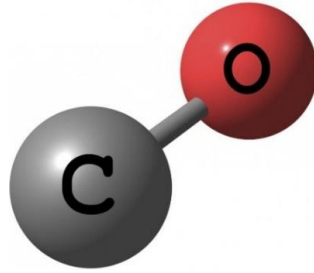


BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karbon Monoksida



Gambar 2. 1 Karbon Monoksida

Gambar 2.1 merupakan gambaran dari senyawa karbon monoksida. Karbon monoksida atau yang bisa disebut sebagai gas CO ini memiliki sifat tidak berbau, tidak berwarna, mudah terbakar, sangat berbahaya tetapi tidak mengiritasi, dan tidak berasa, sehingga sulit dideteksi oleh indera manusia. Dengan sifat-sifat yang telah disebutkan maka gas karbon monoksida diketahui sebagai “*silent killer*” (Rivanda, 2015).

Karbon monoksida (CO) bisa terbentuk secara alami dan bisa terbentuk secara buatan, kegiatan manusia merupakan sumber utama pembentuknya. Karbon monoksida (CO) yang berasal dari alam adalah gas CO yang berasal dari lautan, pegunungan, kebakaran hutan, badai listrik dan oksidasi metal di lapisan atmosfer (Anggraeni, 2009). Sumber gas CO yang berasal dari aktivitas manusia pada umumnya bersumber dari tidak sempurnanya proses pembakaran, seperti proses pembakaran yang terjadi pada kendaraan bermotor, pembakaran briket untuk penghangat ruangan, pembakaran kayu pada proses memasak, pembakaran batu bara, hasil pembakaran mesin industri, asap rokok atau pembakaran lainnya yang menghasilkan gas.

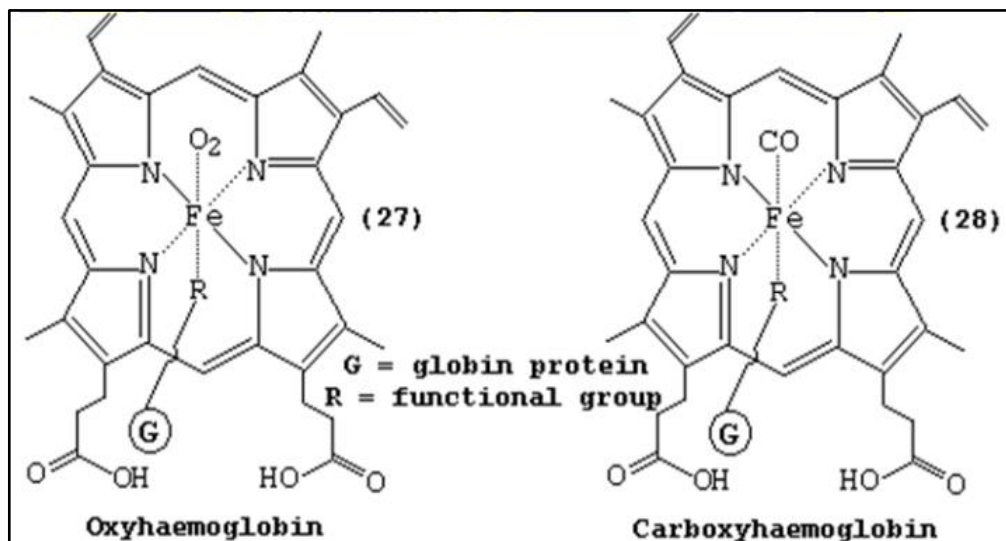
Pengukuran konsentrasi dari gas CO dapat diukur dengan menggunakan sistem satuan ppm atau *parts per million*. Dimana nilai dari 1 ppm setara dengan nilai 1,145 mg/m³. PPM juga di definisikan sebagai massa dari komponen dalam larutan yang dibagi total massa dari larutan lalu dikalikan dengan nilai satu juta (10⁶). Berdasarkan Keputusan Badan Pengendalian Dampak Lingkungan (Bapedal) Nomor KEP-107/Kabapedal/11/1997, rentang semua Gas (PM10, CO, SO₂, NO₂ dan O₂) yang terdapat pada Indeks Standar Pencemar Udara dengan ketentuan yang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Rentang Indeks Standar Pencemar Udara

No	Kategori	Rentang	Warna
1	Baik	0 – 50 ppm	Hijau
2	Sedang	51 – 100 ppm	Biru
3	Tidak Sehat	101 – 199 ppm	Kuning
4	Sangat Tidak Sehat	200 – 299 ppm	Merah
5	Berbahaya	300 – 500 ppm	Hitam

2.1.1 Dampak Paparan Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan

Karbon monoksida (CO) adalah salah satu jenis senyawa yang memiliki efek sangat berbahaya jika masuk ke dalam tubuh manusia melalui indra penciuman. Gas CO yang sudah masuk ke dalam tubuh manusia bisa mengikat sel darah merah 200 hingga 250 kali lebih kuat dibandingkan dengan oksigen, sehingga menggantikan peran oksigen. Apabila karbon monoksida terhirup oleh manusia, maka karbon monoksida (CO) akan mengikat Hemoglobin (HB) dan membentuk sebuah senyawa kimia Karboksi Hemoglobin (COHb).



Gambar 2. 2 Reaksi Kimia Senyawa HbO dengan COHb

Gambar 2.2 menggambarkan reaksi kimia dari senyawa HbO dengan COHb. Keracunan gas CO bisa berdampak menurunnya kapasitas dari transportasi oksigen dalam darah oleh Hemoglobin (HB) serta pemakaian oksigen pada tingkat seluler. Gas CO dapat berdampak pada bermacam organ di dalam tubuh, secara spesifik pada organ yang membutuhkan asupan oksigen dalam jumlah yang besar seperti pada otak dan jantung.

2.1.2 Gejala Klinis Akibat Paparan Karbon Monoksida

Akibat dari paparan karbon monoksida dapat berdampak ringan, sedang bahkan mematikan. Adapun gejala yang ditunjukkan meliputi pusing, mual, dan kehilangan konsentrasi. Efek yang paling parah adalah kematian. Dalam kasus keracunan, banyak korban yang tidak menyadari bahwa kadar gas karbon monoksida telah mencapai tingkat yang berbahaya, dan merasakan kelelahan dan rasa sakit yang umum dan gejala keracunan lainnya. Gejala-gejala klinis dari saturasi darah akibat dari paparan gas karbon monoksida dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2. 2 Gejala-gejala klinis oleh karbon monoksida

Konsentrasi CO dalam darah	Gejala
< 20%	Tidak memiliki gejala
20%	Nafas mulai sesak
30%	Kepala sakit, lemas, mual, dan pernafasan yang meningkat
30-40%	Sakit kepala berat, lemas, kelimpungan dan daya ingat yang menurun
40-50%	Separuh sadar dan kelimpungan meningkat
60-70%	Kehilangan kesadaran serta kehilangan daya untuk mengontrol feses dan urin
70-89%	Kritis, detak nadi tidak beraturan dan dapat menyebabkan kematian

2.2 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan salah satu dari sistem komputer yang dibungkus pada sebuah *Integrated Circuit (IC)*. *Integrated Circuit (IC)* memuat macam-macam komponen pembentuk dari komputer, seperti: *CPU*, *ROM*, *RAM*, dan *Port I/O*. Walaupun mikrokontroler memiliki komponen pembentuk komputer, namun dari segi kegunaan *Integrated Circuit (IC)* dengan *PC (Personal Computer)* tidak lah sama. *PC (Personal Computer)* dirancang untuk digunakan secara umum (*general purpose*), sedangkan *Integrated Circuit (IC)* dirancang untuk digunakan secara khusus (*special purpose*) yang digunakan untuk melakukan kontrol pada sebuah sistem tertentu.

Berikut merupakan penjelasan mengenai komponen-komponen penyusun mikrokontroler:

1. CPU (*Central Processing Unit*)

CPU adalah bagian penyusun utama dari sebuah mikrokontroler. CPU pada sebuah mikrokontroler memiliki ukuran yang sangat bervariasi, ada CPU yang memiliki ukuran 4 bit, 8 bit, 16 bit, 32 bit dan ada CPU yang memiliki ukuran 64 bit. Perbedaannya adalah 4 bit memiliki 2250 transistor, 8 bit memiliki 4.500 transistor, 16 bit memiliki 13.400 resistor, kapasitas memori maksimum 32 bit = 4 GB, dan hanya dapat menjalankan aplikasi 32 bit, sedangkan 64-bit dapat menjalankan aplikasi 32 bit. CPU akan membaca sebuah program yang telah disimpan pada sebuah ROM serta menjalankannya.

