

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Pencemaran Udara**

##### **1. Definisi Pencemaran Udara**

Menurut Peraturan Pemerintah Nomor 41 Tahun 1999 tentang Pengendalian Pencemaran Udara pasal 1 ayat 1, pencemaran udara adalah masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia sehingga mutu udara ambien turun sampai ke tingkat tertentu yang menyebabkan udara ambien tidak dapat memenuhi fungsinya. Pencemaran udara didefinisikan sebagai campuran dari berbagai macam gas yang tidak tetap sehingga gas-gas tersebut mengganggu kehidupan. Dalam hal ini, udara juga adalah atmosfer yang berada di sekeliling bumi yang fungsinya sangat penting bagi makhluk hidup (Wisnu Arya dalam Siburian (2020). Siburian (2020) menjelaskan bahwa pencemaran udara adalah suatu keadaan di mana terdapat substansi fisik, biologi, atau kimia di lapisan udara bumi (atmosfer) yang jumlahnya membahayakan kesehatan tubuh manusia dan makhluk hidup lainnya.

##### **2. Sumber Pencemaran Udara**

Pencemaran udara terbagi menjadi dua golongan, yaitu pencemar primer dan pencemar sekunder. Pencemar primer adalah zat pencemar yang timbul secara langsung dari sumber pencemaran udara, karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) ialah contoh dari pencemar primer sebab hasil dari pembakaran, sedangkan pencemar sekunder adalah substansi pencemar yang terbentuk karena reaksi pencemar-pencemar primer di atmosfer (Siburian, 2020).

Sumber bahan pencemar udara primer dapat dibagi lagi menjadi dua golongan besar, yaitu (Siburian, 2020):

a. Sumber Alamiah (*Natural Sources*)

Beberapa kegiatan alam yang bisa menyebabkan pencemaran udara adalah aktivitas gunung berapi, kebakaran hutan, kegiatan mikroorganisme, dan lain-lain. Bahan pencemar yang dihasilkan umumnya adalah asap, gas-gas, dan debu.

b. Sumber Buatan Manusia (*Anthropogenic Sources*)

Kegiatan manusia yang menghasilkan bahan-bahan pencemar di antaranya adalah pembakaran sampah, pembakaran pada kegiatan rumah tangga, industri, kendaraan bermotor, dan lain-lain. Bahan-bahan pencemar yang dihasilkan antara lain asap, debu, grit (pasir halus), dan gas (CO dan NO).

3. Jenis Bahan Pencemar Udara

Menurut Prabowo & Muslim (2018) serta Siburian (2020), terdapat beberapa bahan pencemar udara yang sering ditemukan di kota-kota. Dilihat dari ciri fisik, bahan pencemar dapat berupa:

- a. Partikulat (PM)
- b. Karbon Monoksida (CO)
- c. Sulfur Oksida (SO<sub>x</sub>)
- d. Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>)
- e. Oksidan Fotokimia
- f. Hidrokarbon (HC)
- g. Ozon (O<sub>3</sub>)
- h. Senyawa anorganik (H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, NH<sub>3</sub>, HNO<sub>3</sub>)

- i. *Volatile Organic Compounds* (VOC), yakni bahan-bahan yang mudah menguap

## **B. Karbon Monoksida**

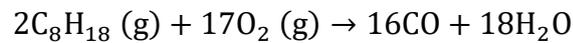
### **1. Sifat dan Karakteristik Karbon Monoksida**

Karbon dan oksigen dapat bergabung membentuk senyawa karbon monoksida (CO) sebagai hasil pembakaran yang tidak sempurna dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) sebagai hasil pembakaran sempurna. Karbon Monoksida adalah gas yang tidak berwarna, tidak berbau, tidak mempunyai rasa, titik didih -192° C, tidak larut dalam air, dan beratnya 96,5% dari berat udara (Wichayo, 2010 dalam Mallongi, 2019). Karbon monoksida terdiri dari satu atom karbon yang berikatan secara kovalen dengan satu atom oksigen. Karbon monoksida dihasilkan dari pembakaran yang tidak sempurna dari senyawa karbon. Karbon monoksida terbentuk apabila terdapat kekurangan oksigen dalam pembakaran (Mallongi, 2019).

