

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem

Sistem merupakan jaringan dari komponen-komponen yang saling berkaitan untuk membentuk satu tujuan. Untuk mengetahui apakah itu merupakan sistem atau tidak, dapat dilihat dari ciri-cirinya. Di bawah ini merupakan ciri-ciri dari sistem adalah sebagai berikut [18].

##### 1. Komponen

Sistem terdiri dari sejumlah komponen (berupa subsistem) yang saling berinteraksi dan bekerja sama untuk membentuk satu kesatuan.

##### 2. Batasan sistem (*boundary*)

Batasan sistem merupakan daerah yang membatasi antara suatu sistem dengan sistem lainnya. Batasan sistem ini memungkinkan sistem dipandang sebagai satu kesatuan dan juga menunjukkan ruang lingkup (*scope*) dari sistem tersebut.

##### 3. Lingkungan luar sistem (*environment*)

Apapun yang berada di luar batas dari sistem dan juga mempengaruhi sistem tersebut disebut dengan lingkungan luar sistem.

##### 4. Penghubung sistem (*interface*)

Media penghubung yang menjadi perantara antara subsistem ke subsistem lainnya dinamakan dengan penghubung sistem.

##### 5. Masukan sistem (*input*)

Hasil yang dimasukkan ke dalam sistem dinamakan dengan masukan sistem (*input*) dapat berupa perawatan dan masukan sinyal. Perawatan ini berfungsi agar sistem dapat beroperasi dan masukan sinyal adalah hasil yang diproses untuk menghasilkan keluaran (*output*).

##### 6. Keluaran sistem (*output*)

Hasil dari proses yang telah diolah dan diklasifikasikan menjadi keluaran yang berguna dinamakan dengan keluaran sistem (*output*), contohnya seperti informasi.

### 7. Pengolah sistem

Untuk mengolah masukan menjadi keluaran diperlukan suatu pengolah yang disebut dengan pengolah sistem.

### 8. Sasaran sistem

Sasaran sistem mengacu pada tujuan atau hasil yang diinginkan dari sebuah sistem [19].

## 2.2 Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang

Udara merupakan komponen penting dalam kehidupan khususnya untuk manusia. Selain oksigen, terdapat zat-zat lain yang terkandung dalam udara, seperti Karbon dioksida, jamur, virus. Zat tersebut jika masih dalam batas normal akan dinetralisasi [20].

Udara dikatakan bersih bila memenuhi syarat tertentu. Komposisi gas yang terkandung tidak melebihi batas yang telah ditentukan agar tidak menimbulkan bahaya. Berikut disajikan dalam bentuk tabel komposisi udara.

**Tabel 2. 1 Komposisi Udara**

| Komponen        | Formula         | Persen Volume | PPM     |
|-----------------|-----------------|---------------|---------|
| Nitrogen        | N <sub>2</sub>  | 78,08         | 780,800 |
| Oksigen         | O <sub>2</sub>  | 20,95         | 209,500 |
| Argon           | Ar              | 0,934         | 9,340   |
| Karbon Dioksida | CO <sub>2</sub> | 0,0314        | 314     |
| Neon            | Ne              | 0,00182       | 18      |
| Helium          | He              | 0,000524      | 5       |
| Metana          | CH <sub>4</sub> | 0,0002        | 2       |
| Kripton         | Kr              | 0,000114      | 1       |

Polutan di udara dalam ambang batas dan dalam waktu yang cukup lama akan berdampak pada kehidupan manusia. Bila keadaan polutan tersebut terjadi maka udara dikatakan tercemar [21].