2. ROM (*Read Only Memory*)

ROM adalah sebuah memori yang digunakan hanya untuk mengingat. Pada sebuah mikrokontroler, ROM memiliki fungsi untuk menyimpan beragam program mikrokontroler. Program yang disimpan berbentuk bilangan biner ("0" atau "1").

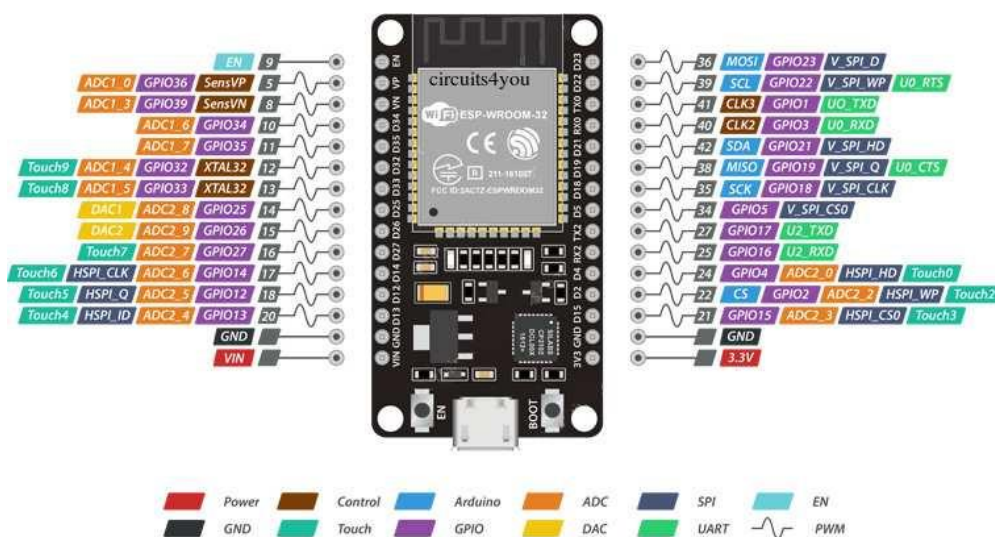
3. RAM (*Random Access Memory*)

RAM merupakan sebuah memori yang bisa dibaca dan ditulis berulang-ulang kali. Pada saat menggunakan mikrokontroler, terdapat beberapa data yang bisa berubah-ubah saat mikrokontroler sedang bekerja, dan perubahan data tersebut disimpan pada RAM.

4. Port I/O (*Input/Output*)

Port I/O adalah sebuah penghubung yang digunakan untuk melakukan komunikasi dengan sesuatu di luar, mikrokontroler menggunakan sebuah terminal port I/O untuk *input* ataupun *output*.

2.2.1 Mikrokontroler ESP 32



banyak lagi, serta ESP 32 dilengkapi dengan CPU yang lebih cepat, GPIO yang lebih banyak, mendukung penggunaan *bluetooth* dan penggunaan daya yang relatif jauh lebih rendah. Kelebihan ESP 32 dibandingkan dengan mikrokontroler yang lainnya dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Perbandingan ESP32 Dengan Mikrokontroler Lain

	Arduino Uno	ESP 8266	ESP 32
Tegangan	5 Volt	3.3 Volt	3.3 Volt
CPU	ATmega328 - 16MHz	Xtensa <i>single core</i> L106 - 60 MHz	Xtensa <i>dual core</i> LX6 - 160M Hz
Arsitektur	8 bit	32 bit	32 bit
<i>Flash Memory</i>	32 kB	16 MB	16 MB
SRAM	2 kB	160 kB	512 kB
GPIO pin (ADC/DAC)	14 (6/-)	17 (1/-)	36 (18/2)
<i>Bluetooth</i>	Tidak ada	Tidak ada	Ada
WiFi	Tidak ada	Ada	Ada
SPI/I2C/UART	1/1/1	2/1/2	4/2/2

Dapat dilihat pada Tabel 2.3 bahwa mikrokontroler ESP 32 memiliki banyak kelebihan dibanding dengan mikrokontroler lain, seperti: konsumsi daya yang rendah, GPIO yang lebih banyak, mendukung penggunaan *bluetooth*, dan kelebihan lainnya.

2.3 Sensor

Sensor merupakan sebuah elemen dari sistem yang berhubungan dengan proses secara efektif, dimana sebuah variabel sedang diukur dan guna menghasilkan sebuah keluaran (*output*) dalam suatu bentuk tertentu berdasarkan pada variabel masukannya (*input*). Dimana sensor bisa digunakan oleh bagian sebuah sistem pengukuran lainnya untuk dapat mengenali sebuah nilai variabel tersebut (Syam, 2013).

2.3.1 Sensor MQ-7

Sensor MQ-7 adalah sebuah sensor yang memiliki fungsi untuk mengukur konsentrasi sebuah gas karbon monoksida (CO). Sensor MQ-7 ini mempunyai tingkat sensitivitas yang tinggi serta waktu untuk merespon yang sangat cepat. Keluaran (*output*) yang dihasilkan oleh sensor ini merupakan sebuah sinyal analog. Sensor MQ-7 membutuhkan sebuah suplai tegangan searah (DC) sebesar 5V. Pada sensor ini juga terdapat besaran nilai resistansi dari sensor (R_s) yang bisa berubah-ubah apabila mendeteksi sebuah gas dan sebuah pemanas yang dapat digunakan untuk pembersih sensor dari kontaminasi udara. Sensor ini dapat mendeteksi tingkatan kadar nilai karbon monoksida di udara dengan rentang cakupan antara 20 hingga 2000 PPM (Tania, 2017). Berikut merupakan gambar dari sensor MQ-7 yang dapat di lihat pada Gambar 2.4.

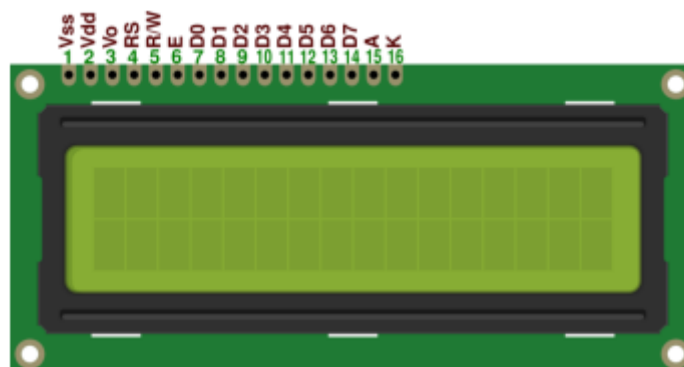


Gambar 2. 4 Sensor MQ-7

2.4 LCD (*Liquid Crystal Display*)

LCD (*Liquid Crystal Display*) merupakan sebuah perangkat yang memiliki fungsi sebagai media penampil sebuah data, seperti: karakter, huruf, atau sebuah grafik dengan memanfaatkan kristal cair sebagai objek penampil. LCD (*Liquid Crystal Display*) berfungsi untuk memunculkan sebuah gambar atau sebuah tulisan karena di dalam LCD (*Liquid Crystal Display*) terdapat banyak sekali titik cahaya (piksel) yang terdiri dari sebuah kristal cair yang berfungsi sebagai sebuah titik cahaya (Riyadi, 2018). Di layar LCD (*Liquid Crystal Display*) itu sendiri, setiap matrik adalah sebuah rangkaian dua dimensi titik cahaya (piksel) yang terdiri atas sebuah karakter baris dan kolom. Dengan begitu, tiap pertemuan antara baris dengan kolom terdiri oleh LCD (*Liquid Crystal Display*) pada sebuah *backplane* (bidang latar) yang adalah sebuah lempengan kaca pada bagian belakang dengan sisi bagian dalam yang tertutup oleh sebuah lapisan elektroda yang transparan (Yoda Peruta Pratama, 2015).

Pada penelitian ini LCD (*Liquid Crystal Display*) yang digunakan adalah LCD (*Liquid Crystal Display*) jenis 16x2 yaitu yang terdiri dari 2 baris dan 16 karakter. Spesifikasi dari LCD (*Liquid Crystal Display*) 16x2 dapat dilihat pada Gambar 2.5 dan Tabel 2.4.



