

BAB II

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Studi literatur ini mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dan Subono pada tahun 2018. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem *monitoring* gas beracun di Kawah Ijen, Banyuwangi, dengan memanfaatkan platform *Java Desktop*. Penelitian ini melibatkan analisis terhadap gas-gas beracun yang umumnya terdapat di Kawah Ijen, seperti karbon monoksida (CO) dan hidrogen sulfida (H₂S), serta merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem *monitoring* yang mampu mendeteksi dan memonitor konsentrasi gas beracun. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *monitoring* gas beracun yang dikembangkan mampu secara akurat dapat mendeteksi konsentrasi gas CO dan H₂S di Kawah Ijen. Namun terdapat beberapa kekurangan yang perlu diperhatikan. Pertama, penelitian tersebut menggunakan platform *Java Desktop* yang memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan komunikasi. Hal ini dapat membatasi kemampuan sistem untuk memberikan notifikasi secara *real-time* ketika terdeteksi gas beracun di area yang lebih luas atau terpencil di kawasan wisata alam [5].

Penelitian yang dilakukan oleh Hasani pada tahun 2019 menggunakan sensor gas untuk memantau konsentrasi gas beracun di kawasan kawah gunung. Dalam penelitian tersebut, alat yang dibangun terdiri dari beberapa komponen penyusun antara lain: NodeMCU ESP8266, sensor gas MQ-2, Arduino IDE, *buzzer*, baterai, *Stepdown* LM2596 dan *handphone*. Salah satu kekurangan dari penelitian yang dilakukan oleh Hasani adalah penggunaan koneksi Wi-Fi. Instalasi jaringan wifi pada kawasan kawah gunung yang sulit membuat hal tersebut menjadi salah satu kekurangan. Kawasan kawah gunung memiliki topografi yang sulit dan kompleks, seringkali ditandai dengan dinding batuan yang curam, vegetasi yang lebat, dan medan yang tidak rata. Hal ini dapat menyulitkan pemasangan titik akses Wi-Fi sebagai salah satu komponen yang harus ada dalam penelitian tersebut [6].

Penelitian yang dilakukan oleh Hermawan tahun 2019 menjadi bahan kajian dalam penelitian ini. Penelitian tersebut bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan aktivitas gunung berapi yang memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan NodeMCU dan LoRa sebagai komponen utama.. Untuk melakukannya, penelitian ini menggunakan sensor gas jenis MQ135 dan MQ136 sebagai komponen utama dalam sistem pemantauan. Penelitian ini juga menjelaskan mengenai implementasi sistem IoT yang menggunakan modul Arduino. Sensor gas dipasang di puncak gunung untuk mendapatkan data yang diperlukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pengukuran konsentrasi gas tidak begitu signifikan. Selain itu, penelitian ini juga mencatat jarak maksimum komunikasi yang dapat dicapai di wilayah Surabaya sekitar 600 meter, sementara di wilayah Gunung Bromo, alat ini mampu berkomunikasi hingga jarak sekitar 3 Km tanpa hambatan. Namun, penting untuk dicatat bahwa konsentrasi gas yang terukur cenderung naik turun, yang dipengaruhi oleh faktor lingkungan, terutama tiupan angin. Selain itu, respons sensor gas terhadap perubahan konsentrasi gas cenderung lambat karena prinsip kerja sensor tersebut [7].

Penelitian yang dilakukan oleh Ardi dan Pristianto pada tahun 2019 juga menjadi bahan kajian dalam penelitian ini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan gas belerang berbasis *Internet of Things* (IoT) di Gunung Ijen. Penelitian ini menggunakan modul sensor gas MQ136 yang memiliki kemampuan untuk mendeteksi keberadaan gas belerang dengan jarak pembacaan antara 0 hingga 100 ppm (*parts per million*). Dalam penelitian ini, para peneliti berhasil merancang sistem yang memungkinkan pengguna untuk mengetahui konsentrasi gas belerang di Gunung Ijen secara *real-time* melalui *web*, kapan pun dan di mana pun pengguna berada. Hasil uji coba dengan menggunakan simulasi miniatur Gunung Ijen dan bantuan asap gas yang dihasilkan dari asap serbuk *flare* menunjukkan bahwa prototipe yang dibangun dapat berfungsi dalam memantau gas belerang dengan kadar konsentrasi tertentu, yang ditunjukkan dalam kisaran konsentrasi 0 ppm hingga 15 ppm. Penelitian yang dilakukan oleh Ardi dan Pristianto memberikan kontribusi penting dalam pengembangan sistem pemantauan gas belerang di Gunung Ijen berbasis IoT. Penelitian ini menyediakan informasi yang relevan dan wawasan yang berguna bagi pengembangan sistem