**Tabel 2. 2 Baku Mutu Emisi Kendaraan**

| Kategori                     | Tahun Pembuatan | Parameter             | Metode Uji                      |
|------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|
|                              |                 | Karbon Monoksida (CO) |                                 |
| Kategori M                   | < 2007          | 4%                    | Kondisi diam<br>( <i>idle</i> ) |
|                              | 2007-2018       | 1%                    |                                 |
|                              | < 2018          | 0,5%                  |                                 |
| Kategori N dan<br>Kategori O | < 2007          | 4%                    |                                 |
|                              | 2007-2018       | 1%                    |                                 |
|                              | < 2018          | 0,5%                  |                                 |

Pada kota-kota besar, masalah pencemaran udara ditimbulkan dari banyak asap knalpot kendaraan bermotor sehingga pengguna jalan terganggu dan dapat mempengaruhi dampak kesehatan. Masalah kesehatan yang ditimbulkan seperti penyakit akut atau kronis pada tenggorokan hingga pada organ lain seperti paru-paru [22]. Menurut informasi dari Kementerian Lingkungan Hidup Republik Indonesia, sekitar 70% polusi udara berasal dari emisi gas buang kendaraan. Jika emisi kendaraan melebihi batas yang ditetapkan, hal ini dapat berpotensi merugikan kesehatan dan merusak lingkungan [23]. Baku mutu emisi yang terdapat pada tabel di atas (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023) merupakan nilai maksimum polutan udara yang diperbolehkan untuk masuk ke udara di sekitar. Standar ini mengatur seberapa banyak polusi yang dapat dilepaskan ke udara tanpa membahayakan kesehatan manusia. Kendaraan bermotor kategori M adalah kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang digunakan untuk angkutan orang. Kategori N untuk kendaraan bermotor roda empat atau lebih yang digunakan untuk angkutan barang. Sedangkan, kategori O adalah kendaraan bermotor penarik untuk gandengan atau tempel (untuk menarik trailer atau barang tambahan) [24].

Udara di sekitar kita sudah mulai tercemar oleh polusi. Komponen-komponen udara yang paling banyak berpengaruh dalam pencemaran udara, antara lain gas CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida). Gas ini terdapat di udara sekitar 0,033% dari volume udara. Sumber gas ini berasal dari pabrik, mesin yang menggunakan bahan

bakar fosil seperti batubara dan minyak bumi [25]. Selain itu, terdapat gas CO (Karbon monoksida). Di atmosfer, gas ini ditemukan dalam jumlah sangat sedikit yaitu 0,1 PPM. Namun, di daerah perkotaan bisa mencapai 10-15 PPM [6].

Selain itu, terdapat gas NO<sub>x</sub>. Gas ini berasal dari hasil pembakaran yang dikeluarkan oleh kendaraan. Konsentrasi gas ini di daerah perkotaan biasanya 10-100 kali lebih tinggi dibandingkan di pedesaan [12]. Dalam polusi udara juga terdapat gas ammonia (NH<sub>3</sub>). Gas ini terdapat di atmosfer yang terbentuk dari siklus nitrogen yaitu di mana nitrogen atmosfer (N<sub>2</sub>) diikat oleh bakteri di tanah dan air menjadi amonia (NH<sub>3</sub>). Batas ambang kadar gas ini biasanya 25 PPM bagi manusia [26]. Gas ini berasal dari industri ammonia, pengolahan limbah dan pengolahan batubara [27].

Berdasarkan Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara dan Permenaker No.13 Tahun 2011; SNI tahun 2005 antara lain ambang batas untuk kadar CO (Karbon monoksida) yaitu 30.000 µg/Nm<sup>3</sup> per jam dan 10.000 µg/Nm<sup>3</sup> per 24 jam. Ambang batas untuk kadar NO<sub>2</sub> (Nitrogen dioksida) yaitu 400 µg/Nm<sup>3</sup> per jam dan 150 µg/Nm<sup>3</sup> per 24 jam [28]. Ambang batas untuk kadar NH<sub>3</sub> (amonia) yaitu 25 ppm atau 17 mg/m<sup>3</sup> [29].

