

## **BAB II**

### **DASAR TEORI**

#### **2.1 *State of The Art***

Pada penelitian yang akan dikembangkan terkait rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis teknologi *Wireless sensor network* dengan menggunakan model topologi yaitu star, yang bertujuan untuk merancang sebuah sistem yang solutif dan inovatif terkait sistem pemantauan kualitas udara yang efisien karena menggunakan metode WSN sehingga tiap sudut area pemantauan dapat dipantau secara maksimal.

Dalam merancang sistem pemantauan kualitas udara tersebut maka perlu mempertimbangkan beberapa faktor yang dapat mempengaruhi perancangan sistem serta pembeda antara penelitian yang saat ini dilakukan dengan penelitian lain yang pernah dilakukan. Faktor dan informasi tersebut dapat dicari melalui penelitian terdahulu terkait sistem pemantauan kualitas udara. Faktor dan informasi tersebut dirangkum pada tabel 2.1 yaitu perbandingan yang mencakup beberapa variabel kunci yang menjadi fokus perbandingan, antara lain:

1. Teknologi sistem pemantauan kualitas udara menggunakan metode WSN berbasis topologi star yang meliputi modul komunikasi yang digunakan serta topologi dan metode komunikasi yang digunakan dalam penelitian terdahulu.
2. Sistem monitoring yang digunakan mencakup teknologi monitoring berbasis aplikasi, website, atau menggunakan HMI.
3. Perangkat sensor yang digunakan, mencakup jenis sensor seperti MQ135, MQ9 dan sensor lain yang berpengaruh dalam pemantauan kualitas udara.
4. Mikrokontroler yang digunakan. Mikrokontroler seperti Arduino, Raspberry Pi, atau ESP32 digunakan untuk mengendalikan modul serta metode komunikasi yang dirancang. Pemilihan mikrokontroler didasarkan pada kebutuhan sistem dan kemampuan pengendalian yang diperlukan. Analisis mikrokontroler sebelumnya membantu dalam memilih perangkat yang sesuai dengan kebutuhan aplikasi.

**Tabel 2.1** *State of The Art*

<b>Peneliti</b>	<b>Sensor</b>	<b>Sistem dan Toplogi WSN</b>	<b>Kajian Mikrokontroler dan Modul Komunikasi</b>	<b>Sistem Monitoring yang digunakan</b>
Subagiyo, dkk., 2020 [5]	MQ-7, MQ-131, MQ-135, MQ-136, GP2Y1010AU0F	Metode node sensor direct access	Arduino + ESP8288 (WiFi direct)	Website
Prihatini, dkk., 2022 [11]	TGS2620, HCSR04 SHT11, TGS2600,	Tanpa teknologi WSN	Arduino Mega + Bluetooth HC-05	Aplikasi android
Munabbih, dkk., 2020 [12]	TGS2201 GP2Y1010AU0F	Berbasis WSN namun tidak disebutkan jenis topologi yang digunakan	Arduino Uno + Lora Shield	Website
Prakoso, dkk., 2022 [13]	MQ-135 dan MQ-9	Tanpa teknologi WSN hanya sistem monitoring IoT	Wemos D1 Mini	Aplikasi android (WiFi direct)
Arya, dkk., 2018 [14]	GP2Y1010AU0F MQ-131	Berbasis WSN topologi start	Arduino Uno + LoRa SX1278 dan Raspberry Pi	Website

Berdasarkan dari analisa state of the art pada tabel 2.1 untuk penelitian terdahulu, dapat diketahui beberapa kekurangan dari penelitian yang pernah dilakukan sehingga dapat disempurnakan lagi. Beberapa kekurangan tersebut antarlain sebagai berikut.