Gambar 2. 5 LCD (*Liquid Crystal Display*)

Tabel 2. 4 Spesifikasi Pin LCD

Pin	Deskripsi
1	Gnd
2	VCC
3	Pengatur kecerahan
4	<i>Select register</i>
5	<i>Read atau Write dari LCD register</i>
6	<i>Enable</i>
7-14	I/O Pin
15	VCC + LED
16	Gnd - LED

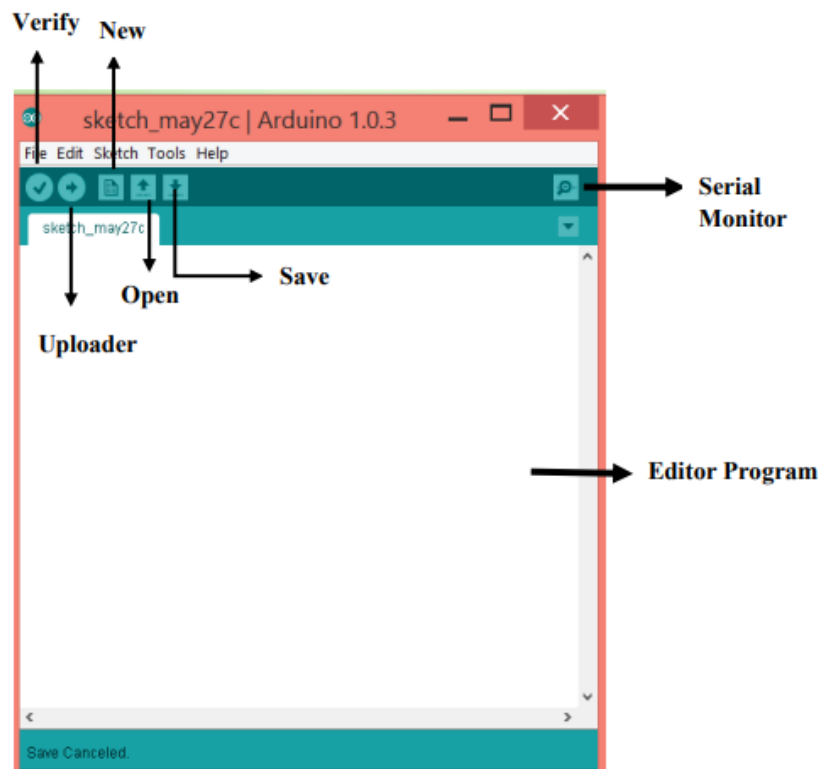
2.5 Arduino IDE

Arduino IDE dapat didefinisikan sebagai salah satu *multiplatform* elektronik yang bersifat terbuka (*open source*) yang bisa dijalankan di berbagai sistem operasi (OS), seperti *Windows*, *Macintosh* yang dibuat berdasarkan pada IDE *Processing* sederhana sehingga mudah digunakan. Arduino IDE terdiri dari beberapa bagian *toolbar* didalamnya, seperti:

1. *Editor Program*, Merupakan *window* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*.
2. *Verify*, Berfungsi untuk melakukan pengecekan kode *sketch* apakah terdapat *error* atau tidak sebelum di upload ke *board* arduino.
3. *Uploader*, Berfungsi untuk mengirim modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam memori pada *board* arduino.
4. *New*, Berfungsi untuk membuat file *sketch* baru.
5. *Open*, Berfungsi untuk membuka seluruh daftar *sketch* pada *sketchbook* arduino.

6. *Save*, Berfungsi untuk menyimpan kode *sketch* yang telah deprogram pada *sketchbook*.
7. *Serial Monitor*, Berfungsi untuk menampilkan data serial yang dikirimkan dari *board arduino*.

Antarmuka dari perangkat lunak (*software*) Arduino IDE yang dapat dilihat pada Gambar 2.6.



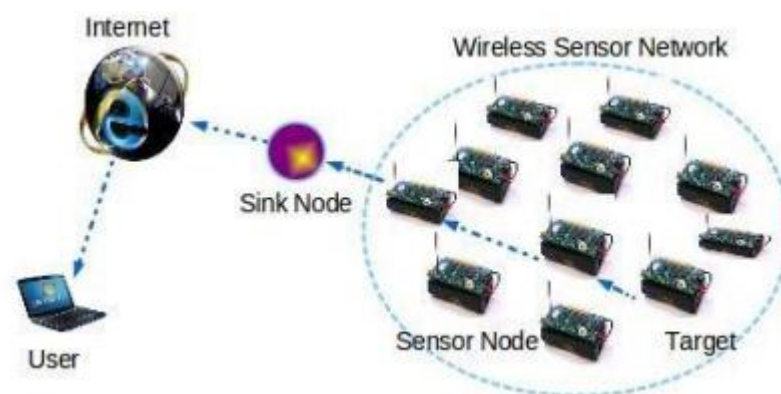
Gambar 2. 6 Tampilan Perangkat Lunak (*Software*) Arduino IDE

2.6 *Wireless Sensor Network (WSN)*

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan sebuah sistem yang berdasarkan sebuah jaringan tanpa kabel (nirkabel). Secara umum *wireless sensor network (WSN)* adalah sebuah perangkat dari sistem tertanam (*embedded*) yang memiliki satu atau lebih sensor di dalamnya yang di lengkapi dengan sebuah perangkat sistem komunikasi yang tidak menggunakan kabel (nirkabel). Sensor

pada perangkat WSN ini berfungsi guna menangkap ataupun mengumpulkan informasi yang berdasarkan dari karakteristik sensor.

Secara umum WSN tersusun atas dua komponen utama, yaitu node sensor dan node sink. Node sensor adalah sebuah kesatuan dari beberapa perangkat yang tersusun dari sebuah prosesor untuk melakukan pemrosesan data, memori yang berfungsi guna menyimpan data, sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi kejadian, ADC (*Analog to Digital Conversion*) yang berfungsi untuk melakukan konversi pembacaan dari sinyal analog ke sinyal digital, *tranceiver* yang berfungsi untuk mengirim dan menerima sinyal radio dari node yang lain dan kepada node sensor lainnya dan baterai yang berfungsi sebagai sumber dari energi node sensor (Dargie & Poellabauer, 2011). Node sink adalah sebuah kesatuan perangkat yang berfungsi untuk mengumpulkan sebuah informasi dari node sensor sehingga informasi yang dikumpulkan tersebut bisa diolah lebih lanjut lagi dan didapatkan sebuah kondisi lingkungan yang sedang dimonitor (Amalina, Setijadi, & Suwardi, 2013).



Gambar 2. 7 Arsitektur Sistem *Wireless Sensor Network*

Gambar 2.7 merupakan sebuah gambaran umum dari arsitektur sistem *Wireless Sensor Network* (WSN). Node sensor yang memiliki ukuran kecil tersebar

di suatu area atau di suatu titik tertentu. Dimana node sensor yang disebar memiliki sebuah kemampuan untuk mealamatkan data yang sedang dikumpulkan ke node sensor lainnya yang saling berdekatan. Setelah itu data akan dikirimkan melalui jaringan transmisi radio yang diteruskan menuju titik BS (*Base Station*) atau yang dapat disebut sebagai node sink yang berfungsi sebagai penghubung antara node sensor dengan pengguna/user. Dimana informasi tersebut bisa diakses melalui bermacam *platform* seperti koneksi jaringan internet atau satelit yang memungkinkan pengguna/user untuk bisa mengakses informasi tersebut secara *real-time* melalui *remote server*.

Selain pemasangan yang mudah dan biaya yang relatif kecil, WSN juga terdapat keunggulan lainnya yaitu tidak membutuhkan masing-masing komponen tambahan, seperti: saluran kabel, mudah diganti saat sensor mengalami kerusakan, mudah melakukan konfigurasi ulang serta dengan sistem *ad-hoc* dan *multihop* memungkinkan sistem untuk melakukan komunikasi data yang lebih mudah dan praktis.

2.6.1 Komponen Penyusun *Wireless Sensor Network* (WSN)

Wireless Sensor Network (WSN) secara umum terdiri atas setiap bagian berikut:

1. *Transceiver*, berfungsi sebagai penerima atau pengirim data kepada *device* lain seperti: *concentrator*, modem Wifi dan modem RF.
2. Mikrokontroler, berfungsi untuk melakukan sebuah fungsi perhitungan, melakukan kontrol dan memproses setiap *device* yang saling terhubung dengan mikrokontroler.

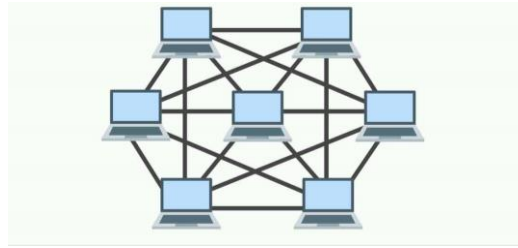
3. *Power Source*, berfungsi untuk memberikan suplai energi untuk sistem *Wireless Sensor Network* (WSN) secara keseluruhan.
4. *External Memory*, berfungsi sebagai *memory* tambahan sistem.
5. Sensor, adalah sebuah komponen yang berfungsi untuk mengubah sebuah bentuk energi ke bentuk energi lainnya dan juga berfungsi untuk mengkonversi besaran fisis yang hendak diukur (Nathan & Scobell, 2012).

