

BAB 2

DASAR TEORI

2.1 KAJIAN PUSTAKA

Penelitian Loki Sudiarta pada tahun 2019 yang berjudul "Sistem Monitoring Kadar Gas Berbahaya pada Lokasi Bawah Tanah Menggunakan Protokol MQTT" merupakan metode transmisi menggunakan modul ESP8266 WLAN untuk memantau pencemaran gas berbahaya di tempat parkir bawah tanah dengan menggunakan protokol komunikasi MQTT. Sistem ini mencakup sensor MQ-7 dan MQ-135 yang mendeteksi gas CO dan NOx. Selanjutnya Arduino Uno akan mengolah hasil data yang dihasilkan dalam format *json* dan mengirimkannya ke *server web* dalam hal ini adalah *thingsboard.io* untuk menampilkan grafik dan bagan agar mudah dipantau oleh pengguna di lokasi. Dari hasil yang diperoleh, terlihat bahwa sistem membutuhkan waktu 1,3 sampai 1,5 detik untuk memproses data, sedangkan pengiriman data ke *web server* membutuhkan waktu lebih dari 2s [6].

Penelitian Siti Hardiyani Maharani pada tahun 2020 yang berjudul "Pengaruh Penggunaan Sensor Gas Terhadap Persentase Nilai *Error* Karbonmonoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada Prototipe *Vehicle Gas Detector* (VGD)". Penelitian ini bertujuan mengukur tingkat emisi gas buang kendaraan menggunakan modul MQ-7, MQ-9 dan TGS 2201 untuk kadar emisi gas CO dan modul MQ-2, TGS2201 dan TGS 2601 untuk kadar emisi gas HC. Hasil pengukuran prototipe VGD dibandingkan dengan hasil pengukuran VGD merk Heshbon. Penelitian dilakukan di SMKN 2 Surabaya dengan mesin menyala. Kendaraan digasifikasikan penuh selama ± 1 menit untuk mendapatkan hasil yang stabil. Saat pengujian *prototype* sensor menunjukkan kestabilan setelah ± 2 menit dan gas buang stabil pada saat pengukuran. Penelitian dilakukan pada kendaraan roda empat yang dilengkapi mesin empat tak dan kendaraan roda dua yang dilengkapi mesin dua tak. Persentase *error* terendah dalam pengukuran gas CO sebesar 2,92% pada sensor MQ-7, sedangkan persentase *error* tertinggi sebesar 29,65% pada sensor MQ-9. Untuk pengukuran HC, sensor TGS2201 memiliki

tingkat *error* terendah sebesar 6,88%, sedangkan sensor MQ-2 memiliki tingkat *error* tertinggi sebesar 38,61%. Perbedaan nilai *error* ini disebabkan oleh sensitivitas masing-masing sensor dan tidak tersaringnya uap air dan emisi gas knalpot dengan baik [7].

Pada penelitian Gregi Septian pada tahun 2020 yang berjudul "Perancangan Sistem Deteksi Gas Karbon Monoksida Berbasis Mikrokontroler Arduino pada Kendaraan Roda Empat". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi dan memberikan kategori status kondisi kadar CO yang telah ditentukan (aman, waspada dan berbahaya) mengenai kadar CO. Merujuk ISPU menunjukkan bahwa gas CO setiap kondisi untuk status aman sebesar <100ppm, untuk status waspada sebesar <299ppm sedangkan untuk status bahaya yaitu >399ppm. Pengujian dilakukan dalam kondisi di dalam dan di luar kabin mobil. Kendaraan dikendarai selama 2 jam dan dalam keadaan diparkirkan di ruang terbuka. Pengukuran dalam keadaan mobil dijalankan dan ac dinyalakan, dilakukan pada 3 hari pada pukul 10.00 sampai 12.00 dan diambil sampel 5 menit sekali dan menunjukkan bahwa kadar gas CO kategori aman. Sedangkan pengukuran dalam keadaan mobil diparkirkan, dilakukan pada 3 hari pada pukul 12.00 sampai 14.00 dan menunjukkan bahwa kadar gas CO di bawah ambang batas udara. Namun, mengingat tendensi gas CO terus meningkat, jika pengujian berjalan sepanjang enam jam kemungkinan gas CO yang terdeteksi dapat memasuki kadar yang berbahaya. Berdasarkan 10 kali pengukuran yang dilakukan di luar dan di dalam kabin mobil diperoleh hasil sistem yang dibuat sesuai dengan alat CO meter dan mendapat nilai *error* 0% [8].

Pada penelitian Nenden Testy pada tahun 2020 yang berjudul "Implementasi dan Analisis Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Komunikasi Lora Di IT Telkom Purwokerto" tujuannya adalah untuk memantau taraf udara di IT Telkom Purwokerto menggunakan *ThingSpeak* dengan komunikasi LoRa. Terdiri dari tiga sensor untuk mengukur mutu udara, yaitu MQ-7 (CO), MQ-135 (CO₂) dan GP2Y1010AU0F (partikel). Sensor MQ-7 memiliki akurasi sebesar 98% dan sensor gas MQ-135 memiliki akurasi yang didapat 95%. Kemudian dalam penelitian ini, untuk hasil pengujian QoS pengiriman data dari LoRa *end-device* ke LoRa *gateway* yaitu didapat nilai *throughput* berkisar antara

292,4bps hingga 4122,4bps, nilai *packet loss* dari 0% hingga 52%, dan nilai RSSI antara -75dBm hingga -120,5dBm. Sedangkan pada pengujian QoS dengan HTTP diperoleh *delay* antara 0,07s hingga 0,18s, nilai *throughput* antara 17645,92074bps hingga 9031,422126bps dan nilai *packet loss* yang diterima adalah 0% hingga saat pada pengukuran 60m data tersebut tidak dapat diukur lagi. Dari hasil penelitian ini hal tersebut dapat disimpulkan bahwa secara keseluruhan hasil pengiriman data QoS melalui LoRa dan QoS pada HTTP mempunyai kualitas yang baik [9].

Penelitian Dwi Prasetyo pada tahun 2021 yang berjudul "Implementasi Pemantauan Kualitas Udara Dengan Menggunakan MQ-7 dan MQ-131 Berbasis *Internet of Things*". Penelitian ini merancang alat pengukuran emisi *portable* untuk pengukuran secara *real-time* dan berdasar Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU). Penelitian ini memanfaatkan MQ-7 untuk memperkirakan gas karbon monoksida dan sensor MQ-131 untuk menaksir gas Ozon. Penerapan akan dilakukan di beberapa tempat dan hasilnya juga dikirim ke Arduino Mega 2560, untuk diproses ulang dan ditampilkan pada serial monitor dan *Blynk*. Pengukuran gas karbon monoksida diketahui Rs/Ro adalah nilai ppm dimana Rs adalah level CO terukur dan Ro adalah ketahanan udara bersih dengan takaran CO 100 ppm. Sedangkan pengukuran Ozon menggunakan analisis spektrum Ozon tipe 49 TEL. Hasil pengukuran alat rancangan menunjukkan tingkat *error* sebesar 1,25 untuk gas karbon monoksida dan 0,2 untuk Ozon. Secara keseluruhan dapat dikatakan alat berfungsi dengan baik [10].

