

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Long Range (LoRa)

LoRa atau *Long Range Access* adalah salah satu teknologi komunikasi nirkabel yang saat ini banyak digunakan dalam aplikasi *wireless sensor network*. Sebagai salah satu teknologi dari LPWAN (*Low Power Wide Access Network*), LoRa beroperasi pada pita frekuensi tidak berlisensi (2.4 GHz, 868/915 MHz, 433 MHz, dan 169 MHz) [18]. LoRa merupakan modul telekomunikasi *wireless* berdaya rendah, yang diperkenalkan oleh Semtech pada tahun 2013.

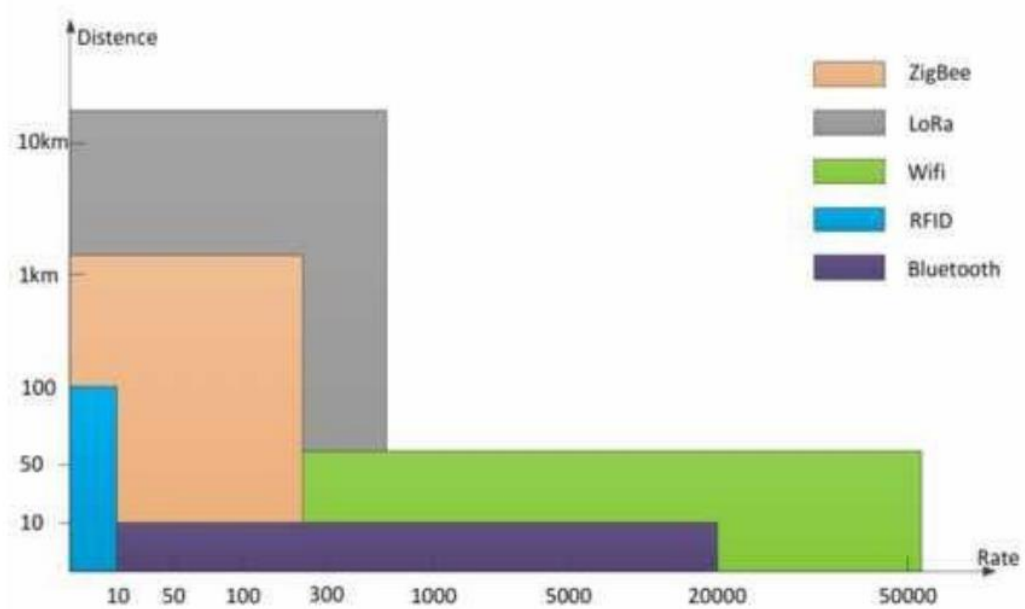
Karakteristik lain dari LoRa adalah daya pancar yang dapat mencakup area relatif luas, terutama di lingkungan perkotaan yang kompleks. Berbagai fitur LoRa membuatnya ideal untuk pekerjaan berskala besar dan komersialisai dengan biaya minimum. Sebelum munculnya teknologi LoRa, ada beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang sering digunakan, antara lain adalah *Bluetooth*, RFID, *Wifi*, dan *ZigBee*. Tabel 2.1 menunjukkan perbandingan dari beberapa teknologi komunikasi nirkabel yang digunakan secara komersial.

Tabel 2. 1 Perbandingan Parameter Teknologi Komunikasi

No.	Teknologi	Jarak	Max. Rate	Konsumsi Daya
1.	<i>Bluetooth</i>	10 m	2 MB/s	<i>Low</i>
2.	<i>WiFi</i>	0 -60 m	54 MB/s	<i>High</i>
3.	RFID	0 – 100 m	10 KB/s	<i>Low</i>
4.	Zigbee	0 – 1500 m	250 KB/s	<i>Low</i>
5.	LoRa	0 – 15 km	600 KB/s	<i>Low</i>

Dari tabel 2.1 dapat dilihat bahwa teknologi komunikasi menggunakan LoRa memiliki jarak jangkauan yang cukup jauh dibanding dengan teknologi komunikasi yang lain dan mempunyai konsumsi daya yang rendah. Akan tetapi pada teknologi LoRa memiliki kekurangan yaitu nilai *maximum rate* masih jauh

dibanding dengan teknologi WiFi. Pada teknologi komunikasi nirkabel memiliki tingkat transmisi dan jangkauan transmisi yang berbeda, perbandingan kecepatan dan jarak jangkauan komunikasi nirkabel dibandingkan sebagai berikut :



Gambar 2. 1 Perbandingan Kecepatan Transmisi dan Jarak Jangkau

Dapat dilihat pada gambar 2.1 bahwa semakin tinggi tingkat transmisi data, semakin jauh jarak komunikasi, dan semakin besar konsumsi daya. Namun, pada teknologi LoRa tidak hanya mencapai komunikasi jarak jauh, tetapi juga membutuhkan konsumsi daya yang rendah, sehingga sangat cocok untuk jaringan berskala besar.

2.2 *Wireless Sensor Network* (WSN)

2.2.1 Pengertian dan Perkembangan WSN

Wireless Sensor Network (WSN) adalah jaringan nirkabel yang terdiri dari beberapa sensor dan memiliki kemampuan untuk mendeteksi keadaan lingkungan. Secara umum WSN terdiri dari dua komponen, yaitu sensor node dan *sink*. Sensor node merupakan kesatuan beberapa perangkat yang terdiri dari prosesor untuk pemrosesan data, memori untuk menyimpan data, sensor untuk pendeteksi kejadian, ADC (*Analog to Digital Conversion*) untuk mengkonversi pembacaan dari analog ke digital, *tranceiver* sebagai pengirim dan penerima sinyal

radio dari dan kepada node yang lain, dan baterai sebagai sumber energi [19]. *Sink* merupakan kesatuan perangkat yang mengumpulkan informasi dari sensor node sehingga informasi tersebut dapat diolah lebih lanjut dan didapatkan kondisi lingkungan yang dipantau.