2.7 Topologi

Secara umum topologi dapat diartikan sebagai sebuah metode ataupun cara yang digunakan untuk menghubungkan unit-unit yang melakukan pengiriman dan penerimaan data sehingga membentuk sebuah jaringan. Topologi jaringan adalah sebuah pola tata letak yang saling terkoneksi satu dengan lainnya antara berbagai macam unit atau perangkat jaringan komputer. Terdapat beberapa topologi pada sebuah jaringan komputer yang dapat di implementasikan, seperti: topologi bus, topologi cincin (*ring*), topologi bintang (*star*) dan topologi mesh.

2.7.1 Topologi Mesh

Topologi mesh merupakan salah satu jenis dari topologi pada jaringan komputer yang dapat menghubungkan semua unit komputer secara penuh (*Fully Connected*). Topologi mesh merupakan topologi yang paling kompleks dan yang paling banyak digunakan pada penyedia layanan akses internet (*ISP/Internet Service Provider*) karena dinilai mampu menjaga agar kerusakan atau gangguan yang terjadi pada salah satu komputer tidak akan mempengaruhi komputer lainnya atau mempengaruhi jaringan secara keseluruhan. Gambaran umum dari topologi mesh dapat dilihat pada Gambar 2.8.



Gambar 2. 8 Topologi Mesh

Topologi mesh memiliki karakteristik yang membedakan dengan topologi lainnya, yaitu:

1. Apabila jumlah perangkat yang saling terhubung satu sama lain sangat banyak, maka akan sulit untuk mengendalikannya dibandingkan dengan sedikit perangkat yang saling terhubung satu sama lainnya.
2. Perangkat pada jaringan topologi mesh saling terhubung satu sama lain secara penuh.
3. Biasanya topologi mesh digunakan pada sebuah jaringan komputer yang tidak besar.
4. Topologi mesh mempunyai sebuah hubungan yang berlebihan antara perangkat yang ada.

2.7.2 Kelebihan dan Kekurangan Topologi Mesh

Berikut merupakan beberapa kelebihan yang dimiliki oleh topologi mesh, antara lain:

1. Topologi mesh bisa mempercepat pendeteksian terhadap sebuah kesalahan atau gangguan yang terjadi pada jaringan komputer tanpa harus mengganggu atau mempengaruhi komputer lainnya ataupun mempengaruhi jaringan komputer secara keseluruhan.

2. Topologi mesh dinilai aman dari gangguan yang disebabkan oleh unit komputer lain yang terjadi pada jaringan yang sama, sehingga mampu untuk menjaga produktivitas serta layanan pada sebuah jaringan komputer.

Berikut merupakan beberapa kekurangan yang dimiliki oleh topologi mesh, antara lain:

1. Topologi mesh sangat membutuhkan sebuah tenaga ahli di bidang jaringan komputer, sebab proses instalasi dan konfigurasinya sangat memerlukan kemampuan yang lebih tinggi dibandingkan dengan topologi lainnya.
2. Topologi mesh membutuhkan biaya yang besar untuk penyediaan perangkat keras penghubung pada jaringan komputer. Sebagai contoh: kabel jaringan, *router*, *switch*, *hub*, *wireless*, dan perangkat lainnya (Pratama, 2019).

2.8 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan sebuah konsep dimana sebuah objek tertentu memiliki kemampuan untuk dapat melakukan transfer data melalui sebuah jaringan internet, sehingga proses yang dilakukan tidak memerlukan interaksi dari manusia ke manusia ataupun manusia ke komputer dan semua sudah dijalankan secara otomatis dengan program. *Internet of Things* (IoT) bisa digambarkan sebagai sebuah infrastruktur global yang dapat memenuhi setiap kebutuhan informasi dari masyarakat yang memungkinkan sebuah layanan yang canggih dengan interkoneksi secara fisik dan virtual berdasarkan pada perkembangan informasi dan teknologi komunikasi (Amali, 2020).

Konsep dari IoT (*Internet of Things*) membawa berbagai manfaat, seperti: pekerjaan dapat dilakukan menjadi lebih cepat, praktis dan efisien. Sistem dasar dari sebuah konsep IoT terdiri dari 3 hal utama, yaitu:

- a. *Hardware*
- b. Koneksi internet
- c. Tempat penyimpanan data

2.8.1 Unsur-unsur Pembentuk *Internet of Things*

Terdapat beragam unsur pembentuk dari IoT yang mendasar seperti: kecerdasan buatan, konektivitas, sensor, keterlibatan aktif dan pemakaian perangkat yang berukuran kecil.

1. Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*), IoT hampir membuat semua mesin yang ada menjadi pintar atau “*Smart*”. Ini berarti IoT bisa meningkatkan segala aspek kehidupan kita dengan pengembangan teknologi yang didasarkan pada AI. Jadi, pengembangan teknologi yang ada dilakukan dengan pengumpulan data, algoritma kecerdasan buatan, dan jaringan yang tersedia.
2. Konektivitas, di dalam perkembangan dunia IoT terdapat kemungkinan untuk membuat/membuka jaringan baru, dan jaringan khusus IoT. Jadi, jaringan ini tidak lagi terikat hanya dengan penyedia utamanya saja. Jaringannya tidak harus berskala besar dan mahal, bisa tersedia pada skala yang jauh lebih kecil dan lebih murah. IoT bisa menciptakan jaringan kecil tersebut menjadi nyata di antara perangkat sistem.
3. Sensor, merupakan sebuah pembeda yang menjadikan IoT lebih unik dibandingkan mesin canggih lainnya. Sensor ini mampu mendefinisikan instrumen, yang mengubah IoT dari jaringan standar dan cenderung pasif dalam perangkat, hingga menjadi suatu sistem aktif yang sanggup diintegrasikan ke dunia nyata sehari-hari kita.

4. Keterlibatan Aktif (*Active Engagement*), *Engangement* yang diterapkan pada dunia teknologi secara umum adalah pasif. IoT mengenalkan sebuah paradigma baru bagi sebuah konten aktif, produk maupun keterlibatan sebuah layanan.
5. Perangkat Berukuran Kecil, seperti yang diperkirakan oleh seluruh pakar teknologi, perangkat memang akan dikembangkan menjadi semakin kecil, semakin murah dan lebih kuat dari masa ke masa. IoT memanfaatkan beragam perangkat kecil yang dibuat khusus yang bertujuan agar menghasilkan ketepatan, skalabilitas dan fleksibilitas yang baik (Purnama, 2019).

2.8.2 Prinsip Kerja *Internet of Things*

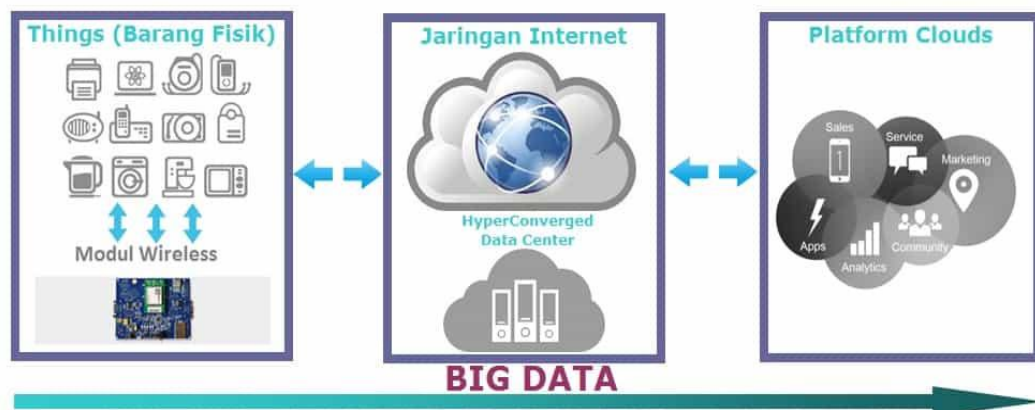
Istilah dari “*Internet of Things*” tersusun dari dua bagian yaitu jaringan *Internet* yang berfungsi untuk mengatur konektivitas dan *Things* yang dapat diartikan sebagai objek atau perangkat. Secara sederhana “*Things*” memiliki kemampuan untuk dapat mengumpulkan data serta memproses data tersebut dan mengirimkannya ke *Internet* serta data tersebut juga bisa diakses oleh “*Things*” lainnya (Purnama, 2019).