Penelitian Candra Krismana pada tahun 2022 yang berjudul "Perancangan Ditektor Gas Karbon Monoksida (CO) dan Hidro Karbon (HC) Dengan Sistem *Air Purifier* Berbasis Arduino", dengan tujuan penelitian meminimalisasi kandungan gas CO dan HC pada tempat parkir. Pengujian dilakukan diberbagai *merk* kendaraan seperti Tiger, Jupiter, Beat, Cb 150r dan Vario 150. Menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-2 untuk deteksi gas, bila kadar CO dan HC di atas 35ppm maka kipas akan menyala dan nilai sensor akan ditampilkan pada LCD. Penelitian ini juga melakukan percobaan pada ketetapan ppm dan ketentuan rpm kipas yaitu rpm tinggi (255) menghasilkan waktu penurunan sebesar 1 menit 17s, rpm sedang (127) waktu penurunan sebesar 1 menit 30s, dan rpm rendah (64) membutuhkan penghematan waktu 4 menit. Keakuratan setiap sensor diuji menggunakan gas

analyzer. Sensor MQ-2 mencapai *error* 0,4% dan sensor MQ-7 mencapai nilai *error* 0,9%. Dapat disimpulkan bahwa kecepatan mempengaruhi perubahan waktu reduksi gas CO dan HC [11].

Penelitian Dendi Kurniawan pada tahun 2023 yang berjudul "Sistem Pemantau Kandungan Gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO₂) Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135 Terintegrasi dengan Telegram". Tujuan penelitian ini adalah membuat alat ukur yang dapat mengukur konsentrasi gas CO dan CO₂ di lingkungan kampus Universitas Lampung dan memberikan keterangan secara *real-time* ketika konsentrasi gas melebihi ambang batas yang ditentukan. Hal ini memerlukan alat yang dapat menampilkan konsentrasi gas CO dan CO₂ menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135 terintegrasi teknologi *Internet of Things* (IoT). Alat pendeteksi didukung oleh ESP32 sebagai mikrokontroler dan pengolah sinyal, sedangkan untuk *output* terdiri dari LCD untuk menampilkan informasi interpretasi, *buzzer* menjadi penanda suara dan juga telegram menerima pemberitahuan ketika konsentrasi gas diatas ambang batas. Pengujian dilakukan dalam tujuh kondisi di tiga tempat yang berbeda. Pengujian di koperasi dengan kondisi 5, 10 dan 15 orang. Pengujian dilaksanakan di pagi dan siang hari di tempat parkir elektro dan tempat parkir gedung serba guna. Pengukuran MQ-7 dan MQ-135 selanjutnya dikalibrasi memakai *Az Instrument*. Nilai *error* yang didapat sebesar 0,87% untuk sensor MQ-7 dan 0,66% untuk sensor MQ-135. Dan dapat disimpulkan bahwa penyusunan sistem *monitoring* gas CO dan CO₂ menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135 koheren telegram memiliki tingkat akurasi sebesar 99% [12].

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis	Judul	Tahun	Metode
Loki Sudiarta	Sistem Monitoring Kadar Gas Berbahaya pada Lokasi Bawah Tanah Menggunakan Protokol MQTT	2019	Menggunakan protokol MQTT metode pengiriman modul <i>wifi</i> ESP 8266. Data sensor MQ-7 diolah Arduino Uno dengan hasil format <i>json</i> kemudian dikirim ke <i>web server</i> .
Siti Hardiyan Maharani	Pengaruh Penggunaan Sensor Gas Terhadap Persentase Nilai <i>Error</i> Karbonmonoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) pada Prototipe <i>Vehicle Gas Detector</i> (VGD)	2020	Menggunakan MQ-7, MQ-9 dan TGS 2201 untuk menguji emisi gas CO. Nilai persentase <i>error</i> MQ-7 paling rendah.
Gregi Septian	Perancangan Sistem Deteksi Gas Karbon Monoksida Berbasis Mikrokontroler Arduino pada Kendaraan Roda Empat	2020	Menggunakan MQ-7 sebagai <i>input</i> , Arduino Uno sebagai mikrokontroler, LCD sebagai <i>output</i> serta <i>Buzzer</i> alarm sebagai penanda.
Nenden Testy	Implementasi dan Analisis Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Komunikasi Lora di IT Telkom Purwokerto	2020	Menggunakan sensor MQ-7, MQ-135 dan GP2Y1010 terintegrasi <i>ThingSpeak</i> dan menggunakan komunikasi LoRa.
Candra Krismana	Perancangan Ditektor Gas Karbon Monoksida (CO) dan Hidro Karbon (HC) dengan Sistem <i>Air Purifier</i> Berbasis Arduino	2022	Menggunakan MQ-2 dan MQ-7 dan dilakukan uji penurunan kadar CO dan HC menggunakan rpm kipas.
Dendi Kurniawan	Sistem Pemantau Kandungan Gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO ₂) Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135 Terintegrasi dengan Telegram	2023	Menggunakan MQ-7 dan MQ-135 menggunakan mikrokontroler esp32 dan terintegrasi telegram yang dilakukan di Universitas Lampung.

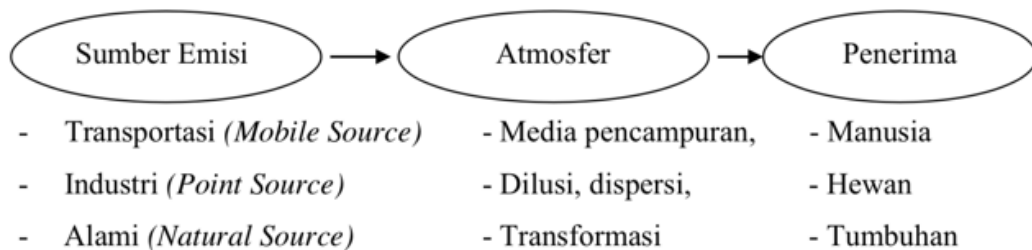
2.2 DASAR TEORI

2.2.1 PENCEMARAN UDARA

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 14 Tahun 2020 tentang pengendalian pencemaran udara. Polusi udara adalah pencemaran yang disebabkan oleh kegiatan manusia yang mempunyai pengaruh tertentu terhadap mutu udara dan mengakibatkan pelepasan zat, energi dan atau lainnya yang dimaksud dengan masuk atau keluarnya zat ke atmosfer. Sehingga mempengaruhi kualitas udara hingga ke tingkat tertentu mengakibatkan udara tidak memenuhi fungsinya. Dalam peraturan pemerintah ini, sumber pencemar udara juga dibagi dalam lima kategori, yaitu :

1. Sumber bergerak yang berasal dari sumber emisi bergerak atau tidak bergerak namun dari kendaraan bermotor.
2. Sumber bergerak tertentu yang berasal dari kereta api, pesawat, kapal laut dan kendaraan besar lainnya.
3. Sumber tidak bergerak yaitu berasal dari sumber di satu lokasi.
4. Sumber tidak bergerak tertentu akibat kebakaran lahan dan pembakaran sampah.
5. Sumber interferensi, yaitu sumber pencemaran yang menggunakan udara atau media padat untuk difusi. Sumber-sumber tersebut biasa didistribusikan dalam bentuk kebisingan, getaran, bau dan gangguan lainnya [13].