Wireless Sensor Network atau jaringan sensor nirkabel adalah suatu jaringan nirkabel yang terdiri dari kumpulan node sensor yang tersebar di suatu area tertentu (*sensor field*). Tiap node sensor memiliki kemampuan untuk mengumpulkan data dan berkomunikasi dengan node sensor lainnya. Dengan adanya teknologi WSN, kita dapat memonitor dan mengontrol temperatur, kelembaban, kondisi cahaya, level derau, pergerakan suatu objek dan sebagainya. *Wireless Sensor Network* atau disingkat dengan WSN adalah suatu peralatan sistem *embedded* yang didalamnya terdapat satu atau lebih sensor dan dilengkapi dengan peralatan sistem komunikasi.

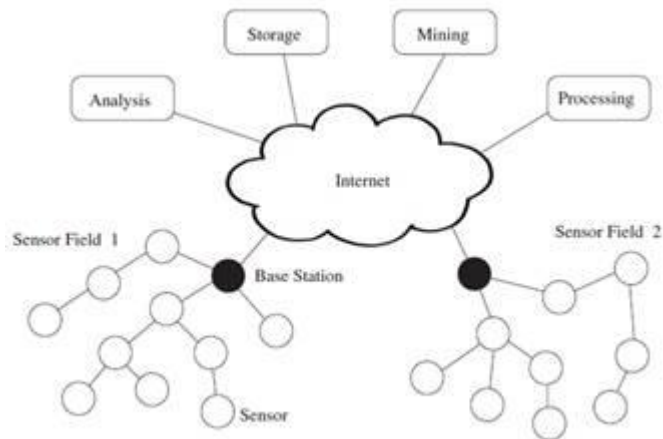
Sensor disini digunakan untuk menangkap informasi sesuai dengan karakteristik. *Wireless Sensor Network* adalah kumpulan sejumlah node yang diatur dalam sebuah jaringan kerjasama. Masing-masing node dalam jaringan sensor nirkabel biasanya dilengkapi dengan *radio tranceiver* atau alat komunikasi *wireless* lainnya, mikrokontroler kecil, dan sumber energi seperti baterai. Banyak aplikasi yang bisa dilakukan menggunakan jaringan sensor nirkabel, misalnya pengumpulan data kondisi lingkungan, *security monitoring*, dan *node tracking scenarios*.

Kemampuan sensor pada WSN secara luas membuat penggunaan WSN untuk melakukan *monitoring* banyak digunakan. WSN dapat digunakan dengan sensor sederhana yang *memonitoring* suatu fenomena sedangkan untuk yang kompleks maka setiap WSN akan mempunyai lebih dari satu sensor sehingga WSN ini akan dapat melakukan banyak *monitoring* suatu fenomena.

2.2.2 Penerapan dan penggunaan WSN

Teknologi WSN banyak memberikan inspirasi dalam penerapan dan penggunaan untuk segala bidang. Beberapa penerapannya contohnya : *Monitoring* lingkungan, *target tracking*, *pipeline* (Air, minyak, gas) *tracking*, *Monitoring* pertanian, *supply chain management*, dan *traffic management*.

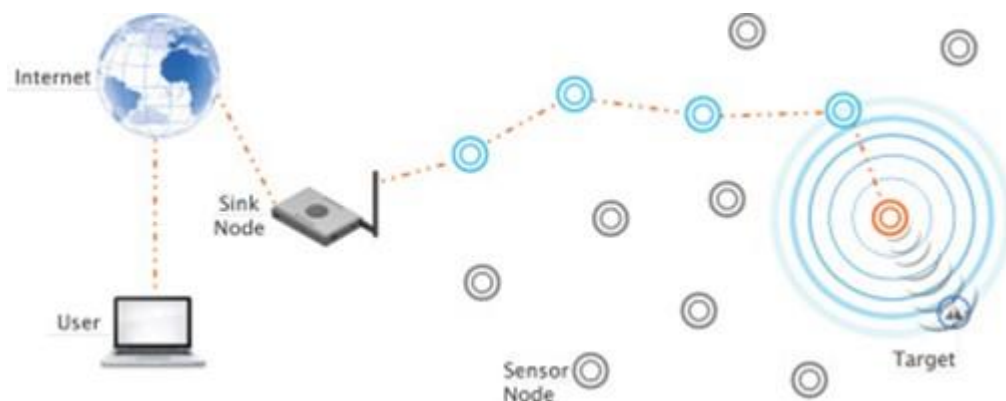
Setiap node WSN akan mengirim data sensor ke suatu *basestation* dan hasil kumpulan data semuanya akan diolah sehingga ini akan memberikan suatu informasi.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Skenario Penggunaan WSN

2.2.3 Arsitektur WSN

Pada WSN, node sensor disebar dengan tujuan untuk menangkap adanya gejala atau fenomena yang hendak diteliti. Jumlah node yang disebar dapat ditentukan sesuai kebutuhan dan tergantung beberapa faktor misalnya luas area, kemampuan *sensing* node, dan sebagainya. Tiap node dalam WSN dapat melakukan pemantauan lingkungan terbuka secara langsung dengan memanfaatkan beberapa macam sensor [20].