Secara umum prinsip kerja dari *Internet of Things* (IoT) adalah setiap benda harus memiliki sebuah alamat *Internet Protocol* (IP). Alamat IP merupakan identitas pada sebuah jaringan yang membuat benda tersebut dapat diperintahkan oleh benda lainnya pada jaringan yang sama. Selanjutnya alamat IP yang terdapat dalam benda tersebut nantinya harus di hubungkan ke jaringan internet. IoT memungkinkan untuk dapat menghubungkan banyak sekali benda-benda yang memiliki alamat IP melalui internet (Wilianto & Kurniawan, 2018).

Secara umum konsep dari IoT cukup sederhana yaitu dengan cara kerja yang berdasarkan pada 3 elemen utama pada arsitektur sistem IoT, yaitu:

1. Barang fisik yang dilengkapi dengan sebuah modul IoT.
2. Perangkat yang mengkoneksikan ke jaringan *Internet*, seperti: *Modem* dan *Router Wireless Speedy*.
3. *Cloud Data Center* yang berfungsi untuk menyimpan aplikasi beserta *database*.

Dasar dari prinsip kerja perangkat IoT adalah benda yang berada di dunia nyata diberikan sebuah identitas yang unik serta dapat dikali pada sistem komputer yang dapat ditampilkan dalam bentuk sebuah data pada sebuah sistem komputer. Prinsip kerja *Internet of Things* (IoT) dapat dilihat pada Gambar 2.9.



Gambar 2. 9 Prinsip Kerja *Internet of Things* (IoT)

Pada gambar 2.9 dapat dilihat prinsip kerja dari *Internet of Things* (IoT) adalah dengan memanfaatkan sebuah argumentasi pemrograman yang secara khusus setiap perintah ataupun argumennya akan menghasilkan interaksi antar sesama mesin yang saling terkoneksi secara otomatis tanpa keikutsertaan manusia dan dalam jarak yang tidak terbatas. Internet yang menjadi penghubung antar kedua

interaksi pada mesin tersebut, sementara itu manusia bertugas sebagai pengatur dan pengawas atas kinerja dari alat tersebut secara langsung (Efendi, 2018).

1. *Big Analog Data* didapatkan dari bermacam-macam sumber yang memiliki sifat alami seperti cahaya, sinyal radio, getaran, suhu, dan sebagainya, serta bisa dihasilkan oleh peralatan mekanis atau elektronik. *Big Analog Data* adalah tipe *Big Data* yang terbesar dan tercepat jika dibandingkan dengan tipe-tipe *Big Data* lainnya. Sehingga, dalam banyak hal, *Big Data Analog* perlu diperlakukan secara khusus.
2. *Perpetual Connectivity* adalah sebuah konektivitas yang terjadi secara terus-menerus yang dapat mengkoneksikan sebuah perangkat ke Internet. IoT yang memungkinkan untuk dapat terhubung dan aktif bisa memberikan tiga manfaat utama, seperti:
 - A. *Monitor*, proses pemantauan yang dilakukan secara berkelanjutan yang dapat memberikan informasi yang dapat diakses secara *real time*.
 - B. *Maintain*, proses pemantauan yang berkelanjutan memungkinkan untuk dapat melakukan peningkatan sebuah tindakan tertentu yang sesuai dengan kebutuhan.
 - C. *Motivate*, konektivitas yang terjadi secara konstan yang berkelanjutan dengan konsumen/pekerja memungkinkan setiap pelaku usaha atau pemilik organisasi untuk dapat memotivasi orang lain untuk membeli produknya, pengambilan sebuah tindakan, dan lain-lain.
3. Definisi dari kalimat “*real time*” untuk IoT dinilai sangat berbeda dari definisi *real time* secara umum. *Real time* yang sebenarnya dimulai saat data

didapatkan atau diperoleh. Definisi *real time* untuk IoT tidak dimulai ketika sebuah data mengenai *switch* pada jaringan sistem komputer.

4. “*Spectrum of Insight*” yang berasal dari data IoT yang saling berkaitan dengan sebuah posisi pada lima fase *data flow*, yaitu: *real time*, *in motion* (bergerak), *early life*, *at rest* (saat istirahat) dan arsip. Berhubungan dengan poin-poin tentang *real time* pada IoT, *real time* sangat dibutuhkan untuk dapat menentukan sebuah tanggapan langsung dari sistem kontrol. Di sisi lainnya dari spektrum sebuah data yang telah diarsip pada pusat data (*cloud*) bisa diambil kembali untuk dilakukan sebuah analisis komparatif terhadap data yang baru didapatkan.
5. *Immediacy Versus Depth*, dengan solusi IoT di era digital memungkinkan adanya pertukaran antara kecepatan dan kedalaman yang didapatkan. Secara umum dapat diartikan yaitu bisa langsung mendapatkan “*Time-to-Insight*” pada sebuah analitik yang masih belum sempurna, seperti pada sebuah perbandingan suhu atau transformasi Fourier yang berfungsi untuk menentukan sebuah hubungan sebab-akibat. *Time* (waktu) sangat dibutuhkan untuk mendapatkan sebuah *insight* (wawasan) tentang sebuah data.
6. *Shift Left*, digunakan untuk mendapatkan sebuah wawasan yang cepat dan menyeluruh yang tergolong sangat sulit. Untuk dapat mengatasi kesulitan itu digunakan “*The Genius of the AND*”. *Drive* yang berfungsi guna mendapatkan wawasan tersebut dinilai harus menghasilkan sebuah komputasi dan analisis sebuah data yang canggih dan umumnya disediakan untuk pusat data (*cloud*).

7. *The Next ‘V’, Big Data* umumnya dikenal dengan “V” atau yang disebut sebagai *Volume, Velocity, Variety* dan *Value*. *The next V* yang dimaksudkan adalah prinsip *Visibility*. Ketika data telah selesai dikumpulkan, selanjutnya data tersebut harus dapat dilihat dan bisa diakses sesuai kebutuhan. *Visibilitas* menawarkan sejumlah kemudahan yang membuat pengguna tidak harus melakukan pengiriman data dengan jumlah besar ke pengguna/user lain atau lokasi yang sangat jauh (Purnama, 2019).

2.8.3 Manfaat *Internet of Things*

Berikut adalah beragam manfaat utama yang didapatkan langsung dari penggunaan IoT:

1. Konektivitas

Pada era digital seperti sekarang, kita dapat meninggalkan era pengoperasian perangkat yang dilakukan secara manual dan terus bergerak maju ke depan. Dengan penerapan dari IoT kita dapat mengoperasikan bermacam hal hanya dari satu perangkat saja, misalnya *smartphone* atau yang dikenal sebagai telepon pintar.

2. Efisiensi

Dengan terjadinya peningkatan konektivitas, maka bisa disimpulkan bahwa terdapat sejumlah penurunan dari jumlah waktu yang umumnya dihabiskan untuk melakukan tugas yang sama.

3. Kemudahan

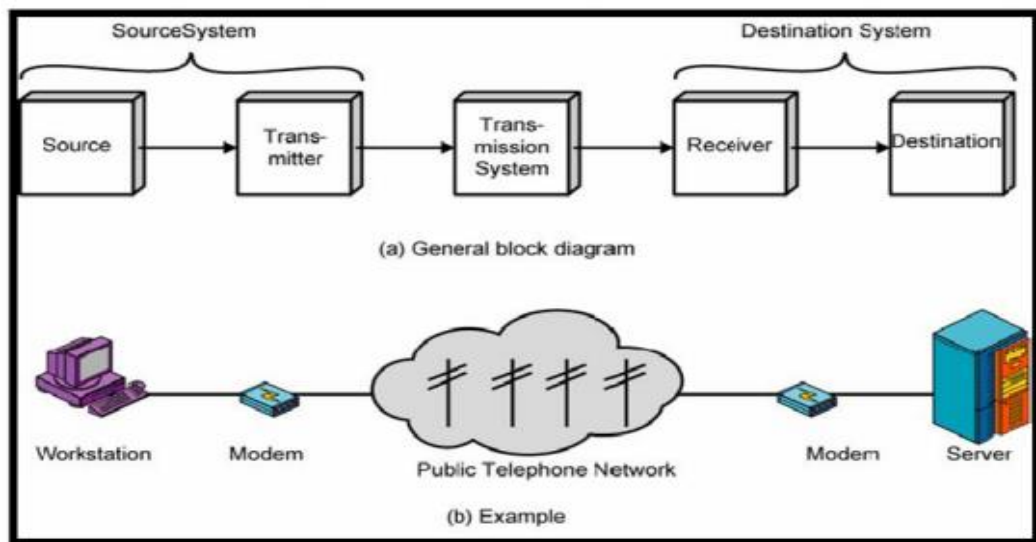
Perangkat IoT seperti *smartphone* atau telepon pintar kini mulai menjadi perangkat yang biasa dimiliki oleh sebagian besar orang. Misalnya *smart refrigerator* dan *Amazon Dash Button* yang memudahkan untuk menyusun

ulang item dengan hanya satu atau dua tindakan yang menunjukkan persetujuan dari pengguna (Purnama, 2019).