Mekanisme pencemaran udara terdiri dari tiga elemen dasar yakni emisi, atmosfer dan reseptor.



Gambar 2.1 Skema Pencemaran Udara [13]

Gambar 2.1 menunjukkan ketiga hubungan elemen dasar mekanisme pencemaran udara, dimulai dari sumbernya sampai ke penerima. Secara umum tiga sumber utama emisi yaitu kegiatan transportasi, proses industri dan sumber alam yakni proses pembakaran, letusan gunung berapi, dan lain-lain. Kontaminan yang

terbentuk akan melewati proses pengenceran (*dilusi*), pengangkutan (*transport*), penyebaran (*dispersi*) dan transformasi secara fisik dan kimia di atmosfer. Eksistensi polutan ini dideteksi dengan menggunakan alat pengukur atau dengan mengamati pengaruhnya terhadap makhluk hidup atau material lain (sebagai penerima). Reaksi penerima dapat berupa iritasi, penyakit, kerusakan properti dan lain-lain, tergantung pada konsentrasi kontaminan dan kerentanan penerima [13].

2.2.2 KARBON MONOKSIDA

Karbon monoksida merupakan gas tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa serta sangat sulit dideteksi keberadaannya. Karbon monoksida dihasilkan oleh pembakaran tidak sempurna senyawa karbon pada kendaraan, pembakaran industri, pembangkit listrik, pemanas timbal, pembakaran pertanian dan lain-lain. Karbon monoksida memiliki satuan *Part per Million* (PPM) [8].

Kandungan CO dinyatakan dalam persentase (%) dari jumlah CO yang terkandung dalam gas buang. Ketika karbon dalam bahan bakar terbakar sempurna, maka terjadi reaksi sesuai persamaan 2.1 terjadi. Namun, jika oksigen (udara) tidak mencukupi, akan terjadi proses pembakaran tidak sempurna dan dihasilkan karbon monoksida, seperti persamaan 2.2 [7]. Semakin rendah suhu pembakaran dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan mengakibatkan pembakaran tidak sempurna. Sehingga reaksi kimia proses pembakaran menjadi lemah dan karbon monoksida yang dihasilkan lebih banyak.



Keterangan :

C = Senyawa Karbon

O₂ = Gas Oksigen

CO₂ = Gas Karbon Dioksida

CO = Gas Karbon Monoksida

Tabel 2.2 Sumber Pencemar Karbon Monoksida (CO) [14]

No	Sumber Pencemaran CO	Jumlah Persentase
1	Transportasi	63,8 %
2	Pembakaran Stationer	1,9 %
3	Proses Industri	9,6 %
4	Pembuangan Limbah Padat	7,8 %
5	Lain-Lain	16,9 %

Sumber emisi gas CO yang terbesar pada Tabel 2.2 yaitu berasal dari pemakaian bahan bakar fosil (minyak, batubara) pada bidang transportasi [14]. Distribusi gas CO di udara bergantung pada kondisi lingkungan. Di daerah perkotaan dengan aktivitas industri aktif dan lalu lintas padat, udaranya sudah sangat tercemar karbon monoksida, sedangkan di daerah pinggiran kota dan pedesaan, konsentrasi karbon monoksida di udara pasti kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa lahan terbuka tanpa bangunan dapat berkontribusi terhadap penyerapan karbon monoksida karena mikroorganisme tanah dapat menyerap gas CO dari udara [13].

2.2.3 BAKU MUTU UDARA AMBIEN

Indonesia mengatur bobot konsentrasi pencemaran udara dalam keputusan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2020. Baku mutu itu sendiri merupakan peraturan yang ditetapkan sebagai batas maksimal untuk mencegah terjadinya pencemaran udara. Ditetapkannya definisi kriteria baku mutu udara dengan mempertimbangkan aspek sosial, ekonomi serta teknis. Gas karbon monoksida merupakan salah satu polutan yang paling umum dengan nilai baku mutu 30.000 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ dengan rentang waktu pengukuran 1 jam [15].

Pemerintah Indonesia juga telah memberlakukan ketentuan kesehatan untuk lingkungan kerja perkantoran dan industri melalui keputusan Menteri Kesehatan Republik Indonesia No. 1404/Menkes/SK/XI/2002, kualitas fisik udara dalam ruangan variabel suhu 18-28°C, kelembaban relatif 40-60% Rh, intensitas cahaya minimal 100lux, laju ventilasi 0,15-0,24m/s, $\text{PM}_{2,5}$ sebesar 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam 24 jam dan variabel PM_{10} sebesar 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dalam waktu 24 jam [16]. Sehingga pemerintah pun membuat Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dan pengaruhnya.

Pada Tabel 2.3 menjelaskan kategori, nilai rentang udara dan pengaruhnya terhadap makhluk hidup. ISPU ini digunakan sebagai parameter atau standar bagi masyarakat dan makhluk hidup lain lainnya untuk mengetahui seberapa baik buruknya kualitas udara disekitarnya dan bagaimana dampak paparan udara terhadap kesehatan. Perlunya penetapan indikator baku pencemaran udara ISPU agar masyarakat dapat memperoleh informasi yang mudah dan keberagaman mengenai kualitas udara pada suatu lokasi dan waktu tertentu, serta menjadi bahan pertimbangan dalam pelaksanaan pengendalian pencemaran udara.

Tabel 2.3 Indeks Standar Pencemar Udara [3]

Kategori	Rentang (PPM)	Karbon Monoksida (CO)	Keterangan
Baik	0-50	Tidak ada efek bagi kesehatan.	Sangat baik melakukan kegiatan di luar.
Sedang	51-100	Perubahan kimia tapi masih dapat diterima pada kesehatan.	Kurangi aktivitas fisik terlalu lama. Setiap orang masih dapat beraktivitas di luar.
Tidak Sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan.	Mengurangi aktivitas fisik yang terlalu lama di luar ruangan. Penderita asma dan penyakit jantung mendapatkan gejala.
Sangat Tidak Sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah populasi yang terpapar.	Hindari aktivitas di luar ruangan, pertimbangkan untuk di dalam ruangan.
Berbahaya	< 300	Tingkat yang berbahaya bagi semua populasi yang terpapar dan perlu penanganan cepat.	Hindari semua aktivitas di luar ruangan dan hanya melakukan sedikit aktivitas.