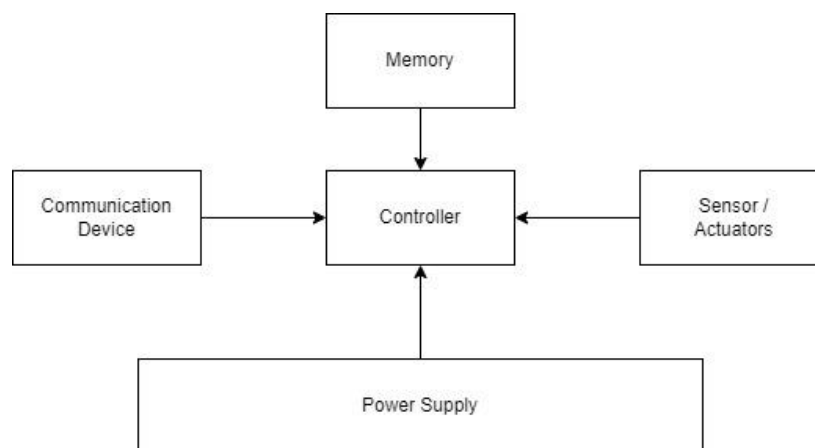


Gambar 2. 3 Arsitektur WSN Secara Umum

Pada Gambar 2.3 dapat dilihat, node sensor yang berukuran kecil tersebar dalam di suatu area sensor. Node sensor tersebut memiliki kemampuan untuk meneruskan data yang dikumpulkan ke node lain yang berdekatan. Data dikirimkan melalui transmisi radio akan diteruskan menuju *basestation* yang merupakan penghubung antara node sensor dan *user*.

2.2.4 Bagian-Bagian WSN

WSN terbagi atas 5 bagian yaitu *communication*, mikrokontroler, *power supply*, memori eksternal, dan sensor seperti pada gambar 2.4. Sistem *processor* merupakan bagian sistem yang terpenting pada WSN yang dapat mempengaruhi *performance* ataupun konsumsi energi.



Gambar 2. 4 Komponen Penyusun Node dalam WSN

- 1) *Communication* berfungsi untuk menerima/mengirim data dengan menggunakan protokol IEEE 802.15.4 atau IEEE 802.11b/g kepada *device* lain seperti *concentrator*, modem Wifi, dan modem RF.
- 2) Mikrokontroler berfungsi untuk melakukan fungsi perhitungan, mengontrol dan memproses *device-device* yang terhubung dengan mikrokontroler.
- 3) *Power Supply* berfungsi sebagai sumber energi bagi sistem *wireless sensor* secara keseluruhan.
- 4) *External Memory* berfungsi sebagai tambahan memori bagi sistem *wireless sensor*, pada dasarnya sebuah unit mikrokontroler memiliki unit memori sendiri.

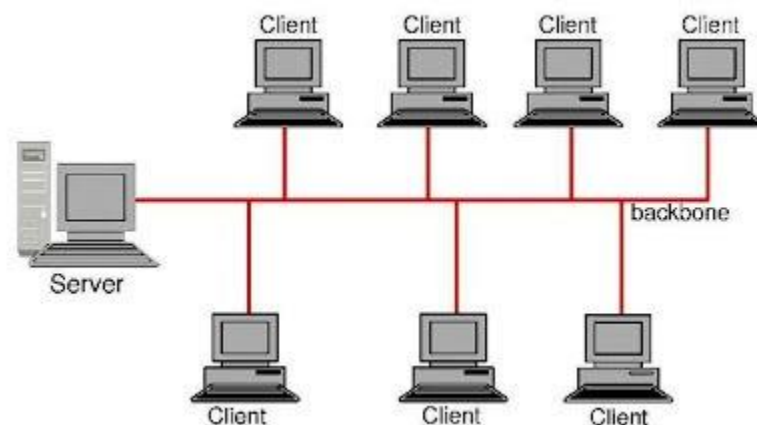
- 5) Sensor berfungsi untuk *sensing* besaran–besaran fisis yang hendak diukur. Sensor adalah suatu alat yang mampu untuk mengubah suatu bentuk energi ke bentuk energi lain, dalam hal ini adalah mengubah dari energi besaran yang diukur menjadi energi listrik yang kemudian diubah oleh ADC menjadi deretan pulsa terkuantisasi yang kemudian bisa dibaca oleh mikrokontroler.

2.3 Topologi Jaringan

Topologi jaringan merupakan sebuah konsep untuk menghubungkan banyak komputer antara satu dengan yang lainnya dengan sebuah node. Topologi jaringan dibagi menjadi beberapa macam yaitu, topologi *bus*, topologi *ring*, topologi *star*, topologi *mesh*, dan topologi *tree*. Berikut Penjelasan dari beberapa topologi jaringan

2.3.1 Topologi Bus

Topologi *bus* yaitu jenis dari topologi di jaringan komputer yang memakai kabel tunggal sebagai media transfernya atau memakai kabel pusat sebagai tempat yang mana seluruh *client* dan *server* terhubung. Pemakaian topologi *bus* di jaringan komputer dimanfaatkan untuk mempermudah sambungan antara *client* dan *server* yang berada dalam satu jaringan agar lebih mudah ketika berbagi data.