pemantauan lingkungan yang lebih efektif, terutama dalam upaya melindungi kesehatan dan keselamatan masyarakat yang tinggal di sekitar area Gunung Ijen yang terpapar gas belerang [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Saputro pada tahun 2020 menjadi fokus utama dalam kajian ini. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah robot yang dapat mendeteksi kadar gas sulfur dioksida (SO_2) dan gas karbon monoksida (CO) untuk keperluan eksplorasi Kawah Ijo di Objek Wisata Candi Gedong Songo, yang merupakan salah satu kawasan yang masih aktif secara vulkanik di Indonesia. Hasil penelitian ini menghasilkan sebuah robot pendeteksi gas yang dapat berfungsi dengan baik. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan pengujian respon perintah kendali pada robot yang dilakukan melalui aplikasi *Blynk*. Hasil pengujian ini menunjukkan rata-rata waktu respon sebesar 1,988 detik. Robot pendeteksi juga mampu mendeteksi kadar gas SO_2 dan CO tertinggi sebesar 3,23 ppm dan 7,74 ppm secara berurutan. Penelitian yang dilakukan oleh Saputro memberikan kontribusi penting dalam pengembangan robot pendeteksi gas untuk keperluan eksplorasi Kawah Ijo di Objek Wisata Candi Gedong Songo berbasis *Internet of Things* (IoT). Penelitian ini memberikan informasi yang relevan dan wawasan yang berguna dalam pengembangan teknologi yang dapat membantu dalam pemantauan dan pengelolaan potensi bahaya gas di kawasan vulkanik serta melindungi keselamatan pengunjung dan masyarakat yang berada di sekitar kawasan tersebut [9].

Sebagai solusi untuk mengatasi kekurangan kekurangan dari penelitian di atas, penelitian ini mengembangkan sistem menggunakan teknologi LoRa *point-to-point*. Dengan menerapkan teknologi LoRa *point-to-point* dalam sistem pendeteksi gas beracun, akan memungkinkan pengiriman data dan notifikasi melalui jarak yang jauh tanpa mengandalkan infrastruktur internet yang rumit. Selain itu, penggunaan LoRa *point-to-point* juga dapat mengatasi keterbatasan jaringan di kawasan wisata alam yang mungkin memiliki konektivitas yang tidak stabil atau terbatas. Dengan demikian, sistem pendeteksi gas beracun yang dikembangkan menggunakan LoRa *point-to-point* akan memiliki kemampuan untuk memberikan notifikasi secara cepat dan akurat kepada pengelola wisata atau pihak yang berwenang jika terdeteksi adanya bahaya gas beracun di Kawah Sikidang. Dengan memanfaatkan teknologi LoRa *point-to-point*, diharapkan sistem pendeteksi gas

beracun yang dikembangkan dapat mengatasi kekurangan penelitian sebelumnya dan meningkatkan efektivitas serta jangkauan komunikasi dalam memantau dan mengamankan kawasan wisata alam Kawah Sikidang dari potensi bahaya gas beracun.

Tabel 2.1 Kajian Pustaka

No	Penulis	Judul	Mikrokontroler	Sensor & Aktuator	Kekurangan
1	Hidayat & Subono (2018)	Rancang Bangun Sistem <i>Monitoring</i> Gas Beracun Kawah Ijen Banyuwangi Berbasis Java <i>Desktop</i>	Arduino Uno	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MQ-9 ▪ MQ-136 ▪ <i>Buzzer</i> 	Masih menggunakan kabel serial untuk mengirim dan membaca data data sensor
2	Hasani (2019)	Pemantauan Gas Beracun pada Kawah Gunung Berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT)	NodeMCU ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MQ-2 ▪ <i>Buzzer</i> ▪ <i>Stepdown</i> LM2596 	Membutuhkan koneksi Wifi pada pada kawasan kawah gunung yang sulit
3	Hermawan (2019)	Sistem Pemantauan Gunung Berapi Berbasis IoT Menggunakan NodeMCU dan LoRa	NodeMCU ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MQ-135 ▪ MQ136 ▪ LCD 16x2 	Membutuhkan koneksi internet pada pada kawasan gunung
4	Arifin & Fellian	Rancang Bangun <i>Monitoring</i> Gas Belerang Oksida Berbasis <i>Internet of Things</i> Studi Kasus Gunung Ijen	NodeMCU ESP8266	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MQ-136 ▪ Kipas ▪ Potensio Meter 	penelitian ini tidak memberikan informasi yang spesifik tentang pengolahan dan analisis data
5	Saputro (2020)	Rancang Bangun Robot Pendeteksi Kadar Gas Sulfur Dioksida (SO ₂) Dan Gas Karbon Monoksida (CO) Untuk Ekplorasi	Arduino Mega	<ul style="list-style-type: none"> ▪ MQ-7 ▪ MQ-136 ▪ Ublox Neo 6M ▪ Motor DC ▪ ESP 8266 	Untuk sistem pengendalian robot melalui <i>internet of things</i> , diperlukan jaringan internet yang terpasang pada tubuh robot

No	Penulis	Judul	Mikrokontroler	Sensor & Aktuator	Kekurangan
		Kawah Ijo Objek Wisata Candi Gedong Songo Berbasis Internet of Things			

2.2 DASAR TEORI

2.2.1 Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon dioksida (CO₂) adalah gas pada suhu kamar tekanan normal yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mudah terbakar, dan sedikit asam. CO₂ lebih berat daripada udara dan larut dalam air. Karbon dioksida dihasilkan dari hasil samping pembakaran bahan bakar fosil. Karbon dioksida *anorganik* dikeluarkan dari gunung berapi dan proses *geotermal* lainnya seperti pada mata air panas [4].