1. Beberapa penelitian masih belum menggunakan teknologi WSN sehingga komunikasi yang digunakan menggunakan metode direct access langsung dari node sensor ke server.
2. Terdapat penelitian terdahulu menggunakan teknologi WSN namun tanpa mengimplementasikan topologi yang digunakan, sehingga dapat memicu tabrakan atau collision karena tidak ada topologi atau protokol yang digunakan untuk berkomunikasi antara node sensor dan sink node.
3. Terdapat beberapa penelitian yang menggunakan berbagai macam sensor, yang mana dapat membedakan antara penelitian yang akan dilakukan dengan penelitian terdahulu. Dari penelitian terdahulu dapat diambil kesimpulan sensor yang cocok digunakan untuk deteksi kualitas udara.
4. Spesifikasi yang berbeda pada mikrokontroler dan modul komunikasi sering kali membuat sulitnya integrasi dan standarisasi sistem. Perlu memilih mikrokontroler dan modul komunikasi yang memiliki dukungan komunitas yang kuat, dokumentasi yang baik, dan kompatibilitas tinggi dengan berbagai jenis sensor dan perangkat lain. Sebaiknya, pilih perangkat yang sudah banyak digunakan dalam aplikasi serupa, seperti ESP32 untuk WiFi atau LoRa modules untuk komunikasi jarak jauh.

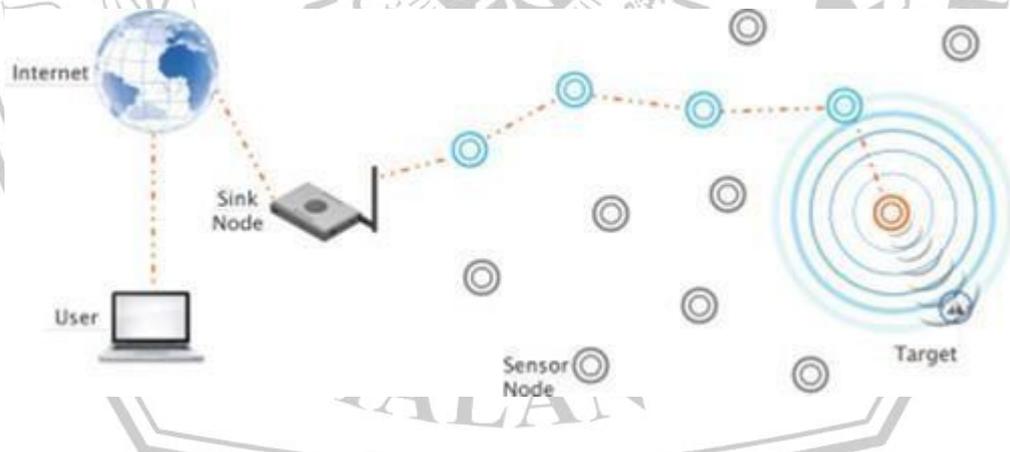
Dengan mengidentifikasi pada penelitian terdahulu, penelitian ini diharapkan sebagai langkah signifikan dalam pengembangan solusi sistem pemantauan kualitas udara, terutama dalam konteks integrasi sensor dan analisis data yang lebih efisien. Melalui pengidentifikasian dan pemahaman terhadap kekurangan dalam penelitian terdahulu, penelitian saat ini diharapkan dapat membawa kemajuan signifikan dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara. Integrasi teknologi IoT dan pengolahan data berbasis website tidak hanya akan memperluas kemampuan pengawasan dan respons terhadap fluktuasi kualitas udara, tetapi juga memperkenalkan kemampuan adaptasi dan personalisasi yang belum pernah ada sebelumnya dalam sistem pemantauan

kualitas udara.

## 2.2 *Wireless Sensor Network (WSN)*

Dalam konteks pengembangan dan penerapan teknologi *Wireless Sensor Networks (WSN)*, node sensor yang terintegrasi dalam suatu jaringan mampu melakukan pemantauan dan pengontrolan kondisi lingkungan secara real-time. WSN memfasilitasi interaksi antara perangkat sensor dan sistem pengendali, baik itu manusia atau komputer, untuk mengelola berbagai aspek lingkungan yang dipantau[15].

Lebih lanjut, aplikasi dari WSN dapat dibagi menjadi dua kategori utama: pemantauan dan pelacakan. Pemantauan melibatkan deteksi dan analisis perubahan yang terjadi dalam waktu tertentu dan mencakup berbagai aplikasi seperti pemantauan lingkungan, kesehatan, energi, inventaris, serta aplikasi industri dan struktural. Sementara itu, pelacakan fokus pada lokalitas dan pergerakan objek, termasuk manusia, benda, hewan, dan kendaraan, menggunakan berbagai tipe sensor seperti seismik, magnetik, termal, visual, inframerah, akustik, dan radar [16]. Untuk konsep jaringan WSN secara umum dapat dilihat pada gambar 2.1.