Untuk ambang batas dari kadar CO<sub>2</sub> (Karbon dioksida) belum ada yang mengatur di Indonesia, namun berdasarkan ASHRAE (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) dan OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) maksimal konsentrasi CO<sub>2</sub> dalam ruangan adalah 1000 ppm, jika melebihi 1000 ppm akan mengganggu kenyamanan pernapasan [30]. Kandungan CO<sub>2</sub> di udara segar dan baik untuk pernapasan bervariasi antara 300ppm sampai dengan 600 ppm bergantung pada lokasinya [31].

### **2.3 Mobil**

Mobil menjadi salah satu sarana transportasi yang sering digunakan. Mobil memiliki empat roda dan dioperasikan oleh satu orang pengemudi. Berdasarkan UU No 22 Tahun 2009 tentang LLAJ dan PP No 55 Tahun 2012 Tentang Kendaraan, mobil merupakan kendaraan bermotor angkutan orang yang memiliki tempat duduk maksimal delapan orang termasuk pengemudi atau beratnya tidak lebih dari 3.500 kg [32].

## 2.4 *Internet of Things*

*Internet of Things* atau IoT merupakan teknologi yang tengah mendapatkan perhatian dan bahan perbincangan saat ini. *Internet of Things* (IoT) adalah konsep di mana berbagai objek fisik, yang disebut "*things*" atau "perangkat," dilengkapi dengan teknologi seperti sensor, perangkat lunak, dan konektivitas internet untuk berkomunikasi dan bertukar data satu sama lain. IoT dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak yang memungkinkan perangkat tersebut untuk terhubung dan bertukar data melalui internet. IoT merupakan teknologi yang revolusioner yang memiliki potensi besar untuk mengubah berbagai aspek kehidupan dan industri.

IoT memungkinkan identifikasi dan konektivitas semua jenis benda fisik atau virtual ke internet. Dengan demikian, hal-hal seperti *monitoring* dan pengendalian jarak jauh terhadap berbagai perangkat bisa dilakukan melalui internet [33]. IoT merupakan sebuah konsep yang bertujuan untuk memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara terus-menerus. Adapun kemampuan seperti berbagi data, kontrol jarak jauh, yang semuanya tersambung ke jaringan lokal dan global melalui sensor yang tertanam dan selalu aktif [34].

Komponen-komponen yang terdapat di IoT antara lain seperti sensor yang berguna untuk mengumpulkan data bisa dengan mendeteksi berbagai parameter seperti suhu, kelembapan, gerakan. Lalu, konektivitas seperti protokol dan jaringan komunikasi yang berguna untuk menghubungkan perangkat ke jaringan internet ataupun jaringan lokal. Komponen-komponen ini bekerja sama untuk menciptakan sebuah ekosistem yang saling terhubung dan cerdas.

Konsep IoT merupakan integrasi perangkat yang terhubung ke internet, memungkinkan untuk dikelola secara *online* dan memberikan informasi secara *real-time*. IoT memungkinkan interaksi antara orang dan perangkat sehari-hari yang dapat dikendalikan melalui internet baik melalui RFID, LAN nirkabel, *wide area network*. IoT pertama kali diperkenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1998 yang bertujuan untuk memfasilitasi pertukaran informasi antara objek yang terhubung. IoT dapat dilihat dari tiga paradigma, yaitu *middleware* yang berorientasi pada Internet, yang berorientasi pada sensor, dan semantik yang berorientasi pada pengetahuan. Meskipun IoT melibatkan banyak bidang dan teknologi yang berbeda,

jika aplikasi berhasil memadukan semua paradigma yang ada, maka potensi untuk pengembangan solusi yang inovatif dan bermanfaat sangat besar [35].

## 2.5 Mikrokontroler

Mikrokontroler merupakan sebuah chip IC yang dapat di program sesuai dengan kebutuhan penggunaannya. Mikrokontroler itu sendiri dikenal sebagai subsistem dari sistem komputer yang merupakan gabungan semi konduktor yang terkemas dalam satu IC atau sering disebut sebagai chip, sehingga dikenal sebagai Single Chip Mikrokomputer. Mikrokontroler merupakan suatu komponen elektronika yang didalamnya sudah terintegrasi dengan I/O Port, RAM, ROM, sehingga dapat digunakan untuk berbagai keperluan kontrol [36].