### **2. Sumber Karbon Monoksida**

Karbon monoksida di lingkungan dapat terbentuk secara alamiah, misalnya berasal dari lautan, oksidasi metal di atmosfer, pegunungan, kebakaran hutan, dan badai listrik alam. Selain itu, karbon monoksida dapat juga terbentuk dari aktivitas kendaraan bermotor, terutama yang menggunakan bahan bakar bensin. Sumber keberadaan gas karbon monoksida berasal dari pembakaran yang tidak sempurna dari bahan bakar minyak (BBM) seperti bensin, di mana pada pembakaran yang terjadi di mesin motor dapat

menghasilkan pembakaran tidak sempurna dengan reaksi sebagai berikut (Utami, 2011 dalam Mallongi (2019)):



Pemakaian energi bahan bakar minyak menunjukkan kecenderungan yang semakin meningkat di seluruh sektor, baik di sektor domestik dan terutama di sektor industri dan transportasi. Tanpa disadari, dominasi pemakaian BBM memberi pengaruh besar terhadap kualitas udara, terutama di kota atau ibu kota provinsi dan di ibu kota kabupaten. Transportasi (darat, laut, dan udara) merupakan salah sektor yang paling banyak menggunakan bahan bakaar minyak. Sektor ini menunjukkan kecenderungan yang terus meningkat. Peningkatan yang terpesat adalah pada transportasi darat, terutama kendaraan roda dua dan roda empat. Pencemaran udara yang umum dihasilkan dari proses pembakaran menggunakan BBM adalah nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), debu partikel berdiameter 10 mikron dan 2,5 mikron ke bawah (PM<sub>10</sub> dan PM<sub>2,5</sub>), hidrokarbon (HC), H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, logam berat, dan ozon (BLHD Sulsel, 2013 dalam Mallongi (2019)).

Karbon monoksida yang bersumber dari dalam ruang (*indoor*) berasal dari alat pemanas ruang dan tungku masak yang menggunakan bahan bakar fosil. Pada ruangan tersebut, kadar karbon monoksida akan lebih tinggi apabila ruangan tersebut tidak memiliki ventilasi yang memenuhi standar sehingga manusia yang berada di ruangan tersebut akan terpajan oleh CO yang dapat membahayakan kesehatannya (Mallongi, 2019).

### 3. Kegunaan dan Manfaat Karbon Monoksida

Karbon monoksida digunakan dalam sistem kemasan produk di Amerika Serikat, utamanya digunakan dalam produk-produk daging segar seperti daging kerbau dan babi. Karbon monoksida berkombinasi dengan myoglobin membentuk karboksimioglobin, sebuah pigmen cerah yang berwarna merah ceri. Karboksimioglobin, yang dapat dioksidasi menjadi pigmen coklat, metmyoglobin. Warna merah yang stabil ini dapat bertahan lebih lama, sehingga memberikan kesan kesegaran. Teknologi ini pertama kali diberikan status “*Generally recognized as safe*” (secara umum dikenal aman) oleh *Food and Drug Administration* (FDA) pada tahun 2002 untuk penggunaan sistem kemasan sekunder. Pada tahun 2004, FDA mengizinkan penggunaan CO sebagai metode kemasan primer dan menyatakan bahwa CO tidak menutupi bau busuk. Walaupun begitu, teknologi ini masih kontroversial di Amerika Serikat oleh karena kekhawatiran CO akan menutupi bau busuk makanan (Mallongi, 2019).