**Gambar 2.1** Konsep WSN secara umum

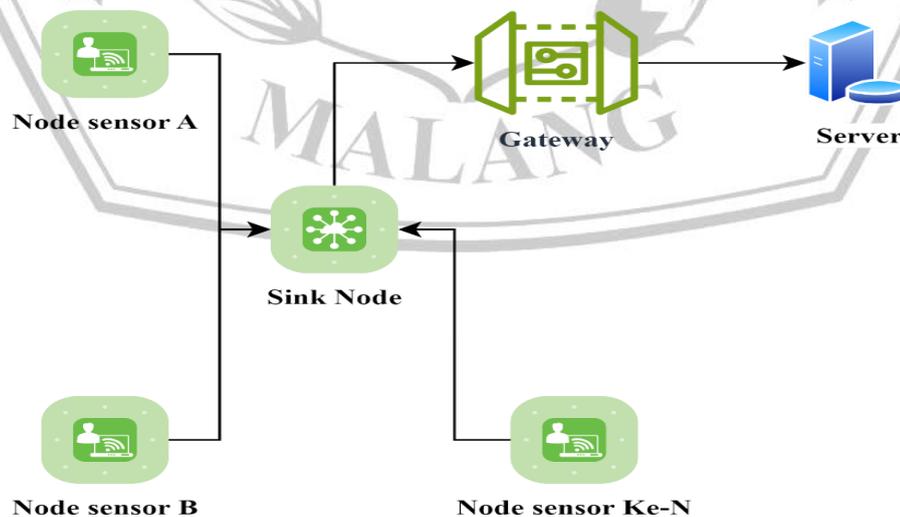
**Sumber :** (sis.binus.ac.id)

Dalam konteks pemantauan kualitas udara, penggunaan *Wireless Sensor Networks (WSN)* memberikan kesempatan untuk transisi dari metode pemantauan konvensional ke sistem yang lebih modern dan efisien. WSN

memanfaatkan jaringan sensor terdistribusi untuk mengumpulkan data penting tentang kualitas udara seperti tingkat polutan, kelembapan, suhu, dan partikel di udara, kemudian mengirimkan informasi ini melalui jaringan nirkabel. Dengan integrasi WSN diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan keakuratan dalam pemantauan kualitas udara, memberikan data real-time untuk lingkungan dan kesehatan publik.

### 2.3 Topologi Star Pada Jaringan WSN

Topologi jaringan adalah susunan atau desain interkoneksi antara node satu dengan node yang lain dalam suatu jaringan, yang dapat diatur baik secara fisik maupun virtual[17]. Dalam konteks *Wireless Sensor Networks* (WSN), topologi jaringan memainkan peranan krusial untuk mendukung komunikasi dan pertukaran data yang efisien antar node. Salah satu topologi yang umum digunakan dalam WSN adalah topologi star. Dalam topologi ini, semua node sensor terhubung langsung ke sebuah sink node, yang berfungsi sebagai pusat kontrol jaringan. Sink node ini mengatur lalu lintas data dan bertanggung jawab untuk mengumpulkan informasi dari node-node sensor serta meneruskannya ke sistem pengolahan data atau server. Dengan demikian, sink node dalam topologi star memegang peran penting dalam menjaga efisiensi dan stabilitas komunikasi dalam jaringan WSN[18]. Gambar 2.2 dalam literatur terkait menunjukkan desain dari topologi star, di mana sink node bertindak sebagai pusat yang menghubungkan setiap node atau workstation dalam satu jaringan, memfasilitasi komunikasi langsung dan terpusat.



## Gambar 2.2 Desain topologi star

Topologi star, yang banyak digunakan dalam berbagai implementasi jaringan saat ini, menawarkan beberapa kelebihan signifikan seperti kemudahan dalam troubleshooting, penambahan node baru, serta efisiensi lalu lintas data yang minim terjadinya tabrakan. Namun, topologi ini juga memiliki kelemahan utama: jika hub atau switch mengalami kerusakan, seluruh jaringan dapat mengalami gangguan total[19].