Gambar 2. 5 Topologi Bus

Cara kerja dari topologi bus sebenarnya sangat sederhana, yaitu menghubungkan dari *server* lalu dibagi dengan menggunakan sambungan *bus*. *Bus* disini adalah penghubung antar ujung kabel dalam suatu jaringan komputer, jadi

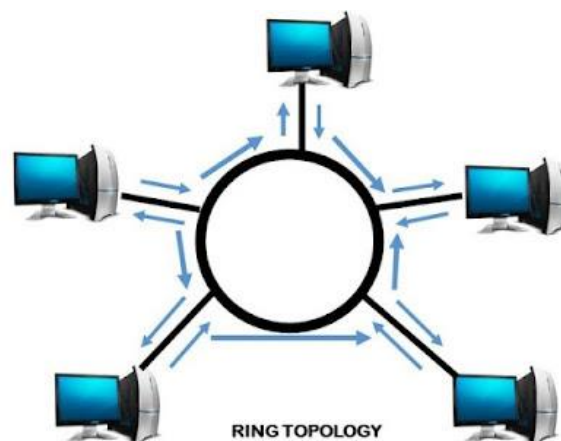
pada tiap sambungan akan mempunyai bus sebagai penghubung atau konektor. Pada ujung atau akhir dari konektor, ditutup dengan sebuah komponen yang disebut dengan terminator.

Karakteristik dari topologi *bus* sebagai berikut :

1. Proses instalasi jaringan bisa dilaksanakan dengan ringan
2. Adanya kabel utama yang fungsinya sebagai pusat lalu lintas data
3. Setiap node akan disambungkan secara serial dan ujung kabel utama akan dipasang terminator untuk menutupnya
4. Biaya yang digunakan untuk membangun topologi bus lebih murah
5. Paket data yang terkirim akan sering mengalami persimpangan dalam satu kabel
6. Membutuhkan konektor BNC, T *connector* di setiap kartu jaringan
7. Sering kali terjadi kepadatan lalu lintas data di kabel utama
8. Jika terjadi kerusakan di salah satu node, maka jaringan akan *down*/lemah.

2.3.2 Topologi Ring

Topologi *ring* merupakan topologi yang alur datanya berbentuk cincin. Topologi ini menghubungkan satu *host* ke *host* setelah dan sebelumnya atau dengan kata lain setiap node terhubung ke node yang selanjutnya. Kemudian node yang terakhir terhubung ke node yang pertama. Jadi dalam topologi tersebut tidak ada awal dan tidak ada akhir dan semua semua komputer bisa mempunyai dua sifat yaitu sebagai *client* dan *server*.



Gambar 2. 6 Topologi Ring

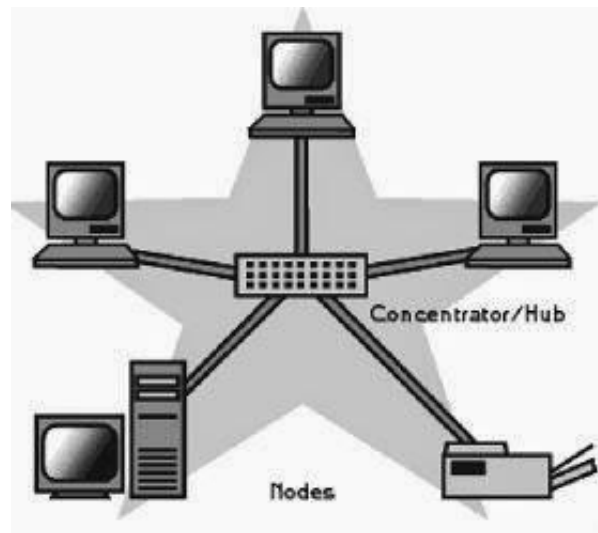
Ketika suatu komputer mengirim data ke komputer yang lain, maka data tersebut akan melewati komputer-komputer sampai komputer tujuan. Jadi setiap data yang dikirim tersebut akan tersentuh oleh komputer yang dilewatinya. Setelah data tersebut sampai, maka komputer penerima tersebut akan mengirim data juga ke komputer pengirim.

Prinsip koneksi topologi *ring* sebagai berikut :

1. Penyelipan data adalah proses dimana data dimasukkan kedalam saluran transmisi oleh terminal pengirim setelah diberi alamat dan bit-bit tambahan lainnya.
2. Penerimaan data adalah proses ketika terminal yang dituju telah mengambil data dari saluran, yaitu dengan cara membandingkan alamat yang ada pada paket data dengan alamat terminal itu sendiri. Apabila alamat tersebut sama maka data kiriman disalin.
3. Pemindahan data adalah proses dimana kiriman data diambil kembali oleh terminal pengirim karena tidak ada terminal yang menerimanya (mungkin akibat salah alamat). Jika data tidak diambil kembali maka data ini akan berputar-putar dalam saluran. Pada jaringan bus hal ini tidak akan terjadi karena kiriman akan diserap oleh “terminator”.
4. Pada hakekatnya setiap terminal dalam jaringan cincin adalah “*repeater*”, dan mampu melakukan ketiga fungsi dari topologi cincin.
5. Sistem yang mengatur bagaimana komunikasi data berlangsung pada jaringan cincin sering disebut *token-ring*.

2.3.3 Topologi Star

Topologi *star* merupakan bentuk topologi jaringan yang berupa konvergensi dari node tengah ke setiap node atau pengguna. Masing- masing *workstation* di hubungkan secara langsung ke *server* atau *hub/Swich*. Intinya topologi ini menggunakan *hub/Swich* untuk menghubungkan dari komputer satu ke komputer yang lain. *Hub/Swich* berfungsi untuk menerima sinyal-sinyal dari komputer dan meneruskan ke semua komputer yang terhubung dengan *Hub/Swich* tersebut. Topologi jaringan *star* termasuk topologi jaringan dengan biaya menengah.