## 2.6 Arduino

Arduino merupakan sebuah platform yang bersifat *open source*. Arduino disebut sebagai *platform* karena selain sebagai alat pengembangan, ia juga merupakan kombinasi yang canggih dari *hardware*, bahasa pemrograman dan *Integrated Development Environment (IDE)*. Arduino banyak digunakan oleh akademisi dan profesional untuk membuat proyek-proyek dan alat-alat. Arduino memiliki banyak modul pendukung seperti sensor, tampilan, dan penggerak [37].

### 2.6.1 Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah platform elektronik yang bersifat *open source* serta mudah digunakan. Hal tersebut ditunjukkan agar siapapun dapat membuat proyek interaktif dengan mudah dan menarik [38]. Untuk bentuk fisik dari Arduino Uno bisa dilihat pada gambar 2.1.

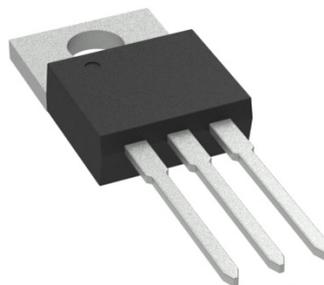


Gambar 2. 1 Arduino Uno (Adaptasi dari [39])

Arduino Uno memiliki 14 pin, masing-masing dari 14 pin digital di Uno dapat digunakan sebagai *input* atau *output*, 16 MHz osilator kristal, koneksi USB, *jack power*, ICSP header, dan tombol reset. Arduino Uno dapat diaktifkan melalui koneksi USB atau dengan satu daya eksternal (otomatis). Kisaran kebutuhan daya yang disarankan untuk board Uno adalah 7 sampai dengan 12 V [40].

## 2.7 LM1117T

LM1117 merupakan regulator penurun tegangan yang dapat menyediakan arus hingga 800mA dengan tegangan keluaran tetap atau yang dapat disesuaikan. Tegangan dropout maksimal adalah 1,2 V pada arus 800 mA dan menurun pada arus yang lebih rendah. Perangkat ini sangat andal karena tegangan keluaran dapat diatur dengan akurasi tinggi dan memiliki batas arus yang disesuaikan untuk mengurangi stres pada regulator dan sumber daya saat terjadi kelebihan beban. Versi 3,3 V dari regulator ini dirancang khusus untuk digunakan pada Terminator Aktif di bus SCSI [41].



**Gambar 2. 2 LM1117T (Adaptasi dari [42])**

## 2.8 Aplikasi *Mobile*

Aplikasi *mobile* merupakan perangkat lunak atau *software* yang berada pada perangkat *mobile* seperti *smartphone*. Aplikasi ini dapat diunduh dan memiliki fungsi yang dapat menambah fungsionalitas dari perangkat *mobile* itu sendiri. Untuk mendapatkan aplikasi *mobile mobile* yang diinginkan, pengguna dapat mengunduhnya melalui situs tertentu seperti Google Play Store [43].

## 2.9 Android

Android adalah perangkat lunak yang umumnya digunakan pada perangkat mobile, yang mencakup sistem operasi, middleware, dan aplikasi inti. Android menyediakan *platform* terbuka bagi para developer untuk membuat aplikasi mereka [44]. *Android Standart Development Kit* (SDK) menyediakan perangkat dan antarmuka pemrograman aplikasi (API) yang diperlukan untuk memulai pengembangan aplikasi pada *platform* Android. Ini mencakup kode yang dikompilasi bersama dengan data dan sumber daya aplikasi, yang kemudian digabungkan oleh alat aplikasi menjadi paket Android dengan ekstensi .apk. Paket inilah yang didistribusikan sebagai aplikasi dan diinstal pada perangkat *mobile* [45].