Pada dasarnya, setiap topologi jaringan memiliki kelebihan dan kekurangan yang spesifik. Sebagai contoh, jika dibandingkan dengan topologi tree, topologi star memungkinkan pengembangan jaringan dan penambahan pengguna baru yang lebih mudah. Meskipun topologi tree menawarkan jalur komunikasi yang lebih beragam, topologi ini cenderung lebih sulit dikembangkan karena karakteristik struktural yang lebih kompleks. Berikut adalah komparatif yang membandingkan kelebihan dan kekurangan dari beberapa topologi yang sering digunakan, berdasarkan analisis Wijaya.

Topologi Star dikenal dengan keamanan yang cukup baik dan kemudahan dalam instalasi serta pengembangannya, membuatnya ideal untuk lingkungan yang memerlukan setup yang sederhana dan efisien. Kelebihan ini didukung oleh routing yang tidak terlalu rumit dan kemudahan dalam melakukan troubleshooting. Namun, topologi ini memiliki kelemahan signifikan; jika switch atau hub mengalami kerusakan, seluruh jaringan akan mengalami kegagalan. Kekurangan lain termasuk biaya instalasi yang tinggi dan borosnya penggunaan kabel, terutama ketika banyak client terhubung yang dapat memperlambat trafik jaringan.

Sementara itu, Topologi Ring menawarkan keunggulan dalam kesederhanaan pengaturan dan biaya instalasi yang rendah. Semua client dianggap sama, memfasilitasi manajemen data yang lebih mudah. Namun, topologi ini memiliki risiko keamanan yang rendah dan masalah ketika ada koneksi yang terputus, mengakibatkan seluruh jaringan bisa saja mati. Selain itu, jaringan ini sulit untuk dikembangkan atau menambah pengguna baru.

Topologi Tree, di sisi lain, memungkinkan penghubungan antara berbagai

topologi yang berbeda, menawarkan keamanan yang lebih handal dan fleksibilitas saat menambah pengguna baru. Ini membuatnya cocok untuk jaringan besar yang kompleks. Akan tetapi, topologi ini memerlukan proses instalasi yang rumit dan biaya yang tinggi, serta kesulitan dalam troubleshooting karena melibatkan banyak topologi. Kecepatan jaringan juga cenderung lambat dengan banyaknya pengguna yang terhubung.

#### **2.4 Sensor Pada Sistem Pemantau Kualitas Udara**

Dalam sebuah sistem pemantauan kualitas udara, sensor merupakan salah satu bagian yang paling krusial. Sensor memegang peranan penting dalam melakukan sensing kondisi lingkungan khususnya pada lingkungan pemantauan. Dalam praktiknya beberapa sensor yang sering digunakan pada sistem pemantau kualitas udara antara lain MQ-135, MQ-9, dan sensor DHT22. Setiap sensor tersebut mewakili pembacaan molekul udara yang berbeda pula. Seperti halnya pada sensor MQ-9. Sensor MQ-9 adalah sensor gas yang sering digunakan untuk mendeteksi konsentrasi karbon monoksida (CO) dan gas-gas yang mudah terbakar di udara[20]. Sensor ini menjadi pilihan populer dalam aplikasi-aplikasi yang berkaitan dengan keamanan dan pemantauan lingkungan karena kemampuannya yang cukup akurat dan responsif dalam mendeteksi gas yang berbahaya. Gambar 2.3 merupakan bentuk fisik pada sensor MQ-9.



**Gambar 2.3** Bentuk fisik sensor MQ-9

Sensor MQ-9 bekerja berdasarkan prinsip chemiresistive, di mana resistansi sensor berubah sebagai respon terhadap konsentrasi gas tertentu[21]. Sensor ini memiliki lapisan material semikonduktor yang sensitif terhadap gas.

Saat gas yang dideteksi hadir di sekitar sensor, material semikonduktor akan bereaksi dan menyebabkan perubahan resistansi listrik. Biasanya, sensor MQ-9 dapat mendeteksi CO pada kisaran 10 hingga 1000 ppm dan gas yang mudah terbakar pada kisaran 100 hingga 10000 ppm. MQ-9 sangat sensitif terhadap CO dan gas yang mudah terbakar seperti metana ( $\text{CH}_4$ ) dan LPG. Ini membuatnya sangat berguna dalam aplikasi deteksi kebocoran gas dan sistem pemantau kondisi lingkungan.