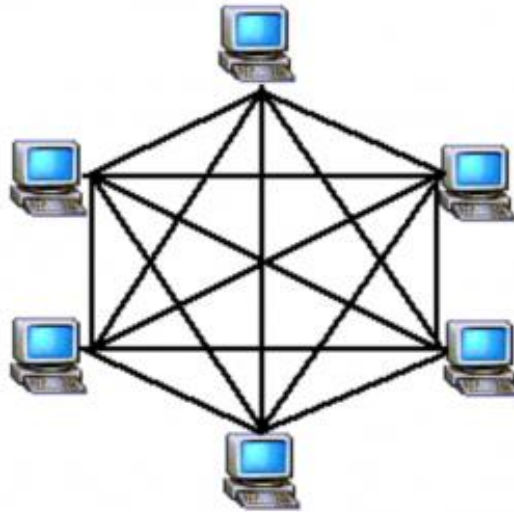
Gambar 2. 7 Topologi Star

Karakteristik topologi *star* sebagai berikut :

1. Setiap node berkomunikasi secara langsung dengan central node. *Traffic* data mengalir dari node ke *central* node dan kembali lagi.
2. Mudah di kembangkan karena setiap node hanya memiliki kabel yang langsung terhubung ke *central* node.
3. Jika terjadi kerusakan pada salah satu node maka hanya pada node tersebut yang terganggu tanpa mengganggu jaringan lain.
4. Dapat di gunakan kabel *lower* karena hanya meng-*handle* satu trafik node dan biasanya menggunakan kabel **UTP**.

2.3.4 Topologi Mesh

Topologi *mesh* merupakan topologi jaringan komputer yang menghubungkan semua komputer secara penuh, topologi ini adalah topologi yang paling kompleks dibanding dengan topologi jaringan lainnya. Topologi jenis ini banyak digunakan oleh penyedia layanan internet (ISP). Konsep dari topologi ini adalah setiap komputer dalam jaringan saling terhubung satu sama lain sehingga jika terjadi kerusakan pada salah satu komputer tidak berpengaruh pada komputer lain atau berpengaruh pada jaringan.



Gambar 2. 8 Topologi Mesh

Karakteristik topologi *mesh* sebagai berikut :

1. Konsep Internet
2. Tidak ada *client server*, semuanya bisa bertindak sebagai *client* dan *server*
3. *Peer to peer*
4. Bentuk *mesh* yang paling sederhana adalah *array* dua dimensi tempat masing-masing simpul saling terhubung dengan keempat tetangganya.
5. Diameter komunikasi sebuah *mesh* yang sederhana adalah $2(n-1)$
6. Koneksi *wrapparound* pada bagian-bagian ujung akan mengurangi ukuran diameter menjadi $2(n/s)$.
7. Topologi *mesh* ini cocok untuk hal-hal yang berkaitan dengan algoritma yang berorientasi matriks.

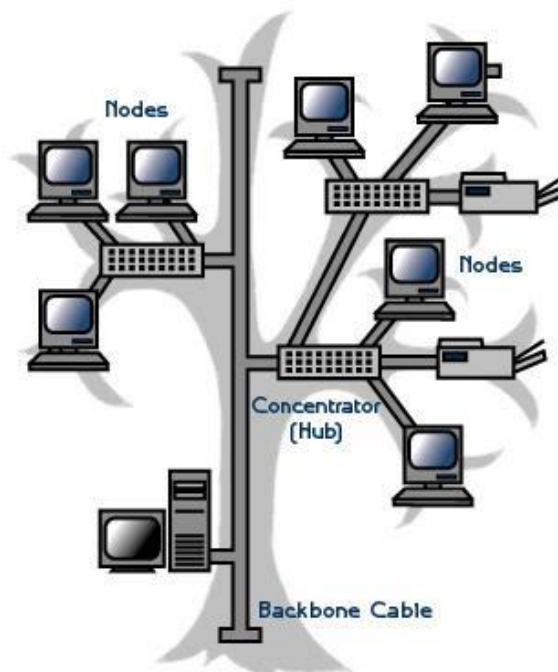
2.3.5 Topologi Tree

Topologi *tree* atau topologi pohon merupakan sebuah gabungan antar sistem yang terdapat pada topologi *bus* dan topologi *star*. Hal ini karena sistem penghubung yang terdapat pada topologi *tree* ini bertingkat seperti sistem penghubung yang dimiliki oleh topologi *star*. Sistem penghubung yang bertingkat tersebut akan digabungkan kedalam satu topologi *bus*. Dimana pada topologi *bus* ini mempunyai peran sebagai *backbone* atau tulang punggung.

Cara kerja dari topologi *tree* ini akan berbentuk dalam sebuah jaringan komputer yang menggunakan sistem pohon bercabang. Topologi *tree* ini mempunyai sistem yang bertingkat dimana penggunaannya digunakan sebagai media *interkoneksi* antar sentral. Dimana dalam *interkoneksi* tersebut terdapat hierarki yang berbeda. Analogi dari pernyataan sebelumnya yakni apabila terdapat lokasi atau tempat yang rendah maka hierarki yang didapatkan juga akan rendah pula. Begitupun sebaliknya, semakin tinggi tempat atau lokasi suatu jaringan maka hierarki yang didapatkan juga akan semakin tinggi. Hal ini membuat topologi *tree* sangat cocok diaplikasikan atau diterapkan pada sistem jaringan bahkan sangat bagus juga untuk digunakan sebagai jaringan WAN.