## 2.10 Mit App Inventor

*MIT App Inventor* atau *App inventor* adalah program yang digunakan untuk membuat aplikasi android. *App Inventor* merupakan produk buatan google yang sangat mudah dipelajari dan digunakan untuk membuat aplikasi yang telah dikembangkan oleh *Massachusetts Institute of Technology* [46]. *MIT App Inventor* adalah lingkungan pemrograman visual intuitif yang memungkinkan semua orang bahkan anak-anak untuk membangun aplikasi yang berfungsi penuh untuk smartphone dan tablet. Mereka yang baru mengenal *MIT App Inventor* dapat memiliki aplikasi pertama yang sederhana dan berjalan dalam waktu kurang dari 30 menit. Terlebih lagi, *App Inventor* ini memfasilitasi pembuatan aplikasi yang kompleks dan berdampak tinggi dalam waktu yang jauh lebih singkat. Proyek *MIT App Inventor* berupaya membantu pengembangan perangkat lunak dengan memberdayakan semua orang, terutama kaum muda, untuk beralih dari konsumsi teknologi ke penciptaan teknologi [47].

## 2.11 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , alkohol, benzol,  $\text{CO}_2$ . Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistansi (*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 resistansi dari MQ-135 yang berbeda-beda untuk berbagai konsentrasi gas-

gas [48]. Untuk bentuk fisik dari sensor MQ-135 dapat dilihat pada gambar 2.2.



**Gambar 2. 3 Sensor MQ-135 (Adaptasi dari [49])**

### 2.12 Sensor MQ-7

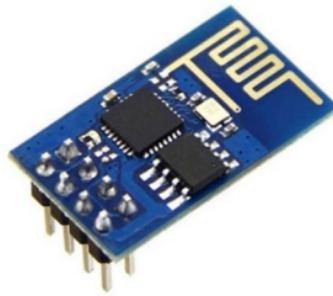
Sensor MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO) dalam kehidupan sehari-hari. Sensor gas MQ-7 ini mempunyai kelebihan sensitifitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabil, dan usia pakai yang lama. Untuk bentuk fisik dari sensor MQ-7 dapat dilihat pada gambar 2.3 [48].



**Gambar 2. 4 Sensor MQ-7 (Adaptasi dari [50])**

### 2.13 Modul Wifi ESP8266

ESP8266 adalah modul wifi yang berfungsi sebagai perangkat tambahan mikrokontroler seperti Arduino agar dapat terhubung dengan wifi dan membuat koneksi TCP/IP. Modul ini membutuhkan daya sekitar 3,3 V. Modul ini dilengkapi dengan prosesor, memori di mana jumlah pin bergantung dengan jenis yang digunakan. Modul ini memiliki tiga mode wifi yaitu *Station*, *Access Point*, dan *Both* [51]. Untuk bentuk fisik dari modul wifi ESP8266 dapat dilihat pada gambar 2.4.

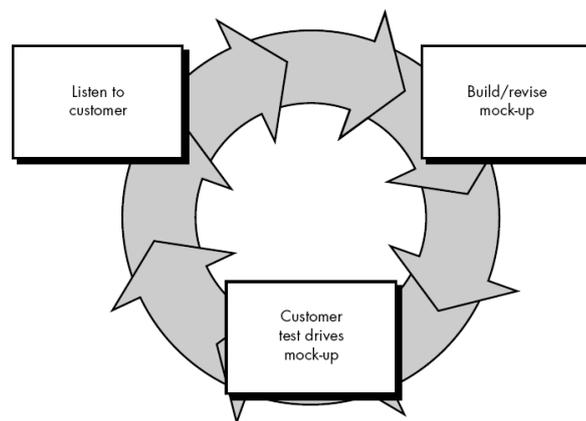


**Gambar 2. 5 Modul Wifi ESP8266 (Adaptasi dari [52])**

#### 2.14 Metode *Prototype*

Shalahuddin (2015), berpendapat metode *prototype (prototyping model)* dimulai dari mengumpulkan kebutuhan pelanggan terhadap perangkat lunak yang akan dibuat. Lalu dibuatlah program *prototype* agar pelanggan lebih terbayang dengan apa yang sebenarnya diinginkan. Program *prototype* ini dievaluasi oleh pelanggan atau *user* sampai ditemukan spesifikasi yang sesuai dengan keinginan pelanggan atau *user*. Tahapan-tahapan dalam metode *prototype* adalah sebagai berikut [53].