Selain itu dalam molokul udara umumnya juga terdapat gas karbon dioksida atau  $\text{CO}_2$ . Biasanya dalam sistem pemantauan kualitas udara, sensor yang digunakan adalah MQ-135. Sensor MQ-135 adalah sensor yang dirancang untuk mendeteksi berbagai gas berbahaya dan senyawa organik yang dapat mempengaruhi kualitas udara. Sensor ini banyak digunakan dalam aplikasi pemantauan kualitas udara karena kepekaannya terhadap gas seperti amonia ( $\text{NH}_3$ ), oksida nitrogen ( $\text{NO}_x$ ), alkohol, aseton, toluene, dan karbon dioksida ( $\text{CO}_2$ )[22]. Gambar 2.4 merupakan bentuk fisik dari sensor MQ-135.



**Gambar 2.4** Bentuk fisik sensor MQ-135

Sensor MQ-135 beroperasi berdasarkan prinsip chemiresistance, di mana lapisan material semikonduktor yang sensitif terhadap gas tertentu akan mengubah resistansi elektrisnya ketika terpapar gas tersebut[21]. Sensor ini dilengkapi denganelemen pemanas yang mengatur suhu material semikonduktor, memungkinkan reaksi kimia yang menghasilkan perubahan resistansi. Sensor MQ-135 dapat mendeteksi berbagai gas berbahaya dan polutan dengan kisaran konsentrasi yang berbeda-beda, untuk karbon dioksida sendiri sensor MQ-135

mampu membaca pada kisaran 100 ppm hingga 2000 ppm.

Selain itu suhu dan kelembapan juga salah satu faktor yang menentukan seberapa baik kualitas udara dalam lingkungan. Oleh karena itu, penggunaan sensor seperti DHT22 sangat penting dalam sistem pemantauan kualitas udara. Sensor ini dapat membantu mengidentifikasi kondisi yang mungkin mempengaruhi konsentrasi polutan di udara atau memperburuk kualitas udara, seperti kondisi kelembapan tinggi yang dapat meningkatkan pertumbuhan jamur dan bakteri. Gambar 2.5 menunjukkan bentuk fisik sensor DHT22.



**Gambar 2.5** Bentuk fisik sensor DHT22

DHT22 menggunakan sensor kapasitif untuk mengukur kelembapan, dan termistor untuk mengukur suhu[23]. Sensor ini menyediakan output data digital yang langsung dapat diproses oleh mikrokontroler atau sistem pemrosesan lainnya. DHT22 dengan kemampuannya mengukur kelembapan dari 0% hingga 100% RH dan suhu dari -40 hingga 80°C, memberikan informasi penting yang dapat digunakan untuk mengontrol sistem HVAC (Heating, Ventilation, and Air Conditioning), mengoptimalkan penggunaan dehumidifier dan humidifier, dan memastikan bahwa kondisi lingkungan tetap dalam batas yang ideal untuk kenyamanan dan kesehatan.

Sistem pemantauan kualitas udara yang efektif sangat bergantung pada penggunaan berbagai jenis sensor yang masing-masing memiliki peran spesifik dalam mendeteksi dan memonitor kondisi lingkungan. Sensor MQ-9 dan MQ-135 adalah kritis dalam mendeteksi berbagai gas berbahaya dan polutan,

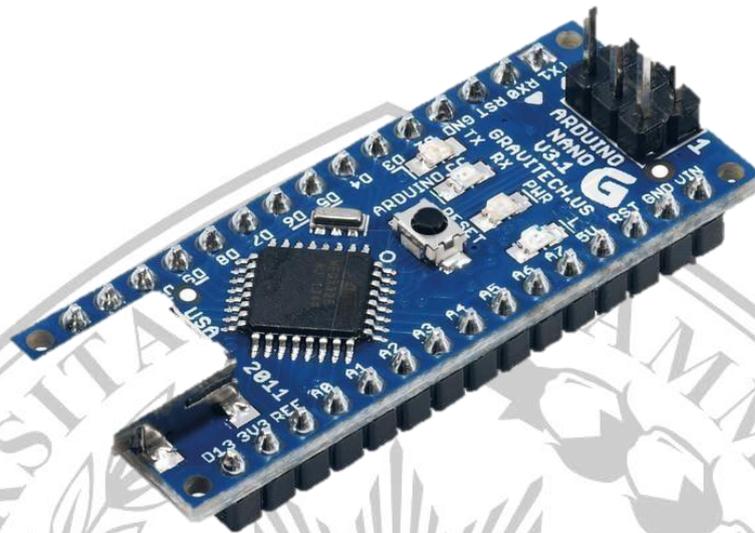
sementara sensor DHT22 menyediakan data penting tentang suhu dan kelembapan yang juga berpengaruh besar terhadap kualitas udara. Kombinasi data dari ketiga sensor ini memungkinkan untuk pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam mengelola kualitas udara dalam lingkungan dan mengontrol faktor-faktor lingkungan lainnya yang dapat mempengaruhi kesehatan dan kenyamanan dalam ruangan. Dengan demikian, integrasi antar sensor ini dalam sistem pemantauan menyediakan pandangan yang holistik dan mendetail tentang kondisi udara, memastikan bahwa lingkungan tetap aman dan nyaman bagi penghuninya.