Menurut *Wisconsin Department of Health Services (WDHS)* [10] Reaksi seseorang terhadap bahan kimia bergantung pada beberapa hal, antara lain kesehatan individu, keturunan, paparan bahan kimia sebelumnya termasuk obat-obatan, dan kebiasaan pribadi seperti merokok atau minum minuman keras. Paparan CO₂ dapat menghasilkan berbagai dampak kesehatan. Termasuk sakit kepala, pusing, gelisah, perasaan kesemutan atau kesemutan, kesulitan bernapas, berkeringat, kelelahan, peningkatan detak jantung, tekanan darah tinggi, koma, asfiksia, dan kejang.

Kadar Gas CO₂ pada 400 ppm dikategorikan sebagai tingkat rata-rata udara di luar ruangan. Pada konsentrasi 400 hingga 1.000 ppm merupakan tingkat umum ditemukan di ruangan berpenghuni dengan pertukaran udara yang baik. Pada konsentrasi 1.000 hingga 2.000 ppm merupakan kadar yang berhubungan dengan keluhan kantuk dan udara buruk. Konsentrasi gas 2.000 hingga 5.000 ppm merupakan tingkat yang berhubungan dengan sakit kepala, kantuk, dan udara stagnan. Konsentrasi yang buruk, kehilangan perhatian, peningkatan detak jantung dan sedikit mual juga mungkin terjadi. Oleh karena itu penting bagi kita untuk tetap waspada terhadap bahaya dari gas beracun yang tidak kasat mata [10].

2.2.2 Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida merupakan senyawa yang tidak berbau, tidak berwarna, tidak berasa, tidak mudah larut dalam air dan pada suhu udara normal berbentuk

gas yang tidak berwarna, bersifat racun dan berbahaya. Karbon monoksida yang berasal dari alam termasuk dari lautan, oksidasi di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan dan badai listrik alam [4]. Meskipun Karbon monoksida (CO) adalah gas yang tak berwarna dan tidak berbau, tetapi sangat berbahaya bagi kesehatan manusia. Gas ini terbentuk ketika bahan bakar fosil seperti batu bara, minyak, dan gas alam terbakar.

Keracunan CO sangat berbahaya bagi penderita gangguan otot jantung atau sirkulasi darah perifer. Keracunan gas CO dalam skala kecil ditandai dengan gejala pusing, Sakit kepala, dan mual. Gejala ini akan bertambah dengan rasa lelah, mengeluarkan keringat cukup banyak, pola pernafasan menjadi cepat dan pendek, adanya rasa gugup dan berkurangnya fungsi penglihatan. Paparan CO 1.000 ppm selama beberapa menit dapat menimbulkan kejenuhan karboksi haemoglobin, berkurang kesadarannya atau pingsan, bahkan dapat mengakibatkan kematian [4]. Tingkat karbon monoksida jangka pendek dan jangka panjang dari berbagai organisasi seperti ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*), OSHA (*Occupational Safety and Health Association*), dan NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*), tingkat karbon monoksida maksimum yang dianggap aman dalam ruangan selama 8 jam adalah 9 ppm. Jika konsentrasi CO mencapai 200 ppm atau lebih, dapat menyebabkan gejala fisik dan berakibat fatal dalam hitungan jam. Bahkan, tingkat 800 ppm CO atau lebih di udara dapat berakibat fatal dalam hitungan menit [11].

2.2.3 Kawah Sikidang

Kawah Sikidang adalah sebuah fenomena alam yang menakjubkan di kawasan Dataran Tinggi Dieng, Jawa Tengah, Indonesia. Kawah ini terkenal karena aktivitas vulkanik yang terus-menerus terjadi di dalamnya. Ketika mengunjungi Kawah Sikidang, pengunjung akan disambut dengan pemandangan yang spektakuler, termasuk belerang berwarna-warni, lubang-lubang uap panas, serta suara gemuruh yang berasal dari pergerakan gas dan lumpur di dalam kawah. Meskipun kegiatan vulkaniknya sering berubah-ubah, Kawah Sikidang tetap menjadi daya tarik wisata yang populer dan menarik bagi pecinta alam dan pengunjung yang ingin menyaksikan langsung kekuatan alam yang mengagumkan ini.



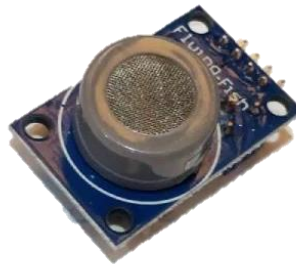
Gambar 2.1 Kawah Sikidang [12].

Pada gambar 2.1 merupakan gambar wilayah Kawah Sikidang dari tanpak atas yang terletak di dataran tinggi Dieng. Dataran Tinggi Dieng adalah sebuah kompleks gunung berapi yang memiliki banyak telaga dan kawah bekas letusan yang menjadi tempat tinggal bagi penduduk setempat. Salah satu daya tariknya adalah adanya kawah-kawah yang masih menunjukkan aktivitas vulkanik, termasuk Kawah Sikidang Dieng. Kawah Sikidang Dieng memiliki keunikan tersendiri, karena letaknya berbeda dengan kawah-kawah pada umumnya yang terletak di puncak gunung berapi dan sulit untuk dilihat. Sebaliknya, Kawah Sikidang terletak di dataran yang datar, sehingga pengunjung dapat dengan bebas melihat lumpur panas yang meletup-letup dan gas atau asap yang berwarna putih pekat naik ke udara [12].