Karakteristik topologi *tree* sebagai berikut :

1. Antar kelompok melakukan komunikasi yang dilakukan melalui sebuah hub
2. Pusat data dan kendali jaringan berada dan diatasi oleh hub pusat
3. Didalam kelompok jaringan yang membentuk sebagai topologi *star* akan menyebabkan adanya pengelompokan atau klasifikasi pada tiap tingkatan.
4. Kabel utama yang berperan sebagai *backbone* atau tulang punggung yang berfungsi sebagai penghubung jaringan.



Gambar 2. 9 Topologi Tree

Penerapan topologi pohon (*tree topology*) dalam jaringan LoRa dapat memberikan beberapa kelebihan dan juga beberapa aspek yang bisa ditingkatkan dari performa LoRa. Berikut adalah beberapa kelebihan topologi pohon dan cara di mana performa LoRa bisa ditingkatkan melalui penerapan topologi tersebut:

Kelebihan Topologi Pohon dalam Penerapan LoRa:

1. **Skalabilitas:** Topologi pohon memungkinkan penambahan simpul pemantauan dengan mudah, sehingga Anda dapat mengatasi penambahan titik pemantauan tanpa mengganggu keseluruhan jaringan.
2. **Manajemen Trafik yang Efisien:** Topologi pohon memungkinkan pengumpulan data dari simpul-simpul di lapangan diarahkan menuju simpul induk (*root node*) dengan efisien. Ini membantu mengurangi lalu lintas yang berlebihan pada simpul-simpul yang lebih kecil.
3. **Redundansi:** Dalam topologi pohon, jalur alternatif bisa ditetapkan melalui cabang-cabang jaringan, memberikan redundansi jika satu jalur mengalami gangguan.
4. **Pemantauan Sentral:** Simpul induk atau pusat pemantauan dalam topologi pohon dapat mengumpulkan data dari banyak titik pemantauan, memungkinkan pemantauan dan pengelolaan jaringan secara sentral.

Peningkatan Performa LoRa melalui Topologi Pohon:

1. **Optimisasi Konsumsi Daya:** Dengan topologi pohon, Anda dapat mengatur daya transmisi pada simpul pemantauan sesuai dengan jarak mereka dari simpul induk. Ini membantu mengoptimalkan konsumsi daya, karena simpul yang lebih dekat dengan simpul induk dapat mengurangi daya transmisi mereka.
2. **Efisiensi Pengelolaan Jaringan:** Topologi pohon memudahkan dalam pengelolaan jaringan dan pemantauan kesehatan simpul. Anda dapat dengan lebih baik mengontrol parameter seperti daya transmisi, *data rate*, dan lainnya untuk setiap simpul.
3. **Tingkatkan Kapasitas Jaringan:** Dalam topologi pohon, simpul induk memiliki konektivitas yang lebih baik dan bisa memiliki kemampuan untuk

mengelola lebih banyak simpul. Ini memungkinkan jaringan LoRa untuk mendukung lebih banyak titik pemantauan.

4. **Manajemen Trafik yang Terkoordinasi:** Dengan topologi pohon, manajemen lalu lintas bisa dilakukan secara hierarkis. Data dari simpul pemantauan dapat dikumpulkan dan diteruskan dengan lebih terkoordinasi menuju simpul induk, mengurangi tumpang tindih lalu lintas dan mengoptimalkan penggunaan bandwidth.
5. **Peningkatan Ketersediaan Data:** Topologi pohon dapat meningkatkan ketersediaan data dengan menyediakan jalur alternatif jika jalur utama mengalami gangguan.

2.4 *Prototyping*

Prototyping merupakan suatu teknik pengembangan pada suatu sistem yang menggunakan *Prototype* untuk menggambarkan sistem, sehingga pengguna atau pemilik sistem mempunyai gambaran pengembangan sistem yang akan dilakukannya. Teknik ini sering digunakan apabila pemilik sistem tidak terlalu menguasai sistem yang akan dikembangkannya sehingga dia memerlukan gambaran dari sistem yang akan dikembangkannya tersebut [21].

2.5 Perangkat Keras dalam Rancangan *Prototype*

2.5.1 Arduino UNO

Arduino Uno adalah salah satu jenis papan pengembangan (*development board*) yang sangat populer dalam dunia elektronika dan pemrograman mikrokontroler. Arduino Uno dikembangkan oleh tim Arduino dan dirilis pada tahun 2010. Papan ini didasarkan pada mikrokontroler ATmega328P dari *Microchip Technology* (sebelumnya Atmel) dan memiliki sejumlah pin input/output (I/O) yang dapat digunakan untuk menghubungkan sensor, aktuator, dan berbagai komponen elektronik lainnya.