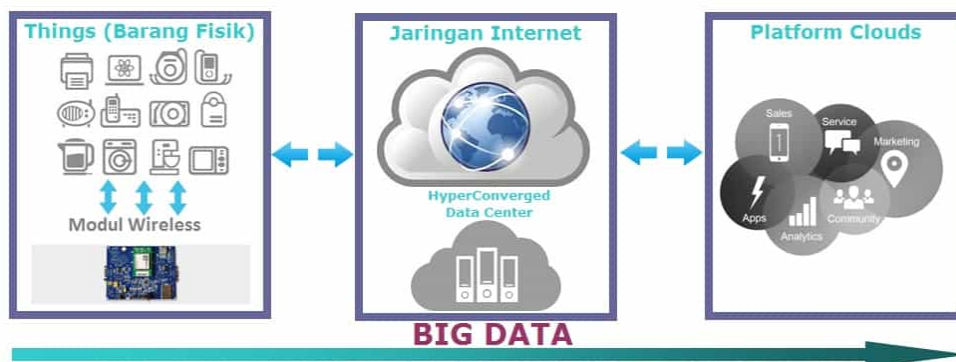
2.2.4 INTERNET OF THINGS (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah komputasi yang menggunakan infrastruktur jaringan internet untuk mengirimkan informasi tanpa kaitan sesama manusia atau manusia ke komputer secara langsung. Melalui IoT, pekerjaan manusia bisa dilakukan dari jarak jauh secara *real-time*, tanpa perlu interaksi secara langsung. Pada prinsipnya adalah dapat dimulai dengan membangun koneksi atau komunikasi antar mesin, yang kemudian dapat berinteraksi dan bertindak secara mandiri berdasarkan data yang diterimanya, bahkan dapat diproses secara independen.

Sistem IoT dapat menjadi lebih kompleks dengan sejumlah besar perangkat yang dapat dihubungkan bersama demi menciptakan fasilitas yang lebih kompleks. IoT dapat digambarkan sebagai jaringan adaptif yang dapat mengonfigurasi sendiri membentuk jaringan kompleks yang menghubungkan berbagai alat ke internet melalui protokol komunikasi [17].

Arsitektur IoT atau konsep dari IoT sendiri yaitu cara perangkat IoT terhubung, berkomunikasi dan kolaborasi untuk mencapai intensi yang diinginkan. Arsitektur IoT dibangun dari tiga lapisan utama yaitu lapisan perangkat (*things*), lapisan jaringan (*network*) dan lapisan *platform*.

1. Lapisan perangkat, merupakan lapisan pertama yang berkaitan dengan komponen fisik arsitektur. Beberapa contohnya adalah sensor dan aktuator. Tujuannya untuk mempresentasikan dan mengidentifikasi sebuah obyek. Selain itu juga berfungsi untuk mengumpulkan berbagai jenis informasi yang dibutuhkan dalam proyek.
2. Lapisan jaringan, yaitu lapisan jaringan terdiri dari jaringan perangkat dan teknologi yang digunakan untuk komunikasi. Protokol yang biasa digunakan yaitu WiFi, *Bluetooth*, Zigbee dan LoRaWAN. Lapisan ini bertanggung jawab untuk menghubungkan ke perangkat jaringan atau *server*.
3. Lapisan *platform*, yaitu kombinasi dari teknologi IoT dan peralatan industri yang bertujuan untuk menjadikan sistem lebih cerdas. Lapisan aplikasi berisi semua infrastruktur dan peralatan yang digunakan industri yang berhubungan dengan proses pemantauan dan berbasis IoT. Lapisan ini bertanggung jawab untuk memberikan layanan ke *user*. Lapisan ini merupakan lapisan terakhir dan mewakili wujud nyata yang dapat dilihat dengan mudah oleh pengguna [18].



Gambar 2.2 Konsep *Internet of Things* [19]

Gambar 2.2 menunjukkan konsep IoT meliputi 3 unsur utama, yaitu objek fisik atau nyata yang terintegrasi dengan sensor, jaringan internet dan *platform web server* untuk menyimpan data informasi secara *cloud*. Data dikumpulkan melalui penggunaan objek yang terhubung ke internet, menghimpun data yang kemudian dikumpulkan, diproses, dianalisa dan digunakan untuk kepentingan pengguna sebagai "Big Data" [19].

Pengoperasian *Internet of Things* adalah dengan menggunakan pemrograman dimana setiap argumen perintah menyebabkan interaksi antar mesin yang terhubung secara otomatis pada jarak berapapun. Oleh karena itu, meskipun internet menjadi penghubung interaksi antara dua mesin, manusia hanya berperan langsung sebagai administrator dan memantau perangkat tersebut. Misalnya pada sistem cctv di pinggir jalan terhubung ke internet dan ditempatkan di ruang kendali yang jaraknya bisa dimana saja. Atau *smart home* yang bisa dikontrol melalui perangkat yang didukung internet. Perangkat IoT terdiri dari sensor sebagai alat pengumpul data, koneksi internet sebagai media komunikasi dan *server* sebagai pengumpul data yang ditangkap dan dianalisis oleh sensor [20].

2.2.5 TRANSDUSER

Menurut *Webster's New Collegiate Dictionary*, transduser adalah perangkat yang dikendalikan oleh *power* dari satu sistem dan mentransmisikan *power* tersebut ke sistem berikutnya dalam bentuk yang berbeda. Sedangkan menurut W. Bolton pengertian dari transduser adalah komponen sistem yang mengubah suatu besaran menjadi besaran lain (analog menjadi sinyal digital) [21]. Sederhananya, transduser merupakan perangkat elektronik yang mengubah satu bentuk energi menjadi bentuk energi lain.

Transduser diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu transduser *input*, transduser *output* dan transduser *input output*. Transduser masukan (sensor) digunakan untuk membaca parameter dalam satu bentuk dan melaporkannya dalam bentuk energi lain, seringkali berupa sinyal listrik. Misalnya *microphone* dapat mengubah gelombang suara menjadi listrik. Transduser keluaran (aktuator) adalah transduser yang mengubah sinyal listrik menjadi energi yang berwujud. Energi yang diberikan ke aktuator dapat berupa listrik atau mekanik. Misalnya motor yang

mengubah energi listrik menjadi energi kinetik, lampu yang mengubah energi listrik menjadi energi cahaya dan televisi yang mengubah energi listrik menjadi energi fisik. Sedangkan transduser *input output*, yaitu sensor yang memiliki kedua fungsi tersebut, mereka mendeteksi dan menghasilkan gerakan. Contohnya antena, *transducer* dari gelombang radio dapat mengirim, menerima bahkan keduanya [22].

2.2.6 SENSOR GAS

Sensor adalah suatu alat untuk mendeteksi atau mengukur suatu benda yang digunakan untuk mengubah fluktuasi mekanik, magnet, termal, cahaya dan kimia menjadi *voltase* dan arus. Dalam sistem kontrol dan robotik, sensor memberikan analogi pada mata, pendengaran, hidung, lidah dan diperlakukan sebagai otak dan pengontrol. Sensor dalam teknologi pengukuran dan pengendalian mengubah variabel fisik (suhu, gaya, kecepatan) menjadi variabel listrik [17]. Oleh karena itu sensor gas merupakan alat yang mendeteksi konsentrasi gas pada suatu lokasi. Sensor akan menciptakan beda potensial yang sesuai dengan konsentrasi gas yang kemudian diukur sebagai tegangan keluaran. Nilai tegangan keluaran ini dapat digunakan untuk memperkirakan seberapa tinggi konsentrasi gas yang ada.