2.9 Komunikasi Data

Komunikasi data secara umum merupakan sebuah proses pengiriman informasi antar dua titik yang menggunakan sebuah kode biner yang akan melewati suatu saluran transmisi dan peralatan *switching*. Komunikasi data bisa dilakukan antar komputer dengan komputer, komputer dengan terminal, komputer dengan peralatan, peralatan dengan terminal ataupun peralatan dengan peralatan (Andhika, 2006).

Pada era digital seperti sekarang ini, proses komunikasi data tidak hanya bisa dilakukan oleh perangkat komputer, tetapi juga dapat berkomunikasi dengan peralatan komunikasi lainnya yang mendukung untuk melakukan akses komunikasi data. Dimana model komunikasi data dapat dilihat pada Gambar 2.10.



Gambar 2. 10 Model Komunikasi Data

pada sebuah sistem komunikasi data terdapat beberapa komponen-komponen penyusunnya, diantaranya:

1. Pesan, berisi informasi atau data yang ingin dikomunikasikan, informasi atau data tersebut dapat berupa teks, angka, gambar, suara, ataupun video.
2. Pengirim, merupakan perangkat yang memiliki peran sebagai pengirim pesan atau data, dimana perangkat tersebut dapat berupa komputer, *workstation*, telepon genggam, kamera video dan lain sebagainya.
3. Penerima, merupakan perangkat yang memiliki peran untuk menerima data atau pesan, perangkat tersebut dapat berupa komputer, *workstation*, telepon genggam, kamera video dan lain sebagainya.
4. Media transmisi, merupakan jalur fisik yang berfungsi untuk membawa pesan atau data dari pengirim ke penerima.

2.9.1 Jenis-Jenis Komunikasi Data

Berdasarkan arah dari aliran data, komunikasi data dapat dibedakan menjadi 3 jenis, yaitu :

1. *Simplex*, dalam mode *simplex* komunikasi bersifat satu arah, dari dua titik perangkat komunikasi hanya satu pihak yang dapat melakukan transmit/kirim data, sedangkan perangkat lainnya hanya berperan sebagai penerima data. Contoh sederhana komunikasi *simplex* adalah siaran televisi. Dimana satu sumber stasiun televisi mengirimkan data secara *broadcast* ke banyak pengguna televisi.
2. *Half-duplex*, dalam mode *half-duplex* komunikasi dapat berlangsung dua arah namun tidak dalam waktu yang bersamaan. Jika salah satu perangkat komunikasi sedang melakukan proses transmit data maka perangkat lain hanya dapat menerima data. Contoh dari komunikasi *half-duplex* adalah radio CB dan *walkie talkie*.

3. *Full-Duplex*, dalam mode *full-duplex* komunikasi dapat berlangsung secara dua arah dan dalam waktu bersamaan. Contoh sederhana penerapan dari *full-duplex* adalah jaringan telepon yang dapat melakukan komunikasi suara secara bersamaan.

2.10 Protokol MQTT

Protocol Message Queue Telemetry Transport (MQTT) merupakan salah satu jenis protokol yang di desain secara ringan dan sederhana. Protokol MQTT ini menggunakan sebuah arsitektur sistem pengiriman data dengan sebuah konsep *publish/subscribe*, dimana konsep tersebut dirancang secara terbuka dan mudah untuk diterapkan. Pengirim data dapat disebut dengan *publisher* dan penerima data dapat disebut dengan *subscriber*.

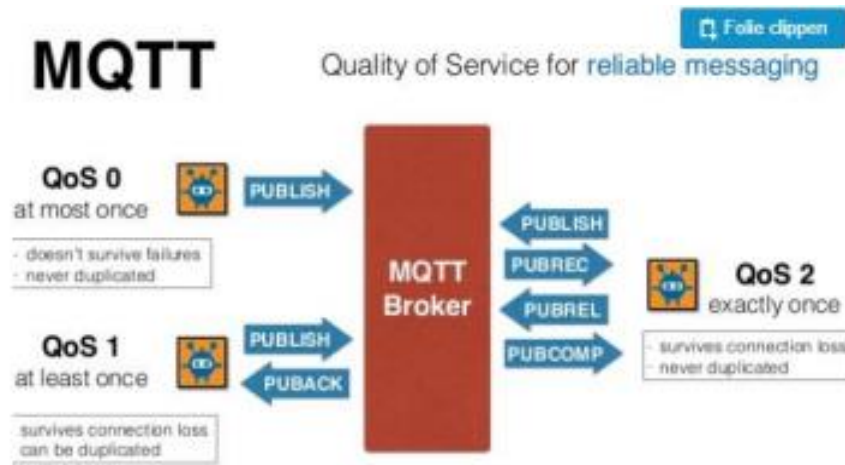
MQTT dinilai mampu untuk memperkecil *bandwidth* pada jaringan dan juga kebutuhan suplai daya pada perangkat ketika melakukan pengiriman data yang membuat protokol MQTT dinilai cocok untuk mengkoneksikan mesin ke mesin (M2M). Apabila data yang akan ditransmisikan berukuran kecil (*lightweight message*) maka protokol MQTT mendukung teknologi *internet of things* (IoT).

Protokol MQTT memiliki metode pengukuran keamanan jaringan guna mendefinisikan ciri khas dan sifat suatu layanan sampai pesan yang ditransmisikan terkirim yang disebut sebagai QoS (*Quality of Service*). MQTT memiliki 3 jenis QoS, yaitu: QoS 0, QoS 1 dan QoS 2.

2.10.1 MQTT QoS (*Quality of Service*)

MQTT memiliki tingkatan kualitas pelayanan atau yang disebut *Quality of Service* (QoS). QoS adalah jaminan dari protokol MQTT ketika pesan atau data di kirim ke *client* atau *server*. QoS memungkinkan mengatasi data yang hilang akibat

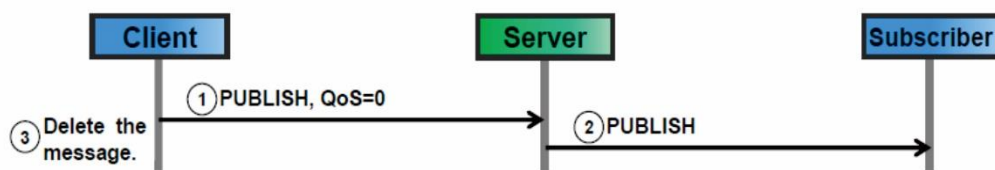
dari koneksi yang terputus saat berlangsung pengiriman data. QoS (*Quality of Service*) memiliki level pengiriman seperti yang terlihat pada Gambar 2.11.



Gambar 2. 11 Alur Pengiriman Data QoS

Dari gambar 2.11 dapat dilihat bahwa MQTT menyediakan 3 jenis tingkatan layanan keamanan (QoS), yaitu:

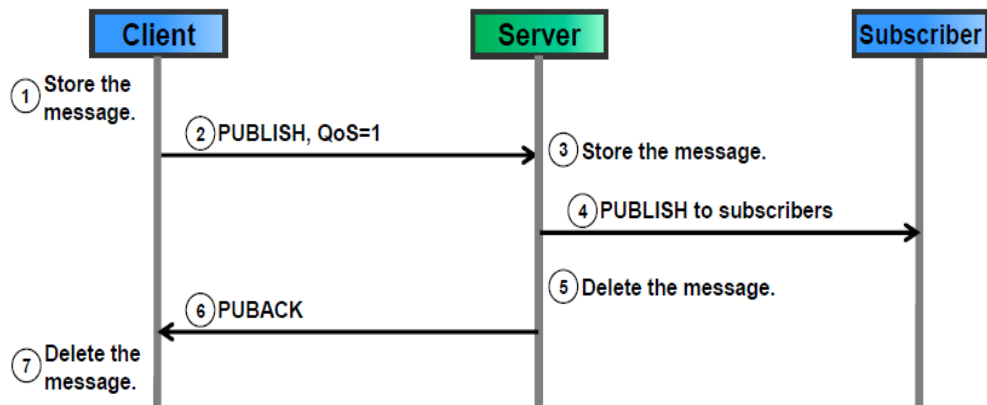
1. QoS 0, level pengiriman yang diperuntukkan untuk pengiriman data sekali. Contoh pengaplikasiannya yaitu pada monitoring sensor suhu yang memperbaharui data secara berkala, meskipun kehilangan satu nilai suhu, sistem masih tetap terintegrasi. Alur pengiriman data QoS 0 bisa di lihat pada Gambar 2.12.