Kawah Sikidang memiliki luas yang relatif kecil jika dibandingkan dengan kawah-kawah vulkanik lainnya. Kawah Sikidang memiliki luas sekitar 200 m persegi yang terbentuk akibat aktivitas gunung berapi Dataran Tinggi Dieng [13]. Aktivitas vulkanik di Kawah Sikidang ditandai dengan adanya lumpur panas yang terus menerus meletup dan mengeluarkan gas belerang. Pengunjung dapat melihat fenomena ini secara dekat dengan jalur-jalur aman yang telah disediakan oleh pengelola. Namun, perlu diingat bahwa karena kawah ini aktif, pengunjung harus selalu mengikuti instruksi keselamatan yang diberikan oleh petugas dan tidak boleh memasuki area berbahaya di sekitar kawah.

2.2.4 Sensor Gas Karbon Monoksida MQ-7

Sensor MQ-7 merupakan sensor gas yang dapat mendeteksi dan mengukur kadar karbon monoksida di udara. Sensor MQ-7 terbukti efektif dalam mendeteksi dan mengukur kadar gas karbon monoksida [14]. Sensor MQ-7 telah terintegrasi dengan berbagai aplikasi dan sistem untuk meningkatkan fungsionalitas dan kemudahan penggunaannya.



Gambar 2.2 Sensor Gas CO MQ-7.

Gambar 2.2 merupakan gambar komponen sensor MQ-7. Pada sensor MQ-7, terdapat empat pin yang memiliki fungsi masing-masing. Pertama adalah pin VCC, yang merupakan pin daya atau pin positif. Kemudian, terdapat pin GND, yang merupakan pin tanah atau pin negatif. Selanjutnya, terdapat pin AOUT, yang merupakan pin keluaran analog. Sensor MQ-7 menghasilkan keluaran analog berdasarkan konsentrasi gas yang dideteksi. Terakhir, ada pin DOUT, yang merupakan pin keluaran digital. Sensor MQ-7 dilengkapi dengan komparator internal yang membandingkan tingkat gas yang dideteksi dengan tingkat ambang batas yang dapat diatur.

Tabel 2.2 Spesifikasi Sensor MQ-7

Tegangan Kerja	5V
Arus Kerja	150mA
Rentang Deteksi	20 hingga 2000 ppm
Deteksi Gas	Karbon Monoksida, CH ₄ , dan LPG
Rentang Suhu Operasional	-10°C hingga 50°C

Tabel 2.2 merupakan tabel spesifikasi dari sensor MQ-7. Sensor MQ-7 menggunakan tegangan kerja sebesar 5V dan arus kerja sebesar 150 mA. Sensor MQ 7 memiliki rentang deteksi berkisar dari 20 hingga 2000 ppm. Sensor MQ 7 dapat mendeteksi beberapa gas mulai dari karbon monoksida, CH₄, dan gas LPG.

2.2.5 Sensor Gas Karbon Dioksida MQ-135

Sensor MQ135 adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa NH₃, Nox, alkohol, benzol, asap (CO), CO₂, dan lain – lain. Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistensi (analog) bila terkena gas. Sensor ini memiliki daya tahan yang baik untuk penggunaan penanda bahaya polusi karena praktis dan tidak memakan daya yang besar. Penyesuaian sensitifitas sensor ditentukan oleh nilai resistensi dari MQ-135 yang berbeda – beda untuk berbagai konsentrasi gas [15].



Gambar 2.3 Sensor Gas CO₂ MQ-135 [15].

Gambar 2.3 merupakan gambar komponen dari sensor MQ-135. Sensor MQ-135 memiliki beberapa pin dengan fungsi yang berbeda. Pertama adalah pin VCC, yang merupakan pin daya atau pin positif. Tegangan suplai yang sesuai, biasanya sekitar 5V. Selanjutnya, terdapat pin GND, yang merupakan pin *ground* atau pin negatif. Kemudian pin AOUT, yang merupakan pin keluaran analog..

Tabel 2.3 Spesifikasi Sensor MQ-135

Tegangan Kerja	5V
Arus Kerja	150 mA
Rentang Deteksi	10 hingga 5000 ppm
Deteksi Gas	Benzena, Amonia (NH ₃), Smoke, Karbon Dioksida (CO ₂), Nitrogen Oksida (NOx), Alkohol
Rentang Suhu Operasional	-10°C hingga 50°C

Tabel 2.3 merupakan tabel spesifikasi dari sensor MQ-135. Sensor MQ-135 menghasilkan keluaran analog yang berhubungan dengan konsentrasi gas yang dideteksi. Memiliki tegangan kerja sebesar 5V dan Arus kerja sebesar 150 mA. Selain itu, terdapat pin DOUT atau pin DO, yang merupakan pin keluaran digital. Sensor MQ-135 memiliki komparator internal yang membandingkan tingkat konsentrasi gas dengan tingkat ambang batas yang dapat diatur.

2.2.6 Arduino Uno R3 Atmega

Arduino adalah platform pemrograman dan prototyping elektronik yang populer di kalangan pengembang. Mikrokontroler Arduino adalah sebuah platform komputasi fisik *open source* berbasis rangkaian *input/output* sederhana (I/O) dan lingkungan pengembangan yang mengimplementasikan bahasa *Processing* [16].



Gambar 2.4 Arduino Uno R3 Atmega.