Selain itu, CO meregulasi reaksi peradangan yang dapat mencegah berkembangnya beberapa penyakit seperti aterosklerosis atau malaria berat. CO adalah nutrisi bagi bakteri, CO diproduksi via reduksi karbon dioksida dengan enzim karbon monoksida dehidrogenase, sebuah protein yang mengandung Fe-Ni-S. Dikenal juga sebuah protein sensor-CO yang berdasarkan heme, CooA. Cakupan peranan biologis zat ini masih tidak jelas, namun tampaknya merupakan bagian dari lintasan sinyal pada bakteri dan arkea. CO juga baru-baru ini dikaji di beberapa laboratorium riset di seluruh dunia atas sifatnya yang anti-peradangan dan sitoprotektif yang dapat

digunakan untuk terapi pencegahan kondisi patologis seperti cedera reperfusi iskemia, penolakan trasplan, aterosklerosis, spesi, malaria berat, atau autoimunitas. Sampai sekarang ini tidak ada aplikasi medis CO kepada manusia. (Anonim, 2007 dalam Mallongi (2019)).

#### 4. Dampak Pencemaran Karbon Monoksida terhadap Lingkungan

Menurut Akmal (2009) bahwa sudah sejak lama diketahui bahwa gas CO dalam jumlah banyak (konsentrasi tinggi) dapat menyebabkan gangguan pada ekosistem dan lingkungan. Bahkan karbon monoksida dengan kadar yang berlebihan dapat memberi dampak kepada hewan dengan hampir menyerupai dampak yang terjadi pada manusia, seperti menyebabkan kematian (Mallongi, 2019).

Pada sebuah penelitian menunjukkan bahwa terdapat pengaruh paparan asap knalpot dengan kadar CO 1800 ppm terhadap gambaran histopatologi otot jantung tikus *Wistar*. Perubahan struktur histopatologis otot jantung yang dilihat berupa sel otot jantung yang nekrosis. Selain dikarenakan efek dari ikatan karboksihemoglobin yang menyebabkan hipoksia organ termasuk jantung, gas CO yang berada di jaringan ekstrasvaskuler (10-15%) akan meningkat myoglobin, sitokrom P 450 dan enzim sitokrom oksidase a<sub>3</sub> mitokondria miokardium menyebabkan hasil oksidasi mitokondaria berupa Adenosin Tri Posfat (ATP) berkurang. Adenosin Tri Posfat (ATP) merupakan bahan sangat penting bagi aktivitas neuron dan miokardium, sehingga daya kontraktil miokardium menurun, terjadi hipotensi aritmia ventrikuler sehingga dapat terjadi kematian mendadak (*sudden death*) (Anggraeni, 2009 dalam Mallongi (2019)).

Bagi tumbuhan, kadar CO 200 ppm dengan waktu kontrak 24 jam dapat mempengaruhi kemampuan fiksasi nitrogen oleh bakteri bebas terutama yang terdapat pada akar tumbuhan (Anonim, 2010). Pada material, dampak pencemaran udara oleh karbon monoksida adalah menghitamkan benda-benda pada daerah yang telah tercemar oleh karbon monoksida (Mallongi, 2019).

#### 5. Dampak Pencemaran Karbon Monoksida terhadap Kesehatan

Karbon monoksida (CO) merupakan salah satu gas pencemar udara yang paling dominan mempengaruhi kesehatan manusia. Pengaruh gas pencemar udara terhadap kesehatan manusia dapat berakibat langsung maupun tidak langsung, seperti merusak susunan haemoglobin darah, penyakit infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), iritasi tenggorokan, penyakit pneumokinesis, kardiovaskuler, dan kanker (Sugiarti, 2009 dalam Mallongi (2019)).

Bila terhirup, CO akan berikatan haemoglobin (Hb) dalam darah membentuk karboksihaemoglobin sehingga oksigen tidak dapat terbawa. Ini disebabkan karbon monoksida dapat mengikat 250 kali lebih cepat dari oksigen. Gas ini juga dapat mengganggu aktivitas seluler lainnya yaitu dengan mengganggu fungsi organ yang menggunakan sejumlah besar oksigen seperti otak dan jantung, Efek paling serius adalah terjadi keracunan secara langsung terhadap sel-sel otot jantung, juga menyebabkan gangguan pada sistem saraf (Mallongi, 2019).