- a. Mengidentifikasi kebutuhan pemakai
- b. Pengembangan *prototype*
- c. Menentukan *prototype*
- d. Penggunaan *prototype*



**Gambar 2. 6 Model *Prototype* (Adaptasi dari [54])**

Gambar 2.6 menjelaskan bahwa metode *prototype* dimulai dengan mendengarkan kebutuhan dan masukan dari pengguna. Pengembang dan pengguna bertemu dan bersama-sama menentukan tujuan keseluruhan untuk perangkat lunak

dan mengidentifikasi apapun persyaratan yang diperlukan. Beberapa keunggulan dalam menggunakan metode *prototype* adalah sebagai berikut.

- 1) Pengembang sistem dan pengguna saling berkomunikasi khususnya dalam hal penyamaan persepsi terhadap pemodelan sistem yang akan menjadi dasar pengembangan sistem operasionalnya.
- 2) Pelanggan atau pengguna ikut terlibat secara aktif dan berpartisipasi dalam menentukan model sistem dan sistem operasionalnya sehingga pelanggan atau pengguna akan puas karena sistem yang dibuat sesuai dengan keinginan dan harapannya.
- 3) Sistem yang dibangun memiliki kualitas yang diinginkan karena sesuai dengan kebutuhan yang ada [55].

### **2.15 Unified Modeling Language (UML)**

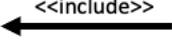
*Unified Modelling Language* (UML) adalah suatu alat untuk memvisualisasikan dan mendokumentasikan hasil analisa dan desain yang berisi sintak dalam memodelkan sistem secara visual. Saat ini sebagian besar para perancang sistem informasi dalam menggambarkan informasi dengan memanfaatkan UML diagram dengan tujuan utama untuk membantu tim proyek berkomunikasi, mengeksplorasi potensi desain, dan memvalidasi desain arsitektur perangkat lunak atau pembuat program [56].

#### **2.15.1 Use Case Diagram**

*Use case diagram* merupakan gambaran dari fungsionalitas yang diharapkan dari sebuah sistem, dan menunjukkan sebuah interaksi antara *actor* dan sistem. Di dalam use case terdapat *actor* yang menggambarkan entitas dari manusia atau sebuah sistem yang melakukan pekerjaan di sistem [57]. *Use case diagram* mewakili sebuah gambaran dari suatu sistem, menjelaskan apa saja yang sistem akan lakukan, menjelaskan apa yang akan diperbuat oleh sistem. Selain itu, menggambarkan sebuah sistem dari pandangan pengguna [58].

Simbol-simbol pada *use case diagram* antara lain sebagai berikut.

**Tabel 2. 3 Simbol-Simbol pada Use Case**

| Simbol  | Keterangan   |
|---|--|
|    | Aktor / <i>Actor</i> : Menggambarkan peran orang atau alat ketika berkomunikasi dengan <i>use case</i> . |
|    | <i>Use case</i> : Interaksi antara sistem dengan aktor.  |
|    | <i>Association</i> : Penghubung antara aktor dengan <i>use case</i> .                                    |
|    | Generalisasi : Menggambarkan spesialisasi aktor untuk dapat berpartisipasi dengan <i>use case</i> .      |
|  | Suatu <i>use case</i> seluruhnya merupakan fungsionalitas dari <i>use case</i> lainnya.                  |
|  | <i>Use case</i> merupakan tambahan fungsional dari <i>use case</i> lainnya jika suatu kondisi terpenuhi. |

### 2.15.2 Sequence Diagram

*Sequence diagram* merupakan gambaran interaksi antar objek di dalam dan di sekitar sistem yang berupa *message* yang digambarkan terhadap waktu [57]. Diagram ini menjelaskan rangkaian tahapan-tahapan dari sebuah kegiatan untuk menghasilkan sebuah *output* yang dibangun oleh sistem. Penggambaran interaksi antar objek untuk memberikan petunjuk atau tanda komunikasi antar objek [68].