Gambar 2.4 merupakan gambar dari komponen Arduino Uno R3 dari tampak atas. Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan *chip* Atmega328 dan dilengkapi 14 pin *input/output* digital dimana 6 pin bisa digunakan sebagai *output* PWM, 6 pin *input* analog, osilator 16 MHz, *port* USB, *power jack*, *header* ICSP, dan juga tombol *reset*. Papan Arduino biasanya dilengkapi dengan pin I/O (*Input/Output*) yang dapat digunakan untuk menghubungkan berbagai komponen elektronik, seperti sensor, motor, atau LED.

Tabel 2.4 Spesifikasi Arduino Uno R3

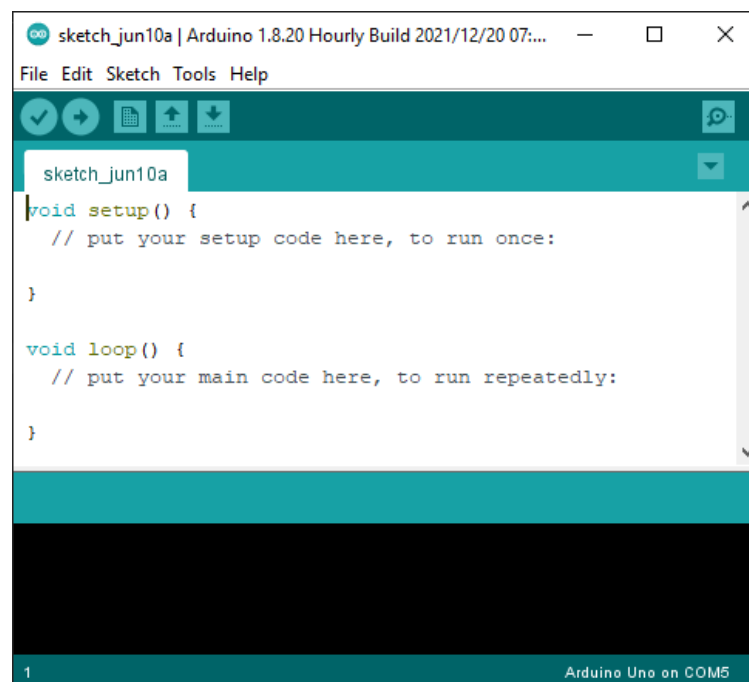
Mikrokontroler	Atmega 328
Tegangan Operasi	5 Volt
Tegangan Rekomendasi	7-12 Volt
Batasan Tegangan	6-20 Volt
Pin <i>Input/Output</i> Digital	14
Pin <i>Input</i> Analog	6
Arus Pada Pin Digital	40 mA
Arus Pada Pin 3.3	50 mA
<i>Flash</i> Memori	32 KB
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
<i>Clock</i> Speed	16 Mhz

Tabel 2.4 merupakan tabel spesifikasi dari sensor Arduino Uno R3. Arduino Uno menggunakan tegangan operasi sebesar 5 V. Untuk memberikan tegangan pada Arduino, dapat menggunakan adaptor AC ke DC, baterai, atau melalui kabel

USB. Pengguna dapat memprogram papan Arduino menggunakan IDE (*Integrated Development Environment*) yang disediakan oleh Arduino, yang memungkinkan mereka menulis kode, mengunggahnya ke papan Arduino, dan mengontrol berbagai komponen elektronik yang terhubung.

2.2.7 Arduino IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*), adalah *software* yang digunakan untuk membuat logika pemrograman terintegrasi untuk melakukan pengembangan pada berbagai macam *hardware* [17]. Arduino IDE juga menyediakan perpustakaan atau *library* yang kaya, yang memudahkan pengguna dalam mengakses berbagai fungsi dan modul yang telah siap pakai. *Library* ini mencakup berbagai perangkat keras seperti sensor, tampilan LCD, dan komunikasi jaringan.

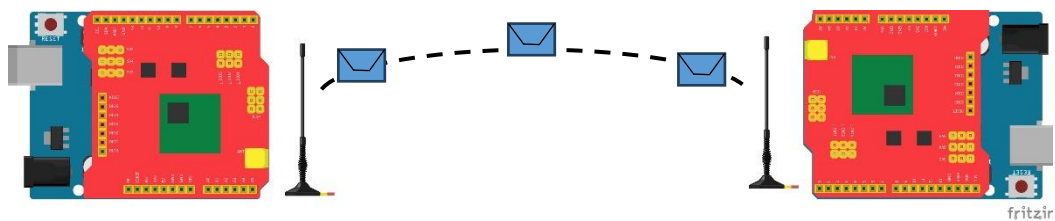


Gambar 2.5 Arduino IDE

Gambar 2.5 merupakan gambar tampilan dari aplikasi Arduino IDE. Arduino IDE ini berguna untuk mengedit, membuat, meng-upload ke *board* yang ditentukan. Arduino IDE dibuat dari bahasa pemrograman C/C++ (*wiring*), yang dilengkapi dengan *library* C/C++ (*wiring*), yang membuat operasi *input/output* lebih mudah. Selain itu, Arduino IDE mendukung berbagai varian papan Arduino, sehingga pengguna dapat memilih papan yang sesuai dengan kebutuhan mereka.