Karbon monoksida yang meningkat di berbagai perkotaan dapat mengakibatkan turunnya berat janin dan meningkatkan jumlah kematian bayi serta kerusakan otak. Karena itu strategi penurunan kadar karbon monoksida akan tergantung pada pengendalian emisi seperti penggunaan bahan katalis

yang mengubah bahan karbon monoksida menjadi karbon dioksida dan penggunaan bahan bakar terbarukan yang rendah polusi bagi kendaraan bermotor (Simanjutak, 2007 dalam Mallongi (2019)).

Dalam jumlah sedikit pun gas karbon monoksida jika terhirup dalam waktu tertentu dapat menyebabkan gejala racun terhadap tubuh. Keracunan gas karbon monoksida gejala didahului dengan sakit kepala, mual, muntah, rasa lelah, berkeringat banyak, *pyrexia*, pernapasan meningkat, *confusion*, gangguan penglihatan, kebingungan, hipotensi, kehilangan kesadaran, dan sakit dada mendadak juga dapat muncul pada orang yang menderita nyeri dada. Kajian klinis menunjukkan adanya hubungan antara paparan gas karbon monoksida untuk pekerjaan tertentu seperti petugas pemadam kebakaran, pekerja proyek/*foundry* dan kejadian meningkatnya penyakit jantung (Mallongi, 2019).

Paparan jangka pendek CO juga dapat menyebabkan tekanan darah tinggi pada wanita (Männistö T et al., 2015) dan gangguan fungsi paru-paru pada anak-anak penderita asma, muncul dalam kapasitas vital paksa dan volume ekspirasi paksa dalam 1 detik (Chen et al., 2021).

### **C. Pengendalian Pencemaran Udara Ambien**

Pengendalian pencemaran udara adalah kegiatan yang berupaya mengembalikan baku mutu udara sesuai dengan batasan yang telah ditetapkan. Upaya pengendalian pencemaran udara dilakukan untuk melestarikan kondisi lingkungan serta mencegah kerusakan lingkungan yang semakin parah (Nurwita et al., 2021).

Menurut Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Nomor 12 Tahun 2010 tentang Pelaksanaan Pengendalian Pencemaran Udara di Daerah, pengendalian pencemaran udara adalah upaya pencegahan dan/atau penanggulangan pencemaran udara serta pemulihan mutu udara. Ruang lingkup pengendalian pencemaran udara adalah sebagai berikut:

1. Penetapan baku mutu udara ambien
2. Penetapan status mutu udara ambien daerah
3. Penetapan baku mutu emisi, baku mutu emisi gas buang, dan baku mutu gangguan
4. Pelaksanaan koordinasi operasional pengendalian pencemaran udara
5. Koordinasi dan pelaksanaan pemantauan kualitas udara

#### **D. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Konsentrasi Polutan Udara**

##### 1. Kendaraan Bermotor

Kendaraan bermotor merupakan sumber polutan CO yang utama (sekitar 59,2%), maka daerah-daerah yang berpendudukan padat dengan lalu lintas ramai memperlihatkan tingkat polusi CO yang tinggi. Konsentrasi CO di udara per waktu dalam satu hari dipengaruhi oleh kesibukan atau aktivitas kendaraan bermotor yang ada. Semakin ramai kendaraan bermotor yang ada, semakin tinggi tingkat polusi CO di udara (Prabowo & Muslim, 2018).

##### 2. Meteorologi

Menurut Zhang *et al.* (2015) dalam Sibarani *et al.* (2021), parameter meteorologi adalah salah satu faktor penting yang mempengaruhi kualitas udara perkotaan. Suhu udara, kelembapan relatif, serta kecepatan dan arah

angin dianggap sebagai faktor utama karena dapat mempengaruhi proses dispersi, mekanisme penghapusan, dan pembentukan partikel atmosfer. Proses-proses tersebut dapat memainkan peran penting dalam mengendalikan konsentrasi polutan udara. Selain itu, menurut Shukla *et al.* (2008), parameter hujan juga dapat mempengaruhi konsentrasi polutan udara karena dapat menghilangkan polusi gas dan pengendapan partikulat melalui proses kimia atmosfer (Sibarani *et al.*, 2021).