Gambar 2.3 Sensor MQ-7 [23]

Gambar 2.3 merupakan sensor gas MQ-7 yang membaca keberadaan gas CO yang dihasilkan dalam kehidupan sehari-hari. Sensor gas MQ-7 ini memiliki keunggulan sensitivitas tinggi terhadap Karbon Monoksida (CO), stabilitas dan masa pakai yang lama [23]. Sensor MQ-7 mempunyai enam pin, empat pin digunakan untuk perekaman sinyal dan dua pin digunakan untuk mensuplai arus pemanas. Selain itu, sensor ini tidak bergantung (*dependency*) pada efek suhu dan kelembapan. Oleh karena itu, sensor ini cocok untuk memantau kualitas udara, mengendalikan proses fermentasi dan mendeteksi gas karbon monoksida [24].

Prinsip kerja dari MQ-7 pada dasarnya yaitu membaca keberadaan gas termasuk karbon monoksida. Hubungan pengukuran komponen sensitif sensor MQ-7 terdiri dari dua unsur, yaitu pemanas (*heater*) dengan guna pengatur waktu dan rangkaian sinyal *output* yang berfungsi merespon perubahan resistansi permukaan sensor. Ketika sensor mendapatkan gas maka resistansi sensor akan berkurang. Ketika resistansi sensor mengalami perubahan, arus mengalir melalui daerah transisi kristal SnO₂. Saat gas CO terdeteksi, tegangan keluaran sensor meningkat, konsentrasi gas menurun dan dilakukan proses deoksidasi. Akibatnya adalah permukaan muatan negatif oksigen berkurang, ketinggian permukaan sambungan penghalang juga akan terjadi. Hal ini menyebabkan penurunan resistansi sensor. *Heater* pada sensor MQ-7 juga berfungsi sebagai pembersih akibat polusi udara pada ruang sensor. Tabel 2.4 menunjukkan spesifikasi sensor gas MQ-7 dari *datasheet* [25].

Tabel 2.4 Spesifikasi MQ-7 [26]

Parameter	Kondisi Teknis	Keterangan
VC/Tegangan Rangkaian	5V ± 0,1	AC atau DC
VH (H)/Tegangan Pemanas Tinggi	5V ± 0,1	AC atau DC
VH(L)/Tegangan Pemanas Rendah	1,4V ± 0,1	
RL/Resistansi Beban	Menyesuaikan	
RH/Resistansi Pemanas	33 Ω ± 5%	Suhu ruangan
TH(H)/Waktu Pemanasan Tinggi	60 ± 1 detik	
TH(L)/Waktu Pemanasan Rendah	90 ± 1 detik	
PH/Konsumsi Pemanasan	± 350 mW	
Rs/Resistansi Sensor	2-20 kΩ	
Jangkauan pengukuran	20-2000 ppm CO	

2.2.7 MIKROKONTROLER

Mikrokontroler atau pengontrol tertanam merupakan komputer di dalam *chip* yang terdiri dari *input/output*, memori (RAM dan ROM) dan prosesor (CPU) yang digunakan untuk operasi tertentu. Pada prinsipnya, mikrokontroler merupakan suatu perangkat komputer kecil yang dapat dipakai untuk membuat perangkat dikendalikan secara otomatis seperti sistem perangkat medis, pengendali jarak jauh

dan perangkat-perangkat yang dapat menggunakan sistem tertanam lainnya. Mikrokontroler ini yang bertanggung jawab untuk melaksanakan instruksi yang diberikan jadi dapat dikatakan bahwa mikrokontroler merupakan bagian utama dari suatu program komputer [19].

Sistem yang menggunakan mikrokontroler sering disebut dengan *embedded system*. *Embedded system* adalah sistem kontrol yang berisi *input* atau *output*, memori dan prosesor. Pada dasarnya mikrokontroler adalah komputer kecil yang digunakan untuk mengambil keputusan, melakukan tugas yang berulang dan berinteraksi dengan perangkat eksternal. Sebagai komputer berukuran kecil, mikrokontroler dapat diaplikasikan pada benda berukuran kecil, seperti pengontrol pada *Quadcopter* atau robot. Dengan mengurangi ukuran, biaya dan konsumsi daya dibandingkan dengan desain yang menggunakan memori mikroprosesor dan perangkat *input-output* secara terpisah, mikrokontroler memungkinkan pengendalian listrik dari berbagai proses menjadi lebih ekonomis [17].

Mikrokontroler memiliki perbedaan dengan mikroprosesor. Mikrokontroler adalah komponen IC yang menjalankan fungsi pengendali yang didalamnya terdapat CPU, ADC, RAM, CDA dan masih banyak. Sedangkan mikroprosesor adalah bagian dari CPU dengan komponen ALU, *register* dan *control unit*, sehingga dapat dibilang mikroprosesor sebagai bagian dari mikrokontroler. Keuntungan lainnya dari penggunaan mikrokontroler adalah mikrokontroler sudah memiliki RAM dan peralatan I/O sehingga tidak perlu menambahkannya lagi [27].

2.2.7.1 ANALOG DIGITAL CONVERTER (ADC)

Sinyal analog adalah sinyal yang berbentuk gelombang elektromagnetik dan bergerak atas dasar frekuensi. Frekuensi adalah jumlah osilasi sinyal analog dalam satu siklus penuh per detik. Sedangkan sinyal digital merupakan hasil teknologi yang dapat mengubah sinyal menjadi biner. Sinyal ini biasanya juga disebut dengan sinyal diskrit yang terdiri dari bit-bit.

Analog to Digital Converter (ADC) mengubah nilai suatu masukan berupa arus, tegangan atau sinyal analog lainnya menjadi sinyal digital. Sinyal harus diubah karena sebagian besar data atau sinyal adalah besaran analog. Konversi data analog ke digital adalah cara pengolahan data analog sehingga sifat-sifatnya dapat

diubah dan dimanipulasi. Umumnya ADC digunakan sebagai perantara antar sensor yang analog dengan sistem komputer seperti sensor suhu, cahaya, tekanan, aliran dan lainnya yang kemudian diukur dengan sistem digital. Seperti yang diketahui, komputer hanya dapat membaca sinyal diskrit atau biner. Kuantitas analog ini diubah menjadi besaran listrik (nilai tegangan atau nilai arus) oleh transduser sebelum diteruskan ke rangkaian ADC, yang diubah menjadi sinyal digital. Perhitungan tegangan ADC dapat dihitung berdasarkan persamaan 2.3 [28].

