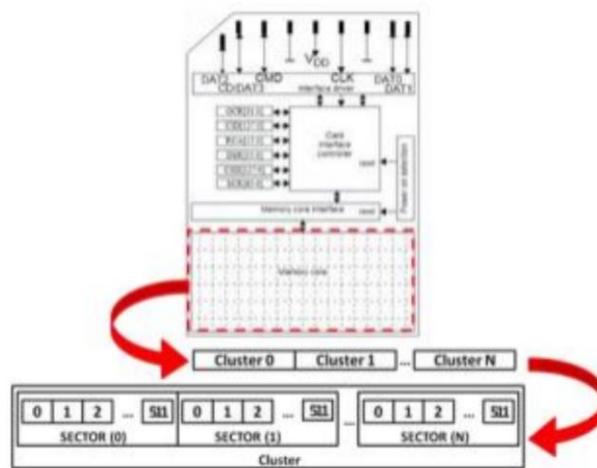
SD Card adalah kartu memori *non-volatile* yang dikembangkan oleh SD Card Association, digunakan untuk menyimpan data di perangkat portabel. Teknologi *microSD* kini telah menjadi standar dan digunakan oleh lebih dari 400 merek produk. Dalam penelitian ini, SD Card dengan kapasitas 2 GB digunakan sebagai media penyimpanan data *offline*.



Gambar 2.9 SD Card

Jenis *SD Card* terbagi menjadi beberapa kategori, yakni SDSC (kapasitas hingga 2 GB, meskipun ada yang mencapai 4 GB), SDHC (kapasitas

4 GB hingga 32 GB), dan SDXC (kapasitas lebih dari 32 GB hingga 2 TB). Perbedaan kapasitas ini kadang membingungkan karena protokol komunikasi tiap jenis sedikit berbeda. Untuk kompatibilitas, SD adapter memungkinkan kartu SD kecil seperti *micro SD* digunakan di slot yang lebih besar dengan menghubungkan pin secara pasif [17].



Gambar 2.10 Arsitektur SD Card

Semua data disimpan di *memory core* yang terdiri dari *cluster*. Setiap *cluster* berisi beberapa sektor, yang masing-masing tersusun dari kumpulan *byte*, dan setiap *byte* terdiri dari 8 bit lokasi memori. SD Card umumnya menggunakan format File Allocation Table (FAT). FAT12 digunakan untuk kapasitas di bawah 16 MB, FAT16 untuk kapasitas 32 MB hingga 2 GB, dan FAT32 untuk kapasitas di atas 2 GB (SDHC).