Akhadi (2014) dalam bukunya mengatakan bahwa pencemaran udara terjadi karena adanya sumber-sumber pencemar yang mengemisikan polutan ke lingkungan dan ditransfer dari sumbernya menuju lingkungan oleh faktor-faktor meteorologis seperti arah angin, kecepatan angin, dan sebagainya (Hasairin & Siregar, 2018).

a. Suhu Udara

Suhu dapat menyebabkan polutan dalam atmosfer yang lebih rendah dan tidak menyebar. Pada musim kemarau keadaan udara lebih kering dengan suhu cenderung meningkat serta angin yang bertiup lambat dibanding dengan keadaan hujan maka polutan udara pada keadaan musim kemarau cenderung tinggi karena tidak terjadi pengenceran polutan di udara (Prabowo & Muslim, 2018).

Suhu udara yang tinggi akan menyebabkan udara makin renggang sehingga konsentrasi pencemar menjadi makin rendah. Suhu udara yang tinggi akan menyebabkan bahan pencemar dalam udara terbentuk partikel menjadi kering dan ringan sehingga bertahan lebih lama di udara, terutama pada musim kemarau dimana hujan jarang turun (Prabowo & Muslim, 2018).

b. Kelembapan Udara

Kelembapan udara didefinisikan sebagai banyaknya uap air dalam udara. Kondisi udara yang lembap akan membantu proses pengendapan bahan pencemar, sebab dengan keadaan udara yang lembab maka beberapa bahan pencemar berbentuk partikel (misalnya debu) akan berikatan dengan air yang ada dalam udara dan membentuk partikel yang berukuran lebih besar sehingga mudah mengendap ke permukaan bumi oleh gaya tarik bumi (Prabowo & Muslim, 2018).

c. Kecepatan Angin

Kecepatan angin di suatu daerah akan menyebarkan polutan di udara ke area lain. Menurut Noviani et al., (2013) dalam Wirosodarmo et al., (2020), kecepatan angin berbanding terbalik dengan konsentrasi pencemar CO yang dihasilkan, hal ini berarti semakin besar kecepatan angin yang berhembus, maka konsentrasi CO akan semakin kecil, karena konsentrasi pencemar CO terdispersi ke segala arah. Selain itu, menurut Sutiawan et al., (2016) dalam Wirosodarmo et al., (2020), kecepatan angin yang tinggi yang melewati suatu daerah menyebabkan konsentrasi CO yang berada di daerah tersebut ikut terbawa, hal ini mengakibatkan konsentrasi CO menjadi berkurang dan pada saat pengukuran cenderung menjadi lebih rendah.

**E. Rancang Bangun Alat Pemantau Kualitas Udara**

1. *Internet of Things* (IoT)

*Internet of Things* atau sering disebut IoT adalah sebuah konsep yang memiliki tujuan memperluas manfaat dari konektivitas internet yang tersambung secara

terus menerus (Junaidi, 2015 dalam Hidayat & Sari, 2021). Menurut *Coordinator and Support Action for Global RFID-related Activities Standardization* (CASAGRAS) dalam (Nisa & Nuryana, 2020), *Internet of things* (IoT) didefinisikan sebagai infrastruktur jaringan global yang menjadi penghubung benda-benda fisik dan virtual melalui eksploitasi data *capture* dan kemampuan komunikasi. Secara sederhana, IoT mampu menyediakan layanan bagi pengguna agar dapat berkomunikasi dengan perangkat keras melalui koneksi jaringan internet.