2.2.8 LoRa

LoRa merupakan teknologi nirkabel berdaya rendah dengan rentang komunikasi jauh. LoRa menggunakan modulasi *ChirpSpread-Spectrum* (CSS) untuk mempertahankan karakteristik daya rendah untuk kepentingan meningkatkan jangkauan komunikasi [18]. LoRa memiliki keunggulan unik yang memadukan jarak komunikasi yang luas seperti teknologi seluler, namun dengan konsumsi daya yang rendah seperti *Bluetooth*. Oleh karena itu, LoRa sangat cocok digunakan untuk perangkat sensor yang beroperasi dalam jangka waktu lama dengan menggunakan sumber daya baterai, serta pada area yang membutuhkan cakupan yang luas [19].



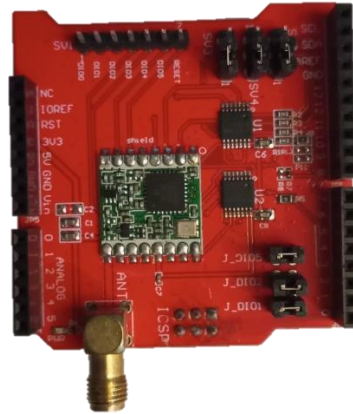
Gambar 2.6 Lora Point to Point

Gambar 2.6 merupakan gambar ilustrasi komunikasi LoRa *point-to-point* bekerja. LoRa *point-to-point* bekerja dengan membuat tautan langsung antara dua perangkat, memungkinkan kedua perangkat untuk bertukar data dalam jarak jauh. Perangkat menggunakan skema modulasi LoRa untuk mengirimkan data melalui frekuensi tertentu, LoRa beroperasi pada pita frekuensi Industrial, Scientific, and Medical (ISM) tidak berlisensi seperti pada frekuensi 2,4GHz, 868MHz, 915MHz, dan 433MHz tergantung pada regulasi masing-masing wilayah dan peraturan [18]. Untuk *frekuensi* yang aan digunakan adalah antara 915MHZ sesuai dengan keputusan Menkominfo alokasi frekuensi kerja LoRa di Indonesia. Ketika dua perangkat LoRa berkomunikasi dalam konfigurasi *point-to-point*, satu perangkat bertindak sebagai pemancar. dan perangkat lainnya bertindak sebagai penerima. Dalam sistem komunikasi *point-to-point* LoRa, perangkat dapat dilengkapi dengan berbagai sensor.

2.2.9 LoRa Sheild Dragino

LoRa Shield adalah sebuah modul (*shield*) yang dirancang untuk digunakan dengan papan Arduino atau mikrokontroler lainnya. Modul ini memungkinkan pengguna dengan mudah mengintegrasikan teknologi komunikasi LoRa ke dalam

proyek mereka. Dragino LoRa *Shield* adalah perangkat yang dapat digunakan untuk meningkatkan kemampuan penangkapan penerima LoRa. didasarkan pada *transceiver* LoRa SX1276 dan dapat menangkap paket yang diterima ketika mendeteksi 4 sinyal upchirp pembukaan identik yang berurutan [20].

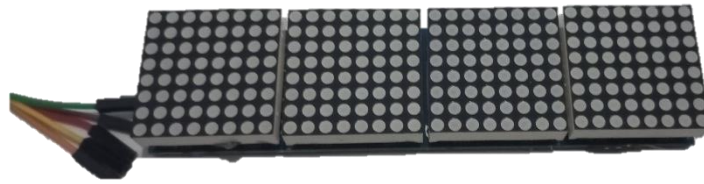


Gambar 2.7 LoRa *Shield* Dragino.

Gambar 2.7 merupakan gambar dari komponen LoRa *Shield*. LoRa *Shield* memiliki komponen dan antena yang diperlukan untuk berkomunikasi menggunakan teknologi LoRa. Modul ini berfungsi sebagai perantara antara papan Arduino dan jaringan LoRa, memungkinkan pengguna untuk mengirim dan menerima data melalui jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah. Perangkat ini juga mendukung mode FSK kinerja tinggi (G) untuk sistem termasuk WMBus, IEEE802.15.4g. Dragino *Shield* yang menampilkan teknologi LoRa menghadirkan *noise fase*, selektivitas, linearitas *receiver*, dan IIP3 yang luar biasa untuk konsumsi arus yang jauh lebih rendah daripada perangkat pesaing [21].

2.2.10 Dot Matrix MAX7219

Dot matriks adalah sebuah perangkat elektronik yang terdiri dari banyak titik atau *pixel* kecil yang disusun dalam bentuk matriks. *Dot* matriks umumnya digunakan sebagai tampilan visual untuk menampilkan informasi. Matriks tersebut dapat berbentuk persegi atau persegi panjang, tergantung pada jumlah *pixel* yang dimiliki oleh *dot* matriks tersebut. MAX7219 adalah IC *driver display* yang biasa digunakan dalam tampilan *dot* matriks. Sering digunakan bersama dengan mikrokontroler seperti AT89c51 atau ATmega328P untuk mengontrol tampilan [22].



Gambar 2.8 MAX7219 Dot Matrix.

Gambar 2.8 merupakan gambar komponen *dot* matriks berjumlah empat yang digabung menjadi satu. Pengguna dapat mengontrol *dot* matriks dengan menggunakan mikrokontroler atau papan pengontrol lainnya. Dengan mengirimkan sinyal atau data ke *dot* matriks, pengguna dapat mengatur kondisi setiap *pixel*, sehingga menciptakan gambar atau teks yang diinginkan.