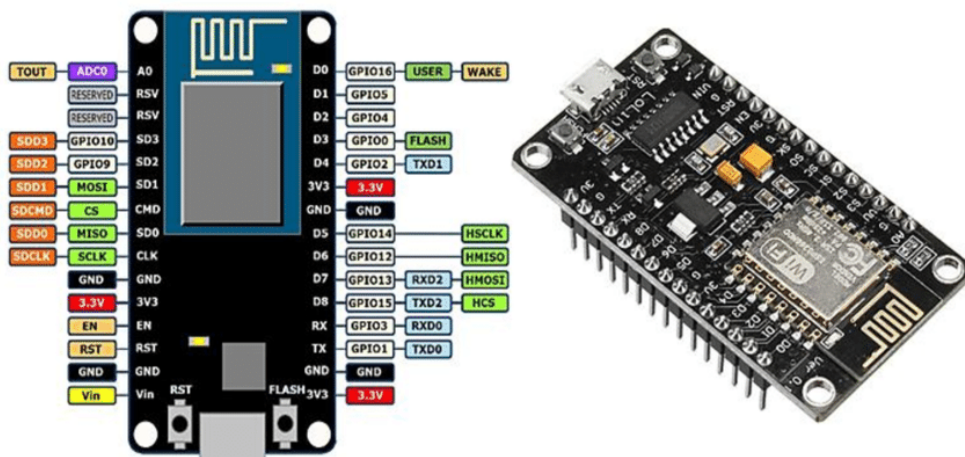
$$ADC = \frac{V_{in} \times 1024}{V_{ref}} \quad (2.3)$$

Sinyal digital yang dihasilkan oleh ADC mempunyai bentuk digital dengan basis 2 yaitu terdiri dari angka 0 dan 1. Representasi ini akan lebih baik karena ADC lebih sensitif terhadap perubahan nilai sinyal analog yang masuk. Jika nilai 0 sampai 15 volt dapat diubah menjadi digital dengan skala 1 volt, berarti rentang nilai digital yang diperoleh berbentuk 16 tahap (dari 0 hingga 15). Banyaknya tahapan tersebut dicapai dengan membuat rangkaian ADC 4 bit (bit n merepresentasikan 2^n nilai skala sehingga $2^4 = 16$ skala) [29].

Terdapat dua karakteristik utama yang menjadi penentu keakuratan nilai digital yang dihasilkan dalam proses ADC, yaitu *sample rate* dan resolusi. *Sample rate* ADC adalah ukuran seberapa sering sinyal analog diubah menjadi bentuk sinyal digital pada interval waktu tertentu. Kecepatan *sampling* biasanya dinyatakan sebagai *Sample per Second* (SPS). Sedangkan resolusi ADC adalah mengubah sinyal analog menjadi bentuk besaran rasio perbandingan dari sinyal *input* dan tegangan referensi. Resolusi ADC juga untuk menentukan akurasi nilai konversi ADC. Misalnya jika 1 volt diubah menjadi sinyal digital dengan menggunakan ADC 3 bit menghasilkan 8 tingkatan pembacaan ($2^3 = 8$ dalam biner 111), nilai untuk 1 volt adalah 0,125 volt atau 125 mV setiap tingkatan. Apabila kita menggunakan ADC dengan bit yang lebih tinggi maka akan mendapatkan hasil sinyal dengan hasil yang lebih presisi. Contoh apabila 1 volt dikonversi menggunakan ADC 8 bit maka setiap tingkatannya akan menjadi 0,125 volt atau 125 mV. Dapat disimpulkan bahwa banyaknya bit ADC yang digunakan maka akan memberikan resolusi yang lebih baik [30].

2.2.7.2 NODEMCU ESP8266

Mikrokontroler NodeMCU ESP8266, merupakan *board* pengembangan IoT dengan sebuah *chip* tanam ESP8266 yang dirancang untuk berkomunikasi melalui jaringan WiFi. NodeMCU ESP8266 bisa digunakan secara mandiri atau diintegrasikan dengan pengendali lain seperti mikrokontroler. Dikarenakan NodeMCU ESP8266 didesain dengan integrasi Wi-Fi langsung, sehingga tidak diperlukan modul Wi-Fi pada mikrokontroler ini. *Chip* tersebut memberikan solusi jaringan WiFi yang lengkap dan terpadu yang dapat digunakan sebagai penyedia aplikasi atau sebagai fungsi *networking* WiFi ke pemroses aplikasi lainnya. NodeMCU ESP8266 memiliki kemampuan pemrosesan dan penyimpanan *onboard* yang memungkinkan *chip* untuk diintegrasikan ke dalam sensor atau perangkat tertentu hanya dengan sesi pemrograman singkat melalui pin *input-output* [27].



Gambar 2.4 NodeMCU ESP8266 [31]

Pada Gambar 2.4 merupakan *chip* atau mikrokontroler NodeMCU ESP8266 yang dapat bekerja secara mandiri maupun dengan bantuan mikrokontroler lain seperti Arduino, Linux dan *board* mikrokontroler lainnya. Modul ini juga merupakan *chip* lengkap yang mencakup prosesor, memori dan *General Purpose* I/O (GPIO). *Firmware default* yang digunakan adalah *AT Command* dengan menggunakan perintah *AT Command*, NodeMCU dengan menggunakan bahasa Lua, *MicroPython* dengan menggunakan bahasa *python* dan Arduino IDE dengan menambahkan *library* ESP8266.

Tabel 2.5 Spesifikasi NodeMCU ESP8266 [31]

Mikrokontroler	ESP8266
Tegangan <i>Input</i>	3.3-5volt
GPIO	13 Pin
Pin ADC 10 bit	1 Pin
<i>Flash Memory</i>	4MB
Konsumsi Daya	10uA
Frekuensi	2.4-22.5Ghz
<i>Processor</i>	32bit CPU
USB Port	<i>Micro</i> USB
Wifi	IEEE 802.11b/g/n
USB <i>Chip</i>	CH340G
<i>Clock Speed</i>	80-160MHz

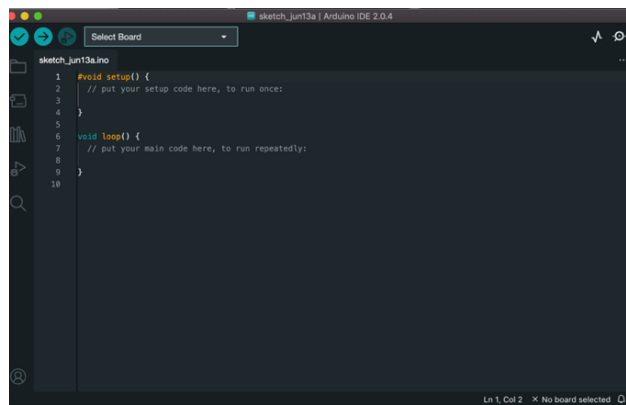
Pada Tabel 2.5 merupakan spesifikasi mikrokontroler NodeMCU ESP8266, dengan *detail* fungsi pin NodeMCU ESP8266 sebagai berikut :