**Gambar 1. Konsep *Internet of Things* (IoT)**

(Sumber: <https://mobnasesemka.com/internet-of-things/>)

## 2. Mikrokontroler Arduino Uno

Arduino Uno merupakan jenis mikrokontroler yang menggunakan chip berbasis ATmega 328. Arduino memiliki 14 pin input/output (I/O) yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 pin analog input, *crystal* osilator 16 MHz, koneksi USB, *jack power*, kepala ICSP, dan tombol reset (Saragih & Bancin, 2020). Arduino Uno dirancang sedemikian rupa untuk dapat digunakan dalam membuat *project* yang cukup kompleks.

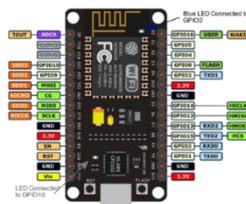


**Gambar 2. Arduino Uno**

(Sumber: <https://store.arduino.cc/>)

### 3. NodeMCU ESP8266

NodeMCU adalah pengembangan dari ESP8266 dengan *firmware* berbasis e-Lua. NodeMCU menggunakan bahasa pemrograman Lua yang merupakan bagian dari *package* ESP8266 dan dilengkapi dua buah tombol *push button* yang digunakan sebagai tombol *reset* dan *flash*. NodeMCU merupakan *opensource Platform IoT*, untuk penggunaan di *board* Arduino, *board* ini terlebih dahulu harus di-*flash* agar *support* terhadap *tool* yang digunakan (Hidayat & Sari, 2021).



**Gambar 3. NodeMCU ESP8266**

(Sumber: <https://circuits4you.com/>)

### 4. Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang dapat mengukur suhu  $-40 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$  dan kelembapan udara  $0 - 100\%$  di sekitarnya. Sensor ini sangat mudah digunakan Bersama dengan Arduino. Memiliki tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur kalibrasi yang sangat akurat (Project Hub, 2016 dalam Siswanto et al., 2017)



**Gambar 4. Sensor DHT22**

(Sumber: [5. DHT22 - Digital Temperature and Humidity Sensor \(readme.io\)](https://www.readme.io/docs/dht22-digital-temperature-and-humidity-sensor))

## 5. 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 sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabil, dan berumur panjang (Agustinus et al., 2015 dalam Prayoga et al., 2020).

Sensor ini memiliki sensitivitas tinggi dan waktu respon yang cepat. Keluaran yang dihasilkan oleh sensor ini adalah berupa sinyal analog. Pada sensor ini terdapat nilai resistansi sensor ( $R_s$ ) yang dapat berubah bila terkena gas (Putro, 2012 dalam Mallongi (2019)).



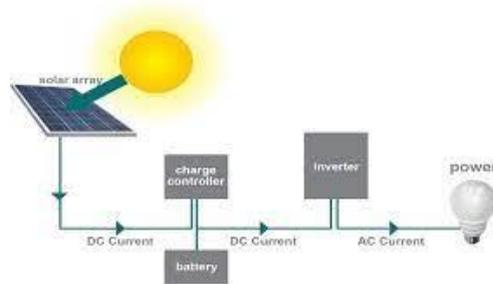
**Gambar 5. Sensor MQ-7**

(Sumber: Prayoga et al., 2020)

## 6. Panel Surya (*Photovoltaic*)

Panel surya atau *solar cell* adalah perangkat yang dapat mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dengan efek *photovoltaic*. Sel surya tersusun dari dua lapisan semikonduktor (umumnya silikon) yang berbeda muatan (Roza & Mujirudin, 2019). Secara konsep, panel surya digunakan sebagai sumber energi listrik cadangan dalam sebuah sistem, tetapi tidak digunakan sebagai sumber energi utama. Oleh karena itu, dalam penerapannya terdapat beberapa komponen pendukung, yaitu *battery*, *charger controller*, dan

*inverter* (Windarta et al., 2019). Berikut ini merupakan gambaran konsep dari penerapan panel surya.