Gambar 2. 10 Arduino UNO

Karakteristik Arduino UNO sebagai berikut :

1. **Mikrokontroler ATmega328P:** Arduino Uno menggunakan mikrokontroler ATmega328P dengan kecepatan *clock* 16 MHz dan kapasitas *flash memory* sebesar 32 KB. Mikrokontroler ini dapat diprogram menggunakan bahasa pemrograman Arduino (berbasis C/C++) untuk mengendalikan berbagai perangkat elektronik.
2. **Pin Input/Output (I/O):** Arduino Uno memiliki 14 pin digital *input/output* (termasuk 6 pin yang dapat digunakan sebagai output PWM), 6 pin *analog input*, dan sejumlah pin khusus untuk berkomunikasi dengan perangkat lain seperti komputer melalui koneksi USB, atau menggunakan protokol komunikasi serial (UART).
- 3 **USB Interface:** Arduino Uno dilengkapi dengan koneksi USB yang memungkinkan Anda menghubungkannya langsung ke komputer. Ini memudahkan proses pemrograman dan mengirimkan data dari dan ke papan.
- 4 **Power Supply:** Arduino Uno dapat diberi daya melalui koneksi USB atau menggunakan *jack* DC 2,1 mm dengan tegangan 7-12V. Terdapat regulator tegangan *onboard* yang mengubah tegangan masukan menjadi 5V, yang digunakan untuk mengoperasikan papan dan menyediakan tegangan ke perangkat tambahan yang terhubung.
- 5 **Reset Button:** Arduino Uno dilengkapi dengan tombol *reset* yang memungkinkan Anda memulai program ulang tanpa harus mencabut daya.
- 6 **LED Indikator:** Papan ini memiliki LED indikator bawaan untuk

menunjukkan status koneksi dan aktivitas mikrokontroler, termasuk LED TX dan RX yang menandakan aktivitas komunikasi serial melalui USB.

- 7 **Breadboard Friendly:** Arduino Uno dirancang untuk dapat dengan mudah dihubungkan ke *breadboard*, yang memudahkan dalam *prototyping* dan menghubungkan komponen elektronik.
- 8 **Open-Source:** Arduino Uno didasarkan pada *platform open-source*, yang berarti skema, desain, dan kode sumbernya tersedia untuk umum. Hal ini memungkinkan komunitas Arduino untuk berkontribusi dalam pengembangan dan menciptakan ekosistem yang kaya dengan berbagai proyek dan perangkat tambahan.

2.5.2 LoRa Ra-02 SX1278



Gambar 2. 11 LoRa Ra-02 SX1278

Dalam beberapa tahun terakhir, LoRa mulai digemari oleh konsumen dikarenakan teknologi jalur-jalur komunikasi yang berbasis daya rendah mulai mengikuti arus menuju cangkupan jarak dalam satuan *multi-kilometers* [22]. Dengan begitu penelitian yang membutuhkan sumber energi yang hemat namun tetap mencakup jangkauan yang luas dan didukung oleh besar data yang cukup besar maka dari itu nama LoRa mulai banyak dikenal luas.

LoRa memiliki banyak jenis module contohnya adalah SX1276, SX1277, SX1278 dan SX1279. Pada penelitian ini, LoRa yang digunakan merupakan tipe RA02 dengan seri module SX1278. LoRa merupakan modul yang diproduksi oleh

perusahaan Ai-Thinker. LoRa RA-02 module SX1278 bekerja pada frekuensi 433MHz. LoRa yang telah dipatenkan oleh Semtech mampu mencapai sensitivitas lebih dari -148 dBm menggunakan *crystal* hemat biaya dan berbagai material lainnya [23].

Kelebihan LoRa yang paling utama adalah LoRa merupakan salah satu perangkat dengan biaya rendah dikarenakan didalam perangkat LoRa telah termasuk sensor yang dibutuhkan saat penelitian, selain membutuhkan biaya yang rendah LoRa tergolong perangkat dengan daya konsumsi yang rendah dikarenakan LoRa hanya membutuhkan sekitar 13 Ma–15 Ma sehingga perangkat dapat digunakan dalam jangka waktu yang panjang. Selain itu perangkat LoRa mendukung penelitian dalam jarak jauh yang dimana perangkat LoRa dapat mengirimkan data hingga sejauh 15 KM.

2.5.3 Sensor Gas MQ-7

MQ-7 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi gas Karbon Dioksida (CO). Pada kehidupan sehari – hari, industri, atau mobil. Fitur dari sensor gas MQ-7 ini mempunyai sensitivitas yang tinggi terhadap Karbon Monoksida (CO). Sensor ini menggunakan catu daya *heater* sebesar 5 V AC/DC dan menggunakan catu daya rangkaian sebesar 5 V, jarak pengukuran : 20 – 2000 ppm untuk mampu mengukur gas karbonmonoksida [24]. Pada Gambar 2.12 ditunjukkan sensor gas MQ-7.



Gambar 2. 12 Sensor Gas MQ-7

2.5.4 Sensor Gas MQ-135

MQ-135 merupakan sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas – gas di udara yaitu Karbon Dioksida (CO₂). Berupa nilai resistansi analog di pin keluarannya. Pin keluaran tersebut disambungkan pada pin ADC (*Analog to Digital Converter*) di mikrokontroler atau pin analog input arduino dengan menambahkan satu buah resistor saja. Pada sensor gas MQ-135 terdapat *internal heater*. Kondisi *heater* pada sensor penting karena sensor bias bekerja stabil jika *heating* pada *voltage* terpenuhi sebesar 5 V dengan waktu *heating* 60 detik, jarak pengukuran : 10 – 1000 ppm [25]. Pada Gambar 2.13 ditunjukkan sensor gas MQ-135.