Komponen utama yang sering digunakan antara lain sebagai berikut.

#### 1. Aktor

Komponen ini menggambarkan seorang pengguna yang berada di luar sistem dan sedang berinteraksi dengan sistem.

## 2. *Activation Box*

Komponen ini menggambarkan waktu yang dibutuhkan suatu objek untuk menyelesaikan tugasnya. Semakin lama waktu yang dibutuhkan, maka *activation box* akan semakin panjang. *Activation box* ini digambarkan dengan bentuk persegi panjang.

## 3. *Lifeline*

Komponen ini digambarkan dengan garis putus-putus yang berfungsi untuk menggambarkan aktivitas dari objek.

## 4. Objek

Komponen ini digambarkan dengan bentuk kotak yang berisi nama dari objek dengan garis bawah. Umumnya objek berfungsi untuk mendokumentasikan perilaku objek pada sebuah sistem.

## 5. *Messages*

Komponen ini menggambarkan komunikasi antar objek yang direpresentasikan dengan anak panah. Inti dari sebuah *sequence diagram* ini terletak pada komponen *lifeline* dan *messages* ini.

### 2.15.3 *Class Diagram*

*Class diagram* merupakan gambaran struktur dan deskripsi dari *class*, *package*, dan objek yang saling berhubungan seperti pewarisan dan asosiasi [57]. *Class diagram* dapat memberikan sebuah gambaran yang luas tentang sebuah sistem dengan memberikan petunjuk kepada kelas serta dalam hubungannya. Selain itu, diagram class ini bisa dengan rinci memetakan sebuah bagan sistem dengan memodelkan atribut, *class* serta hubungan antar objek yang ada [58].

*Class diagram* memiliki tiga komponen. Komponen pertama yaitu komponen atas yang berisikan nama *class*. Komponen kedua yaitu komponen tengah yang terdapat atribut dari sebuah *class*. Terakhir, komponen bawah, di mana komponen ini menyertakan operasi yang ditampilkan dalam bentuk daftar dan dapat menggambarkan bagaimana *class* dapat berinteraksi dengan data.

## 2.16 Pengujian

Pengujian sangatlah penting dalam pembuatan sistem. Pengujian sistem bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sebuah sistem dan menentukan apakah

sistem yang dikembangkan sudah sesuai dengan hasil yang diharapkan. Hal ini juga bertujuan untuk memastikan bahwa sistem memiliki kualitas yang terbaik. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem yang sudah atau sedang dibuat data berjalan sesuai fungsionalitas [59]. Pengujian dibagi menjadi dua, yaitu pengujian *software* dan pengujian *hardware*.

### 2.16.1 Pengujian *Software*

Pengujian *software* adalah suatu proses menjalankan program dengan maksud menemukan kesalahan atau *error*. Proses tersebut dimulai dari pengecekan kode untuk menjalankan percobaan dari *software* hingga ke tahapan *testing*. Teknik pengujian dibagi menjadi tiga yaitu *white-box testing*, *black-box testing*, dan *grey-box testing* [60].

#### a. Pengujian *Black Box*

Teknik pengujian *software* yang berfokus pada spesifikasi fungsi-fungsi yang ada pada perangkat lunak yang dikembangkan dinamakan pengujian *black box*. Pengujian ini dapat menemukan beberapa hal seperti fungsional yang tidak benar atau tidak ada, kesalahan struktur data, akses basis data, antar muka dan juga kesalahan inisialisasi [61]. Pengujian ini dilakukan untuk menguji kesalahan yang tidak dapat dicakup oleh pengujian *white box*. Terdapat beberapa teknik dalam pengujian *black box* di antaranya adalah sebagai berikut [62].