2.2.11 Buzzer

Buzzer adalah sebuah komponen elektronik yang digunakan untuk menghasilkan suara atau bunyi. *Buzzer* merupakan komponen elektronik yang dapat mengubah sinyal listrik menjadi getaran suara. Suara dihasilkan melalui pemakaian kumparan pada sebuah membran. *Buzzer*, yang merupakan perangkat audio umumnya digunakan dalam sistem anti-pencurian atau sebagai peringatan awal bagi orang lain. Berbeda dengan speaker yang menggunakan tegangan AC, *buzzer* beroperasi dengan tegangan DC. Setiap kumparan yang terhubung dengan diafragma bergerak ke belakang, menyebabkan udara bergetar dan menghasilkan suara [23].



Gambar 2.9 Buzzer

Gambar 2.9 merupakan gambar dari komponen *buzzer*. Untuk mengoperasikan *buzzer*, sinyal listrik harus diberikan ke komponen tersebut. Pengontrol seperti mikrokontroler atau sirkuit terpisah dapat menghasilkan sinyal dengan frekuensi dan durasi tertentu untuk mengendalikan suara yang dihasilkan oleh *buzzer*.

2.2.12 Baterai

Baterai adalah alat yang terdiri dari dua atau lebih sel elektrokimia yang mengubah energi kimia yang tersimpan menjadi energi listrik. Tiap sel memiliki kutub positif dan kutub negatif [6]. Baterai dapat digunakan dalam berbagai perangkat, mulai dari perangkat elektronik portabel seperti ponsel dan laptop hingga perangkat rumah tangga seperti jam dinding atau *remote control*. Ketika baterai habis atau lemah, mereka dapat diisi ulang atau diganti dengan baterai yang baru untuk terus menyediakan energi listrik.



Gambar 2.10 Baterai [6]

Gambar 2.10 merupakan gambar dari komponen baterai. Secara sederhana, baterai adalah perangkat yang menyimpan dan menghasilkan energi listrik melalui reaksi kimia di dalamnya. Mereka digunakan untuk memberikan daya pada berbagai perangkat elektronik dan memiliki kapasitas tertentu yang menunjukkan berapa lama mereka dapat memberikan energi sebelum perlu diisi ulang atau diganti.

2.2.13 Akurasi

Akurasi adalah hubungan ideal antara *input* dan *output* yang tidak berubah terhadap waktu. Sensor memiliki perhitungan ideal untuk hubungan antara *input* dan *output* (stimulus dan respon). *Output* dari sensor akan mempresentasikan nilai sebenarnya dari stimulus yang diterima, jika sebuah sensor didesain dan difabrikasi dengan material, alat, dan pekerja yang ideal [24].

$$\text{Akurasi} = 1 - \left| \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{nilai sebenarnya}} \right| \times 100\% \quad (2.1)$$

Pada rumus 2.1 merupakan rumus untuk menghitung akurasi sensor. Rumus tersebut menghitung perbedaan antara nilai bacaan yang diinginkan dan nilai

bacaan yang sebenarnya sebagai persentase dari nilai bacaan yang diinginkan. Hasilnya kemudian dikalikan dengan 100% untuk mendapatkan persentase akurasi.

2.2.14 Error

Untuk menghitung *error* pada sensor, kita membandingkan nilai bacaan dari sensor dengan nilai referensi atau nilai yang sebenarnya. Presentase error pada sensor adalah perbandingan antara nilai error dengan nilai sebenarnya, yang kemudian dihitung dalam bentuk persentase. Semakin jauh nilai perkiraan dari nilai yang diketahui, dan semakin kecil persentase *error*, semakin dekat nilai perkiraan dengan nilai sebenarnya [25].

$$Error = \left| \frac{\text{Nilai Sensor} - \text{nilai sebenarnya}}{\text{Nilai sebenarnya}} \right| \times 100\% \quad (2.2)$$

Rumus 2.2 merupakan rumus untuk menghitung presentase *error* dari sensor. Rumus menghitung persentase *Error* dari nilai yang diukur dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai *Error*, semakin akurat pengukuran yang dilakukan oleh sensor.

2.2.15 Quality Of Services (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah sebuah konsep yang digunakan untuk mengukur dan mengelola kualitas jaringan atau layanan komunikasi. Salah satu standar dari QoS adalah TIPHON (*Telecommunications and Internet Protocol Harmonization Over Network*) yang dikeluarkan oleh ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*). *Delay* merupakan waktu yang diperlukan sebuah data untuk menempuh jarak dari asal ke tujuan. *Delay* dipengaruhi oleh jarak, media fisik, dan juga waktu proses yang lama [26].

Tabel 2.5 Kategori Delay

Kategori Delay	Besar Delay (ms)	Indeks
Sangat Bagus	<150	4
Bagus	150 s/d 300	3
Sedang	300 s/d 450	2
Buruk	> 450	1

Tabel 2.5 merupakan tabel pengkategorian *delay* menurut TIPHON, yang dibagi menjadi empat indeks yaitu sangat bagus, bagus, sedang, dan yang terakhir yaitu buruk.