**Gambar 6. Konsep Dasar Panel Surya**

(Sumber: [05.2 bab 2.pdf \(uii.ac.id\)](#))

#### 7. *Real Time Clock* (RTC) DS3231

*Real Time Clock* (RTC) merupakan sebuah sistem pengingat untuk tanggal dan waktu. Cara kerja dari modul RTC ini menggunakan baterai sebagai penggunaan *power*. *Real Time Clock* (RTC) merupakan *chip* IC yang mempunyai fungsi menghitung waktu yang dimulai dari detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, hingga tahun dengan akurat (Haryanto & Fauziyyah, 2021).



**Gambar 7. Modul RTC DS3231**

(Sumber: <https://roboromania.ro/wp-content/uploads/2016/12/Modul-I2C-DS3231-RTC-AT24C32-roboromania.jpg>)

#### 8. *Liquid Crystal Display* (LCD) 20x4

*Liquid Crystal Display* (LCD) merupakan komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf, ataupun grafik. *Liquid Crystal Display* (LCD) salah satu jenis *display* elektronik yang dibuat

dengan teknologi CMOS *logic* yang bekerja dengan tidak menghasilkan cahaya tetapi memantulkan cahaya yang ada di sekelilingnya terhadap *front-lit* atau mentransmisikan cahaya dari *back-lit* (Suhadi et al., 2019).

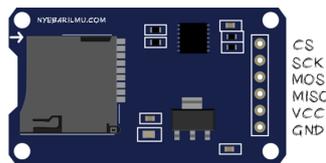


**Gambar 8. Liquid Crystal Display (LCD)**

(Sumber: <https://www.inventelectronics.com/wp-content/uploads/2015/01/lcd3.png>)

#### 9. Modul MicroSD

Modul microSD merupakan modul untuk mengakses *memory card* yang bertipe microSD untuk pembacaan maupun penulisan data dengan sistem antarmuka *Serial Parallel Interface* (SPI). Modul ini cocok untuk berbagai aplikasi yang membutuhkan media penyimpan data, seperti absensi, sistem antrian, maupun sistem aplikasi data *logging* lainnya (Anjasmara et al., 2019)



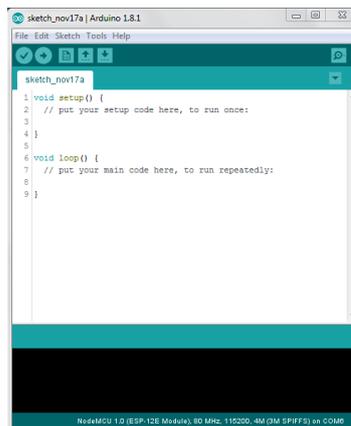
**Gambar 9. Modul MicroSD**

(Sumber: <https://www.nyebarilmu.com/>)

#### 10. Arduino *Integrated Development Environment* (IDE)

Arduino IDE merupakan editor lengkap digunakan untuk menulis kode program, meng-*compile*, kemudian mengunggah ke mikrokontroler. Arduino terdiri dari editor teks untuk menulis kode, area pesan, *console* teks, *toolbar* dengan tombol-tombol untuk fungsi umum dan sederetan menu lainnya

(Abdullah & Wibowo, 2014). *Integrated Development Environment (IDE)* adalah sebuah *software* yang sangat berperan untuk menulis program, meng-*compile* menjadi biner dan meng-*upload* ke dalam memori mikrokontroler (Abdul, 2013 dalam (Budi & Pramudya, 2017)).



**Gambar 10. Tampilan Halaman Kerja Arduino IDE**  
(Sumber: Arduino, 2019)

## 11. ThingSpeak

ThingSpeak merupakan platform yang bisa digunakan untuk mengambil dan menyimpan data dari sensor ke dalam *cloud* dan mengembangkan aplikasi IoT tersebut (Budi & Pramudya, 2017). ThingSpeak dapat menampilkan hasil deteksi sensor secara *real-time* dalam bentuk grafik (Waworundeng & Lengkong, 2018).



**Gambar 11. Tampilan Visualisasi Data pada ThingSpeak**

(Sumber: <https://smarthon-docs-en.readthedocs.io/>)