Gambar 2. 12 Alur Pengiriman Data QoS 0

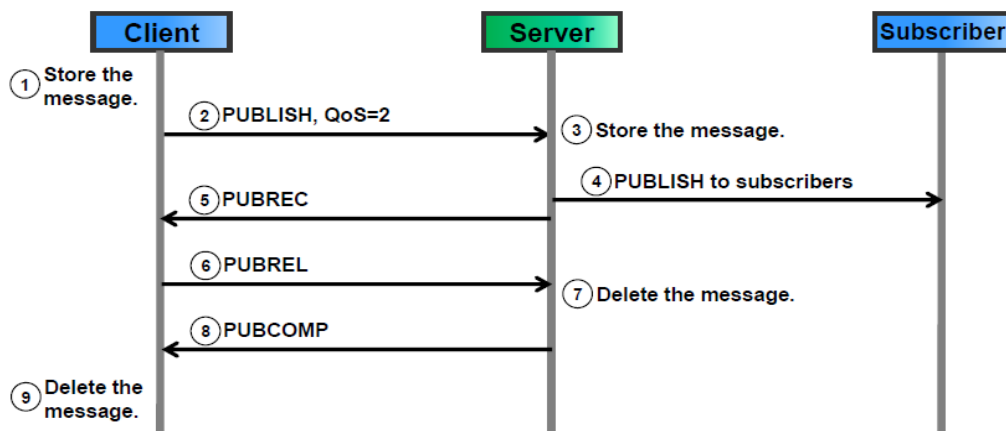
2. QoS 1, level pengiriman yang diperuntukkan untuk pesan yang dijamin sampai untuk sekali pengiriman, namun mungkin akan ada pesan duplikat. pengirim akan menyimpan pesan sampai menerima paket PUBACK dari

penerima pesan. Contoh pengaplikasiannya yaitu pada keadaan sensor gerbang/ pintu, karena penting untuk mengetahui keadaan pintu terbuka atau tertutup. Keadaan sensor pintu akan di-publish tanpa kehilangan data pada penerima. Alur pengiriman data QoS 1 dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2. 13 Alur Pengiriman Data QoS 1

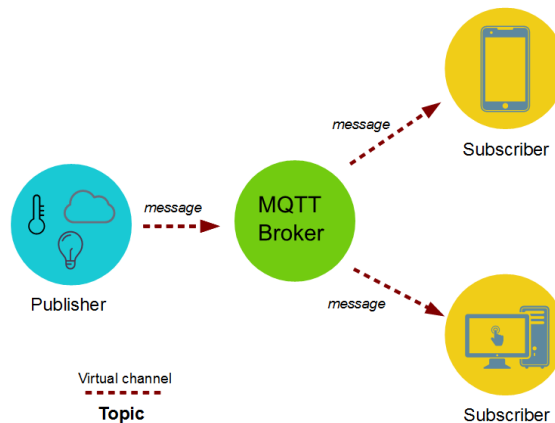
3. QoS 2, yaitu diperuntukkan untuk pesan dengan jaminan pengiriman paling tinggi dengan setidaknya dua aliran permintaan/ respons antara pengirim dan penerima. Pengirim dan penerima akan menggunakan pengenal paket dari pesan original publish untuk mengkoordinasikan pengiriman pesan dengan menggunakan 4 kontrol paket berupa PUBLISH, PUBREC, PUBREL, dan PUBCOMP. Alur pengiriman data QoS 2 dapat dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Alur Pengiriman Data QoS 2

2.10.2 MQTT Broker

MQTT *broker* adalah sebuah fasilitator yang menghubungkan antara *publisher* dengan *subscriber*. MQTT *broker* memiliki peran yang sangat penting pada keberhasilan komunikasi antara *publisher* dengan *subscriber*. Komunikasi data yang dilakukan antar *publisher* dengan *subscriber* bersifat asinkron yaitu merupakan komunikasi yang dilakukan harus melalui MQTT *broker* sehingga antara *publisher* dan *subscriber* tidak perlu saling mengetahui dan berhubungan. Secara sederhana arsitektur komunikasi protokol MQTT bisa di lihat pada Gambar 2.15.



Gambar 2. 15 Arsitektur Komunikasi Protokol MQTT

2.11 Protokol ESP NOW

ESP Now pada awal mulanya dibuat secara khusus hanya untuk mikrokontroler ESP 32. Jika dibandingkan dengan Wi-Fi biasa, metode komunikasi yang ditawarkan oleh ESP Now memungkinkan penggunaan daya yang jauh lebih hemat dan jauh lebih cepat untuk digunakan. Pada jaringan protokol komunikasi ESP Now semua perangkat yang terhubung dapat berkomunikasi satu sama lainnya dengan memperhatikan 3 metode utama, yaitu: siaran, *unicast* dan *multicast* serta

kecepatan data yang dinilai mencapai 1Mbps atau lebih tinggi lagi (Hoang, Van, & Nguyen, 2019).

Gambaran protokol ESP Now secara umum dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2. 16 Protokol ESP-NOW

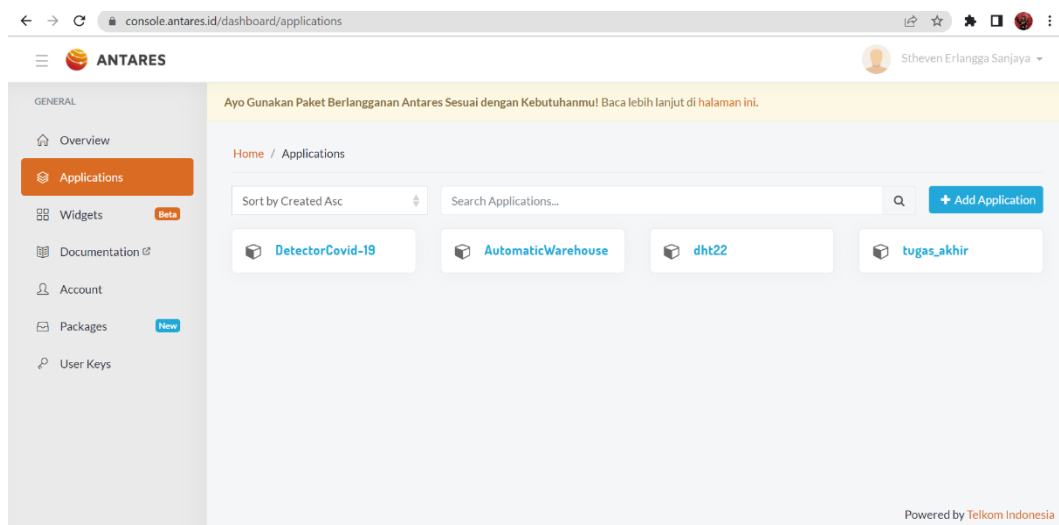
Pada Gambar 2.16 diatas dapat dilihat bahwa struktur keseluruhan dari protokol ESP Now yang tidak membutuhkan sebuah *router* untuk jaringan. Sebaliknya, protokol komunikasi ESP Now memungkinkan komunikasi berdaya rendah antara banyak perangkat serta memungkinkan proses P2P atau yang dikenal sebagai *Peer to peer*. *Peer to peer* merupakan salah satu model jaringan komputer yang terdiri dari dua atau beberapa komputer, dimana setiap station atau komputer yang terdapat di dalam lingkungan jaringan tersebut bisa saling berbagi.

2.12 Antares IoT

Antares IoT atau yang dikenal sebagai *Internet of Things Application and Technology Platform as your Reliable Solution* adalah sebuah *platform* yang berkembang dan bergerak di bidang IoT (*Internet of Things*). Dimana Antares IoT adalah salah satu *platform* yang dikembangkan oleh PT. Telekomunikasi Indonesia,

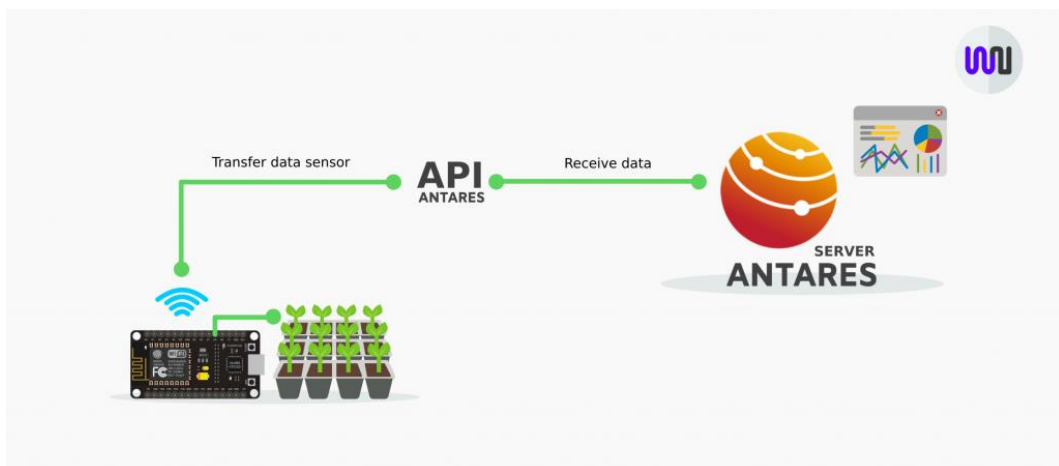
Tbk yang sedang membuka bidang riset baru di bidang IoT (*Internet of Things*) platform.