1. *Micro* USB merupakan *port* berfungsi sebagai *power* atau catu daya yang terhubung dengan USB dan digunakan untuk pemrograman.
2. Pin *General Purpose Input/Output* (GPIO) pada NodeMCU ESP8266 sebanyak 17 berfungsi sebagai *input output* pin digital, I2C, I2S, UART, PWM, IR *Remote Control* dan LED. Perangkat hanya bisa diatur sinyal *HIGH* (5V) dan *LOW* (0V).
3. Pin *Power* terdapat 4 pin sumber *power*, 1 buah VIN dan 3 buah pin 3.3volt. VIN digunakan sebagai *power supply* sedangkan pin 3.3volt menyuplai komponen eksternal.
4. Pin *Ground* (GND), berfungsi sebagai tegangan 0 atau kutub negatif untuk membawa arus.
5. Pin SD1, CMD, SD0, CLK, atau biasa disebut Pin *Serial Peripheral Interface* (SPI) berfungsi untuk menghubungkan perangkat eksternal melalui protokol SPI seperti *Serial Clock* (SCK), *Master Out Slave In* (MOSI), *Master In Slave Out* (MISO) dan *Chip Select/Slave Select* (CS/SS).
6. I2C (*Inter-Integrated Circuit*), berfungsi untuk menghubungkan jenis sensor dan perangkat memerlukan koneksi I2C ke proyek. Fungsi I2C dapat digunakan secara terprogram dan memiliki frekuensi *clock* maksimum 100 kHz.
7. *Control* Pin EN yang aktif pin EN ditarik *HIGH* untuk power maksimum dan ditarik ketika *LOW* *chip* bekerja pada *power* minimum, pin RST digunakan

sebagai *reset* program mikrokontroler, sedangkan pin *WAKE* digunakan untuk membangun *chip* dari keadaan *deep-sleep* [31].

2.2.8 ARDUINO IDE

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) atau sederhananya lingkungan terintegrasi untuk pengembangan. Perangkat lunak Arduino IDE digunakan untuk untuk membuat program yang menjalankan fungsi melalui sintaks pemrograman. Sehingga Arduino IDE ialah aplikasi atau *software* yang digunakan untuk menulis program, mengkompilasinya menjadi *file* biner dan memuatnya ke mikrokontroler. *Software* ini bisa berjalan pada *Windows*, *Mac OS X* dan *Linux* [32]. Melalui *software* ini memungkinkan Arduino atau mikrokontroler lain untuk menjalankan fungsi menggunakan pemrograman. *Software* Arduino IDE ini menggunakan bahasa pemrogramannya sendiri yang menyerupai bahasa C. Arduino IDE ditulis dalam teks editor, program yang ditulis disebut *sketch* dan disimpan dalam bentuk ekstensi *.ino*. NodeMCU ESP8266 sendiri memiliki *bootloader* yang sama dengan Arduino, yang bertindak sebagai kompiler, membuatnya kompatibel saat membangun dan mengunggah program untuk NodeMCU ESP8266. Tampilan *software* Arduino IDE yang digunakan untuk membuat program ditunjukkan pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5 Tampilan Arduino IDE

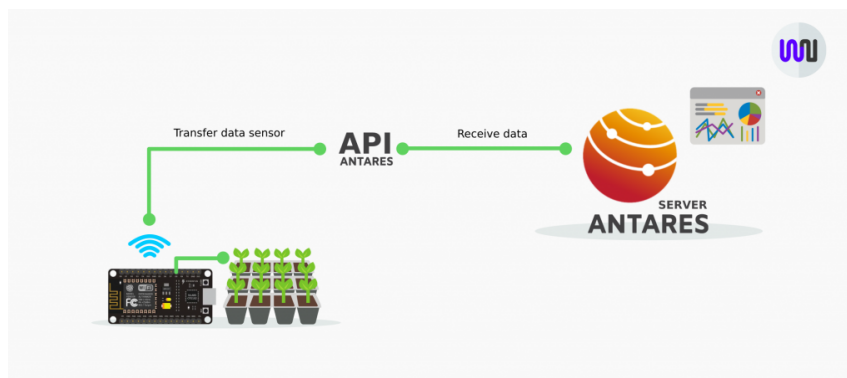
Adapun bagian dari aplikasi Arduino IDE terdiri dari :

1. Editor program, *window* yang berfungsi untuk menulis dan meng-*edit* program.
2. *Verify*, sebelumnya dikenal dengan *compile*, berfungsi untuk memverifikasi *sketch* yang dibuat.
3. *Upload*, berfungsi mengupload *sketch* ke *board* mikrokontroler [32].

2.2.9 PLATFORM ANTARES

Antares adalah singkatan dari *Application and Technology Platform as your Reliable*. Antares adalah salah satu *platform* proyek *Internet of Things (IoT)* dan termasuk *middleware* yang menghubungkan *developer* dengan *end-user* yang diproduksi oleh Telkom. Antares dapat terhubung dengan berbagai konektivitas seperti WiFi, 4G, LoRa, NB-IoT dan lainnya. Antares tidak hanya menawarkan *platform* IoT tetapi juga perangkat IoT seperti mikrokontroler, sensor dan aktuator [33]. Antares memiliki beberapa fitur mulai dari manajemen perangkat hingga penyimpanan data yang bersifat *cloud* untuk membantu pengembang aplikasi mengembangkan IoT. Berikut beberapa kelebihan yang disediakan *platform* Antares untuk pengguna :

1. Manajemen perangkat dengan kemampuan skalabilitasnya. *Platform* Antares dapat menangani jumlah perangkat dan data yang besar.
2. Keamanan dalam setiap pengembangan aplikasi saat menggunakan *platform* IoT Antares karena menggunakan komunikasi terenkripsi dan terpasang *Secure Transport Layer*. Enkripsi dilakukan Antares untuk mencegah pencurian dan penyadapan pengguna. Data yang dikirim ke *server* dienkripsi sehingga tidak dapat dibaca secara langsung.
3. *Reliabel* atau *platform* IoT Antares dapat berjalan selama 24 jam. Artinya data dapat diakses, dapat diuji, dapat diperbaiki dan melakukan hal lain kapanpun dan dimanapun.
4. Dapat digunakan di berbagai perangkat *controller* seperti Arduino, ESP8266, ESP32, *Raspberry*, dan lain-lain. Antares juga mendukung di berbagai aplikasi bahasa pemrograman antara lain Arduino IDE, *Java*, MIT App Inventor dan aplikasi pemrograman lainnya. Selain itu Antares juga dapat memanajemen perangkat yang terhubung dengan kode API Keys.
5. *Open API (Application Programming Interface)* adalah *software* yang memungkinkan dua aplikasi atau *situs web* untuk terhubung satu sama lain. Dalam IoT, API sangat penting untuk menghubungkan setiap bagian proyek [34].



Gambar 2.6 Pengujian pada Antares [34]

Dari Gambar 2.6 contoh prinsip kerja dari *platform* Antares yaitu NodeMCU ESP8266 mengirimkan data sesuai dengan alamat API yang diatur pada *server* Antares. API *Keys* sendiri adalah alamat yang digunakan sebagai tujuan pengiriman data, yang mengirimkan data dari NodeMCU ESP8266 ke Antares *cloud server* sehingga nantinya data akan diterima. Penggunaan Antares *Cloud* ini sangat memungkinkan untuk sistem ini yang *multi-to-point* sensor. Data yang ditampilkan secara *real-time*, selain itu dapat dilihat dalam bentuk *chart*, *control*, *maps*, *table* dan *metric* dari masing-masing sensor [34].