## **2.5 Mikrokontroler Pada Sistem Pemantau Kualitas Udara**

Mikrokontroler, sebagai pusat pengendalian dan pengolahan data dalam sistem, memegang peranan krusial dalam mengintegrasikan input dari sensor-sensor maupun aktuator. Mikrokontroler adalah perangkat semikonduktor yang menggabungkan komponen-komponen penting dari sebuah komputer seperti unit pemrosesan pusat (CPU), memori (ROM, RAM), dan perangkat input/output (I/O) dalam satu chip terintegrasi. Mikrokontroler dirancang untuk mengoperasikan perangkat lunak tertanam (embedded software) yang memungkinkan mereka menjalankan tugas-tugas khusus dalam perangkat elektronik.

Dalam sistem pemantauan kualitas udara, pemilihan mikrokontroler tentu sangat penting karena mengingat tugasnya yang vital sebagai otak dari seluruh operasi monitoring. Beberapa mikrokontroler yang umum digunakan dalam sebuah sistem terbenam antara lain adalah Arduino Nano dan ESP32.

Arduino Nano adalah salah satu varian papan mikrokontroler yang dikembangkan oleh Arduino, dan merupakan versi yang lebih kecil dan lebih ringkas dari Arduino Uno[24]. Arduino Nano dirancang untuk digunakan dalam proyek-proyek yang memerlukan ukuran yang kompak dan mudah ditanamkan dalam berbagai aplikasi, membuatnya ideal untuk prototyping perangkat yang memerlukan form factor kecil. Gambar 2.6 menunjukkan bentuk papan mikrokontroler Arduino Nano.



**Gambar 2.6** Bentuk papan mikrokontroler Arduino Nano

Arduino Nano dirancang dengan ukuran yang kecil, sekitar 18 mm x 45 mm, yang menjadikannya pilihan yang cocok untuk proyek-proyek yang membutuhkan ukuran yang minimalis. Meskipun ukurannya kecil, Arduino Nano memiliki fungsionalitas yang setara dengan Arduino Uno, menjadikannya sangat efektif untuk pengembangan elektronik. Arduino Nano menggunakan chip ATmega328, yang sama dengan yang digunakan pada Arduino Uno. Chip ini memiliki 32 KB memori flash (dengan 2 KB digunakan untuk bootloader), 2 KB SRAM, dan 1 KB EEPROM.

Terdapat 14 pin input/output digital, di mana 6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM (Pulse Width Modulation). Terdapat 8 pin analog input yang memungkinkan pengumpulan data dari berbagai sensor analog. Arduino Nano mendukung komunikasi serial melalui pin RX dan TX, dan juga memiliki dukungan untuk I2C dan SPI, yang memungkinkan komunikasi dengan berbagai perangkat dan sensor tambahan.

Pemrograman Arduino Nano dilakukan melalui koneksi mini-USB yang juga menyediakan daya untuk papan. Nano kompatibel dengan Arduino IDE,

yang memudahkan pengkodean dan pengunggahan sketsa. Arduino Nano dapat dioperasikan dengan daya dari koneksi USB atau sumber eksternal 6-20V melalui pin Vin, yang diatur turun menjadi 5V atau 3.3V (tergantung pada model) melalui regulator onboard.

Kelebihan utama Arduino Nano adalah ukurannya yang kompak dan kemudahannya dalam penggunaan dan pemrograman yang mirip dengan Arduino Uno. Namun, keterbatasan daya dan kemampuan pemrosesan dapat menjadi pertimbangan ketika berhadapan dengan aplikasi yang memerlukan banyak sumberdaya atau pemrosesan data yang intensif.