RSSI (*Recived Signal Strength Indicator*) merupakan parameter pengukuran yang digunakan untuk mengukur kualitas penerimaan sinyal yang diperoleh [27]. RSSI diukur pada pihak penerima ketika berkomunikasi dengan pengirim, dengan nilai yang umumnya diukur dalam satuan dBm.

Tabel 2.6 Standar Level RSSI

Level RSSI	Keterangan
>-70 dBm	Sangat Kuat
-70 dBm s/d -86 dBm	Sangat Baik
-86 dBm s/d -100 dBm	Baik
-101 dBm s/d -110 dBm	Buruk
<-110 dBm	Sangat Buruk

Tabel 2.6 merupakan tabel standar level untuk nilai RSSI. Nilai RSSI merupakan indikator seberapa kuat sinyal yang diterima suatu penerima sinyal pada suatu titik tertentu. RSSI didefinisikan sebagai rasio kuat sinyal yang diterima pada suatu titik tertentu dibandingkan terhadap kuat sinyal di suatu titik referensi. Sehingga secara matematis RSSI dapat dinyatakan melalui persamaan [28].

$$RSSI = 10 \text{ Log } \frac{P}{P_{ref}} \quad (2.3)$$

Rumus 2.3 merupakan rumus untuk menghitung RSSI dalam watt. Pada rumus tersebut P merupakan kuat daya, dalam watt, yang diterima penerima pada suatu titik tertentu, sementara Pref adalah kuat daya, dalam watt, yang diterima pada titik referensi.

$$RSSI_{(dBm)} = 10 \text{ Log } \frac{P_{(mw)}}{1 \text{ mW}} \quad (2.4)$$

Pada rumus 2.4 merupakan rumus untuk menghitung RSSI dalam satuan dBm. Di sini, RSSI(dBm) adalah nilai kekuatan sinyal dalam satuan *decibel milliwatt* (dBm), dan PmW adalah kekuatan sinyal dalam bentuk miliwatt.

$$\text{Rata rata} = 10 \cdot \text{Log} \left(\frac{\sum_{i=1}^n 10^{\frac{x_i}{10}}}{n} \right) \quad (2.5)$$

Rumus 2.5 merupakan rumus untuk mengukur nilai rata rata RSSI. Nilai x_i adalah nilai RSSI ke-i, dan n adalah jumlah nilai RSSI yang akan dirata-ratakan. Rumus ini menggabungkan nilai-nilai RSSI dalam skala logaritmik, menghitung rata-rata mereka, dan kemudian mengonversi hasilnya kembali ke skala dBm.

2.2.16 ADC ke PPM

Sensor merupakan alat untuk mengubah besaran fisik menjadi sinyal yang dapat dipahami oleh mikrokontroler. Biasanya sensor memiliki keluaran berupa ADC. ADC adalah singkatan dari *Analog Digital Converter*. ADC adalah sistem yang mengubah sinyal analog, menjadi sinyal digital yang dapat diproses oleh komputer atau mikrokontroler. PPM atau singkatan dari *part per milion* merupakan satuan yang sering kali digunakan untuk menunjukkan kandungan suatu senyawa dalam suatu larutan misalnya kandungan polutan dalam sungai, atau biasanya untuk mengukur besaran gas yang ada di udara yang dinyatakan dalam ppm [29].

$$\text{PPM} = X \times \left(\frac{V_{In}}{V_{Ref}} \times 1024 \right) \quad (2.6)$$

Rumus 2.6 merupakan rumus untuk mengubah besaran ADC menjadi PPM, dengan X mewakili rentang dibagi dengan jumlah total bit. Selanjutnya V_{In} merupakan tegangan masukan dan V_{Ref} merupakan tegangan referensi.

2.2.17 Logika Boolean

Logika *Boolean* adalah alat matematika yang menggambarkan hubungan antara berbagai keadaan atau kondisi dengan menggunakan operasi dasar seperti AND, OR, dan NOT. Dalam konteks sistem digital, ini diwujudkan dalam bentuk gerbang logika, yang menjadi dasar bagi komponen-komponen yang membentuk rangkaian digital [30]. Logika *boolean* digunakan secara luas dalam pengambilan keputusan, terutama dalam konteks sistem digital dan algoritma berbasis aturan. Dalam pengambilan keputusan, logika *boolean* membantu merumuskan kondisi dan aturan yang digunakan untuk menentukan tindakan yang harus diambil..

2.2.18 Kalibrasi One Point

Metode kalibrasi *one point* merupakan suatu metode di mana sensor dikalibrasi hanya menggunakan satu titik kalibrasi. Metode *one point* atau Teknik *Single Point Calibration* sendiri adalah teknik kalibrasi dengan mengandalkan satu titik nilai yang telah ditentukan [31]. Rumus dari kalibrasi *one point* sebagai berikut:

$$\text{Nilai Terkoreksi} = \text{Bacaan Sensor} \pm \text{Nilai Offset} \quad (2.7)$$

Pada rumus 2.7 Nilai terkoreksi merupakan nilai yang dikoreksi atau disesuaikan setelah proses kalibrasi. Bacaan Sensor merupakan nilai yang diukur oleh sensor sebelum kalibrasi. Nilai *Offset* merupakan nilai yang ditambahkan atau dikurangkan untuk memperbaiki ketidakakuratan sensor