2.2.10 KALIBRASI *ONE POINT*

Kalibrasi merupakan suatu cara untuk menampilkan nilai normal secara pasti suatu alat ukur dengan cara membandingkannya dengan suatu standar pengukuran. Hasil kalibrasi sesuai dengan nilai standar nasional atau internasional. Tujuan dari kalibrasi adalah untuk mengetahui penyimpangan pada alat ukur dan memastikan hasil pengukuran memenuhi standar internasional. Kalibrasi mempunyai keunggulan dalam menjaga kondisi alat ukur, menunjang sistem lebih akurat dan mengetahui nilai simpangan alat ukur [35].

Kalibrasi *one point* merupakan metode pengembangan dan validasi yang hanya menggunakan satu titik nilai yang telah ditentukan. Meskipun metode ini lebih sederhana dan efisien, metode ini memerlukan skema ekstraksi yang berbeda dan pengenceran dengan bahan yang berbeda untuk mendapatkan konsentrasi akhir yang sama atau mendekati alat standar [36]. Maka dari itu saat melakukan kalibrasi sangat penting dalam pemilihan standar kalibrasi yang sudah teruji secara akurat untuk menjadi pembanding.

Proses kalibrasi *one point* yaitu penting untuk memastikan akurasi sensor terhadap standar yang sudah diukur. Langkah awal yang perlu dilakukan yaitu menetapkan alat standar kalibrasi yaitu CO meter. Dimana alat standar tersebut akan dijadikan acuan untuk membandingkan hasil pengukuran sensor. Pengukuran awal dilakukan tanpa penyesuaian yang hasilnya dibandingkan dengan nilai yang terukur oleh alat standar kalibrasi. Selisih pembacaan antara hasil pengukuran awal dan alat standar dinamakan nilai *offset*. Pengukuran ulang dilakukan dengan menambahkan nilai penyesuaian untuk memverifikasi bahwa hasil pengukuran sensor yang sudah terkalibrasi kini sudah sesuai standar.

2.2.11 SIMPLE ADDITIVE WEIGHTING (SAW)

Metode *Simple Additive Weight* (SAW) merupakan salah satu metode yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah *Multiple Attribute Decision Making* (MADM). MADM merupakan metode pengambilan keputusan yang menggunakan banyak kriteria sebagai dasar pengambilan keputusan. Metode *Simple Additive Weighting* disebut juga dengan penjumlahan berbobot. Konsep dasar dari metode *Simple Additive Weighting* adalah mencari penjumlahan terbobot dari nilai kinerja setiap alternatif untuk semua karakteristik. Metode *Simple Additive Weighting* membutuhkan proses normalisasi matriks keputusan (X) pada skala yang dapat dibandingkan dengan semua klasifikasi alternatif yang ada [37].

Ada beberapa hal yang diperlukan untuk melakukan metode *Simple Additive Weighting* meliputi :

1. Menentukan lebih dari satu kriteria yang akan dijadikan acuan dalam pengambilan keputusan (C).
2. Menentukan kesesuaian setiap alternatif untuk setiap kriteria dalam bentuk tabel.
3. Membuat matriks keputusan berdasarkan kriteria (C) dan dilakukan normalisasi matriks berdasarkan persamaan yang disesuaikan dengan jenis atribut yaitu (*attribute benefit or attribute cost*) sehingga dihasilkan nilai matriks R yang sudah ternormalisasi.
4. Hasil akhir diperoleh dari proses pemeringkatan yaitu penjumlahan dari perkalian matriks ternormalisasi R dengan vektor bobot sehingga diperoleh nilai tertinggi sebagai alternatif terbaik.

Persamaan 2.4 merupakan perhitungan untuk melakukan normalisasi berdasarkan kriteria dan jenis atribut yang digunakan. Apabila kriteria (C) semakin tinggi semakin baik, maka dapat menggunakan jenis *benefit attribute*. Sedangkan penggunaan *cost attribute* digunakan apabila nilai kriteria (C) semakin rendah lebih baik.

$$\begin{aligned} r_{ij} &= \frac{X_{ij}}{\text{Max } X_{ij}}, j \text{ is benefit attribute} \\ r_{ij} &= \frac{\text{Min } X_{ij}}{X_{ij}}, j \text{ is cost attribute} \end{aligned} \quad (2.4)$$

Dimana :

r_{ij} : *rating* kinerja ternormalisasi

Max X_{ij} : nilai maksimum dari setiap kriteria

Min X_{ij} : nilai minimum dari setiap kriteria

X_{ij} : baris dan kolom dari matriks

Sedangkan persamaan 2.5 digunakan untuk menghitung nilai preferensi (V_i) setiap alternatif (V_i) dari matriks ternormalisasi [38].

$$v_i = \sum_{j=0}^n w_j r_{ij} \quad (2.5)$$

Dimana :

v_i : koefisien nilai alternatif

w_j : bobot (j)

r_{ij} : normalisasi matriks

n : banyaknya kriteria

2.2.12 AKURASI

Akurasi sensor yaitu nilai suatu sensor dapat didefinisikan sebagai seberapa dekat nilai yang diukur dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Prinsipnya akurasi adalah keakuratan metode analisis, atau kedekatan antara nilai yang diukur dengan nilai yang diterima sebenarnya. Persamaan 2.6 menghitung nilai akurasi dalam bentuk persentase (%).

$$\text{Akurasi} = 100\% - \text{Error } \% \quad (2.6)$$

Sedangkan persentase *error* pengukuran didapat dari pembagian nilai selisih pembacaan dengan nilai alat kemudian dikalikan 100%, maka dapat digunakan persamaan 2.7 [39].

$$Error = \left| \frac{Nilai\ sebenarnya - Nilai\ sensor}{Nilai\ sebenarnya} \right| \times 100\% \quad (2.7)$$

2.2.13 QUALITY OF SERVICE (QoS)

Quality of Service (QoS) adalah metode untuk mengukur seberapa baik jaringan dan upaya untuk menentukan karakteristik layanan [40]. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi kualitas layanan QoS antara lain *atenuasi*, *distorsi* dan *noise*. Misalnya saat *streaming* video, panggilan video tidak lancar, gambar yang dihasilkan kurang optimal dikarenakan *bandwidth* yang tidak mencukupi, latensi yang tidak ditentukan dan *jitter* yang berlebihan. QoS sendiri digunakan untuk mengetahui kualitas dari jaringan yang dibangun, sehingga memiliki tujuan akhir yaitu efisiensi jaringan dapat meningkat [41].

$$Delay = \frac{waktu\ pengiriman\ paket}{total\ paket\ yang\ diterima} \quad (2.8)$$

Salah satu parameter QoS yaitu *delay* atau *latency*. *Latency* atau keterlambatan adalah waktu yang dibutuhkan data untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan. Keterlambatan pengiriman data dapat dipengaruhi oleh jarak, media fisik, kemacetan atau waktu pemrosesan yang lama [40]. Untuk mendapatkan nilai *delay* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2.8. Tabel 2.6 menunjukkan kategori *delay* versi TISPAN ETSI [42].

Tabel 2.6 Kategori Delay ETSI 1999-2006 [42]

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