Antares IoT dapat berfungsi sebagai penyimpan data hasil pengukuran yang sekaligus dapat bekerja sebagai broker protokol MQTT. Broker merupakan pusat komunikasi yang bertanggung jawab dalam pengiriman pesan berupa topik dari *publisher* ke *subscriber*. Adapun antarmuka dari platform Antares IoT dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2. 17 Dashboard Antares IoT

Gambaran umum dari arsitektur sistem Antares IoT dapat di lihat pada Gambar 2.18.



Gambar 2. 18 Arsitektur Sistem Antares IoT

2.13 Penelitian Terkait

Berdasarkan studi tentang *monitoring* karbon monoksida dengan menggunakan metode *Wireless Sensor Network* (WSN) berbasis *Internet of Things* (IoT) yang pernah dilakukan sebelumnya. Berikut merupakan beberapa penelitian yang signifikan yang dapat dilihat pada Tabel 2.5.

Tabel 2. 5 Penelitian Terkait

No	Judul Jurnal	Nama Peneliti	Tempat dan Tahun Penelitian	Pembahasan Jurnal
1	Sistem Pemantauan Konsentrasi CO Kebakaran Hutan Riau Menggunakan Teknologi <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) dan <i>Internet of Things</i> (IoT)	Eko Prayitno dan Desi Amirullah	Jurusan Teknik Informatika Politeknik, Negeri Bengkalis, 2017	Penelitian ini membahas tentang sistem <i>monitoring</i> CO berbasis WSN dan IoT. Desain Perangkat Keras terdiri dari: <i>end device</i> , <i>gateway</i> dan <i>base-station</i> . <i>Device</i> tersusun dari tiga sensor dan modul Xbee, <i>gateway</i> menggunakan modul xbee dan <i>base station</i> menggunakan raspberry pi sebagai mikrokontrolernya.
2	Pengukuran Distribusi Dinamis	Laela Meitasari dan Suryono	Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Matematika,	Penelitian ini membahas tentang pengukuran

	<p>Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (Co) Menggunakan <i>Wireless Sensor Network</i></p>		<p>Universitas Diponegoro, Semarang, 2016</p>	<p>distribusi dinamis CO berbasis WSN. Alat yang dibuat berupa 5 titik sensor dengan jaringan Wi-Fi yang menggunakan mikrokontroler ATmega8535 dan sensor MQ-7.</p>
3	<p>Perancangan <i>Wireless Sensor Network</i> Dalam Sistem <i>Monitoring Lingkungan</i></p>	<p>Devi Indah Pujiana, Ade Silvia Handayani dan Aryanti</p>	<p>Teknik Elektro Prodi D4Teknik Telekomunikasi Politeknik Negeri Sriwijaya Sumatera Selatan, 2017</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang perancangan WSN untuk <i>monitoring</i> lingkungan. Alat yang dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino uno, menggunakan sensor SHT 11, sensor gas MQ 135 dan MQ 7 serta menggunakan modul xbee untuk komunikasi data.</p>
4	<p>Aplikasi <i>Wireless Sensor Network</i> Untuk Sistem <i>Monitoring</i></p>	<p>Tri Fidrian Arya, Mahar Faiqurahman, dan Yufis Azhar</p>	<p>Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah</p>	<p>Penelitian ini membahas tentang pengaplikasi WSN untuk <i>monitoring</i> kualitas udara. <i>Node sensor</i> terdiri atas:</p>

	Dan Klasifikasi Kualitas Udara		Malang (UMM), 2018	Arduino, sensor MQ-7, sensor MQ- 131, sensor <i>sharp</i> GP2Y1010AU0F dan modul LoRa dan <i>sink</i> terdiri atas: Raspberry Pi, Arduino Uno dan LoRa. Dan sistem yang dikembangkan menggunakan topologi bintang.
5	Desain <i>Wireless</i> <i>Sensor</i> <i>Network</i> untuk <i>Monitoring</i> Pencemaran Udara di Lingkungan <i>Outdoor</i>	Syahrir, Muhammad Rivai, Wirawan dan Tasmil	Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro & Informatika Makassar, 2015	Penelitian ini membahas tentang desain WSN untuk <i>monitoring</i> pencemaran udara. Alat yang dibuat menggunakan modul xbee dengan menggunakan mikrokontroler AT mega 16, sensor MQ-7, sensor LM 35 dan <i>Nodeplatform</i> <i>X-bee pro</i> sebagai standard IEEE 802.15.4.

Pada Tabel 2.5 berisi tentang penelitian-penelitian terkait yang pernah dilakukan sebelumnya, pertama yang akan dibahas yaitu penelitian dengan judul

“Sistem Pemantauan Konsentrasi CO Kebakaran Hutan Riau Menggunakan Teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *Internet of Things* (IoT)”. penelitian tersebut menggunakan topologi star dan menggunakan modul xbee sebagai modul komunikasi data yang dilakukan (Prayitno & Amirullah, 2019). Sedangkan pada penelitian ini menggunakan topologi mesh dan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang digunakan sebagai modul komunikasi data antar node.

Pada penelitian dengan judul “Pengukuran Distribusi Dinamis Konsentrasi Gas Karbon Monoksida (Co) Menggunakan *Wireless Sensor Network*” penelitian tersebut menggunakan mikrokontroler jenis ATmega8535 dan menggunakan topologi jaringan jenis ring dengan 5 titik sensor (Meitasari & Suryono, 2016). Sedangkan pada penelitian ini berfokus kepada penggunaan topologi jaringan jenis mesh serta mikrokontroler jenis ESP32 dan menggunakan 4 node yang terdiri dari 3 node sensor dan 1 node sink.

Pada penelitian dengan judul “Perancangan *Wireless Sensor Network* Dalam Sistem *Monitoring* Lingkungan” mikrokontroler yang digunakan adalah Arduino Uno dan modul xbee yang digunakan sebagai modul untuk komunikasi data yang berfokus untuk *monitoring* kualitas lingkungan dan bukan hanya kadar karbon monoksida serta menggunakan sensor lainnya seperti SHT11 dan MQ 35 (Pujiana, Handayani, & Aryanti, 2017). Sedangkan pada penelitian ini berfokus untuk melakukan *monitoring* kadar karbon monoksida menggunakan sensor MQ 7 dan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang digunakan sebagai modul komunikasi antar node.

Pada penelitian dengan judul “Aplikasi *Wireless Sensor Network* Untuk Sistem *Monitoring* Dan Klasifikasi Kualitas Udara” berfokus untuk *monitoring*

kualitas udara menggunakan sensor MQ 7 dan sensor suhu LM 35, serta menggunakan mikrokontroler Arduino Atmega 16 dan modul xbee sebagai modul komunikasi datanya dan menggunakan topologi star (Arya, Faiqurahman, & Azhar, 2018). Sedangkan pada penelitian ini hanya berfokus untuk *monitoring* kadar CO menggunakan sensor MQ 7 dan mikrokontroler yang digunakan adalah jenis ESP 32 serta topologi yang digunakan adalah topologi mesh.

Pada penelitian dengan judul “Desain *Wireless Sensor Network* untuk *Monitoring* Pencemaran Udara di Lingkungan *Outdoor*” berfokus untuk *monitoring* pencemaran udara menggunakan mikrokontroler Arduino dan LoRa untuk komunikasi datanya, menggunakan topologi star serta menggunakan sensor MQ 35 dan sensor *sharp* GP2Y1010AU0F (Syahrir, Rivai, Wirawan, & Tasmil, 2015). Sedangkan pada penelitian ini hanya berfokus untuk *monitoring* kadar CO menggunakan sensor MQ 7 dan mikrokontroler yang digunakan adalah jenis ESP 32 serta topologi yang digunakan adalah topologi mesh.