##### 1) *Equivalence Partitioning*

Teknik ini melakukan pengujian berdasarkan masukan data pada setiap *form* yang ada pada aplikasi, di mana setiap masukan akan dikelompokkan fungsinya baik itu bernilai valid maupun tidak [63].

##### 2) *Boundary Value Analysis*

Teknik ini digunakan untuk mengidentifikasi kesalahan akibat keterbatasan input data, contohnya seperti pencarian *error* dari luar atau sisi dalam perangkat lunak [64].

##### 3) *Cause Effect Graph*

Teknik ini membentuk hubungan antara *output* dan *input* pada sebuah grafik di mana *cause* sebagai *input* dan *effect* sebagai output [65].

#### 4) *All-Pair Testing*

Teknik ini dilakukan untuk menguji semua kemungkinan kombinasi dari seluruh pasangan berdasarkan input parameteranya.

#### 5) *Fuzzing*

Teknik ini digunakan untuk melakukan pencarian *bug* dan *vulnerability* dalam perangkat lunak [66].

#### 6) *Orthogonal Array Testing*

Teknik ini dilakukan sebagai acuan apakah sistem yang dibuat ini bekerja dengan baik sesuai fungsinya atau tidak [67].

#### 7) *State Transition*

Teknik ini dilakukan dengan melihat kesesuaian alur dari satu alur ke alur lainnya [68].

### 2.16.2 Pengujian *Hardware*

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah perangkat keras dapat berjalan dengan baik. Dimulai dari pengujian rangkaian atau komponen pada perangkat keras hingga keseluruhan alat dengan menggabungkan seluruh komponen dan program yang tersambung ke dalam perangkat keras tersebut [69].

#### 1. Pengujian Sensor MQ-135 dan MQ-7

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah sensor gas dapat mendeteksi dengan baik dalam satuan PPM (*Part Per Million*). Dalam proses pengecekan sensor gas digunakan aplikasi *mobile* untuk memonitor kadar gas yang terdeteksi dalam sensor gas.

#### 2. Pengujian Modul Wifi ESP8266

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui apakah data dari sensor gas terkirim ke aplikasi *mobile* dengan baik dengan menghubungkan jaringan wifi yang sesuai dengan *mobile*.

### 3. Pengujian Keseluruhan Alat

Pengujian keseluruhan komponen dilakukan agar semua berjalan dengan baik saat digunakan dengan menggabungkan semua komponen antara sensor, Arduino, modul wifi dengan aplikasi *mobile*.

Dalam penelitian “Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android” oleh Muhammad Syahputra Novelan, melakukan pengujian alat untuk memastikan sistem berjalan dengan lancar. Pengujian alat dilakukan dengan pembacaan kadar gas dan suhu udara yang dilakukan di dalam ruangan, baik untuk sensor MQ-135 (sensor gas) dan Sensor LM35 (sensor suhu) yang dikendalikan dengan mikrokontroler dan dihubungkan dengan *Bluetooth*. Pertama melakukan pengujian antara *bluetooth* yang ada di *mobile* dengan yang ada di alat. Lalu, jika sudah terhubung membuka aplikasi android yang telah dirancang kemudian, sensor akan bekerja dan data dikirim melalui koneksi *bluetooth* [70].

Dalam penelitian “Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT” oleh Jacqueline Waworundeng dan Oktoverano Lengkong, melakukan pengujian dengan memeriksa kinerja setiap komponen. Proses pengujian dilakukan dengan memberikan gas di sekitar area sensor MQ-135. Dalam pengujian, gas yang digunakan adalah cairan alkohol yang ditempatkan pada permukaan kain yang akan menghasilkan gas alkohol, kemudian didekatkan pada area sensor. Sensor akan mendeteksi konsentrasi gas dan program yang terdapat pada *Wemos board* akan membandingkan dengan level kualitas udara yang telah diatur sebelumnya pada program, sesuai dengan nilai yang terbaca oleh sensor [71].