Selain Arduino Nano mikrokontroler yang umum digunakan dalam sistem IoT maupun WSN adalah ESP32 yang merupakan sebuah mikrokontroler yang dikembangkan oleh Espressif Systems, ESP32 merupakan penerus dari ESP8266 yang sudah sukses sebelumnya, menawarkan lebih banyak fitur dan kemampuan yang lebih besar[25]. Gambar 2.7 merupakan bentuk papan mikrokontroler ESP32.



**Gambar 2.7** Bentuk papan mikrokontroler ESP32

ESP32 dilengkapi dengan prosesor dual-core Tensilica Xtensa LX6 yang dapat berjalan hingga 240 MHz. Ini memberikan daya pemrosesan yang cukup untuk aplikasi yang membutuhkan tugas pemrosesan intensif[26]. Salah satu keunggulan utama ESP32 adalah kemampuannya dalam konektivitas nirkabel.

Chip ini mendukung WiFi 802.11 b/g/n dan Bluetooth v4.2 BR/EDR serta BLE (Bluetooth Low Energy), yang memungkinkannya terhubung ke internet dan berkomunikasi dengan perangkat lain dengan mudah.

ESP32 menyediakan hingga 36 pin GPIO (General Purpose Input/Output) yang dapat diatur sebagai input atau output untuk berbagai keperluan, seperti mengendalikan LED, membaca tombol, atau berinteraksi dengan sensor dan aktuator lainnya. ESP32 juga dilengkapi dengan berbagai fitur terintegrasi lainnya, termasuk ADC (Analog to Digital Converter), DAC (Digital to Analog Converter), kapabilitas touch sensor, pengukuran suhu, dan banyak lagi.

ESP32 dapat diprogram menggunakan berbagai alat dan bahasa, termasuk Arduino IDE, Espressif IoT Development Framework (ESP-IDF), dan bahkan menggunakan MicroPython atau JavaScript (melalui NodeMCU). Dukungan untuk berbagai bahasa pemrograman dan lingkungan pengembangan memudahkan para pengembang dari berbagai latar belakang untuk menggunakan ESP32 dalam proyek mereka.

## **2.6 Modul Komunikasi *Wireless* NRF24L01 + PA/LNA**

Modul NRF24L01+ PA/LNA adalah versi yang ditingkatkan dari modul transceiver NRF24L01 standar, yang terkenal digunakan untuk komunikasi nirkabel pada frekuensi 2.4 GHz. Modul ini dirancang untuk aplikasi yang membutuhkan jangkauan transmisi yang lebih jauh dan output daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan versi standar. NRF24L01+ PA/LNA mengintegrasikan Power Amplifier (PA) dan Low Noise Amplifier (LNA) untuk mencapai tujuan ini. Berikut adalah bentuk dari modul NRF24L01 + PA/LNA.



**Gambar 2.8** Modul NRF24L01 + PA/LNA

Modul ini beroperasi di frekuensi 2.4 GHz, yang merupakan standar untuk banyak perangkat nirkabel, termasuk Bluetooth dan WiFi, namun bekerja pada kanal yang terpisah, sehingga menghindari gangguan langsung[27]. Selain itu integrasi PA (Power Amplifier) memungkinkan modul ini mengirimkan sinyal dengan kekuatan yang lebih besar, sehingga meningkatkan jarak jangkauan transmisi. LNA (Low Noise Amplifier) membantu meningkatkan sensitivitas penerimaan, yang penting untuk memperjelas sinyal yang diterima dari jarak jauh. Modul NRF24L01 menggunakan antarmuka SPI untuk komunikasi dengan mikrokontroler, yang mendukung laju data hingga 10 Mbps. Namun laju data dapat diatur dan mendukung beberapa laju data, yaitu 250 kbps, 1 Mbps, dan 2 Mbps. Hal ini memberikan fleksibilitas dalam mengelola trade-off antara jarak jangkauan dan kecepatan transmisi. Selain itu Dengan PA dan LNA, modul dapat mencapai jangkauan hingga 1000 meter dalam kondisi ideal dengan visibilitas langsung dan sedikit hambatan.