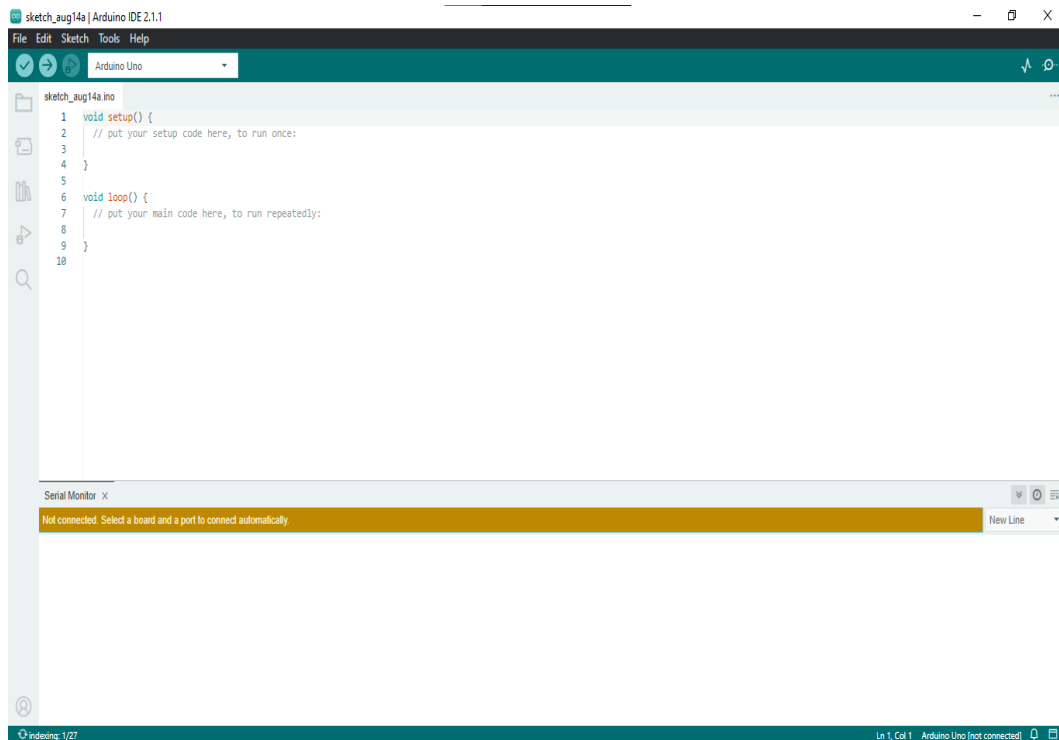


Gambar 2. 13 Sensor Gas MQ-135

2.6 Perangkat Lunak dalam Rancangan *Prototype*

2.6.1 *Software Arduino IDE*

Arduino IDE (*Integrated Development Environment*) merupakan *software* bawaan Arduino yang memiliki fungsi untuk menulis program, menyimpan dan mengunggah ke memori mikrokontroler. Arduino menyebut program sebagai sketsa (*sketch*) [26]. Sketsa mendefinisikan apa yang akan dilakukan oleh *board*. IDE memiliki sub menu yang ditunjukkan pada tombol-tombol di bagian atas seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Tampilan Arduino IDE Versi 2.2.1

Bagian-bagian menu dari Arduino IDE :

1. **Compile:** Sebelum "kode" program Anda dapat dikirim ke papan, kode tersebut perlu diubah menjadi instruksi yang dimengerti oleh papan. Proses ini disebut kompilasi.
2. **Upload:** mengunggah program (*sketch*) ke board.
3. **New:** membuat sketch baru, ini membuka jendela baru untuk membuat sketch baru.
4. **Open:** membuka sketsa yang telah ada, ini memuat sketsa dari file di computer

2.7 Parameter *Quality of Service* (QoS)

2.7.1 *Received Signal Strength Indicator* (RSSI)

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan parameter yang menunjukkan daya terima dari seluruh sinyal pada band frekuensi saluran yang digunakan [27]

Rumus untuk menentukan RSSI:

$$RSSI(dBm) = TX\ Power(dBm) + TX\ Gain(dBi) - Free\ Space\ Path\ Loss + Rx\ Gain(dBi) \dots \dots \dots (Persamaan\ 2.\ 1)$$

Nilai RSSI semakin dekat dengan 0, maka semakin baik sinyal tersebut. Nilai RSSI dinyatakan dalam dBm dan merupakan nilai negatif, nilai minimum RSSI adalah -110 dBm. Berikut merupakan standar kualitas RSSI yang biasa digunakan untuk jaringan 3G [28] ditunjukkan pada tabel 2.2 dibawah ini :

Tabel 2. 2 Kategori Kualitas RSSI [28]

RSSI	Kategori
> -70 dBm	Sangat Bagus
-70 dBm to -85 dBm	Bagus
-86 dBm to -100 dBm	Sedang
< - 100 dBm	Buruk
-110 dBm	Sangat Buruk

2.7.2 *Signal to Noise Ratio* (SNR)

Pada komunikasi LoRa menggunakan metode FEC (*Forward Error Correction*) dan *Spreading Factor*, sehingga memungkinkan improvisasi SNR secara signifikan dengan kisaran SNR antara -20 dB dan +10 dB [13].

Rumus untuk menentukan rata – rata SNR:

$$Rata - Rata\ SNR = \left(\frac{Jumlah\ SNR}{Paket\ Diterima} \right) \dots \dots \dots (Persamaan\ 2.\ 2)$$

2.7.3 Delay

Delay merupakan banyaknya waktu yang diperlukan sebuah paket untuk melakukan perjalanan dari sumber ke tujuan. Bersama dengan *delay*, mendefinisikan kecepatan dan kapasitas dalam jaringan [27].

Rumus untuk menentukan *Delay* :

$Delay = \text{Waktu paket diterima} - \text{waktu paket dikirim} \dots \dots \dots (\text{Persamaan 2. 3})$

Berikut ini merupakan standar *delay* versi TIPHON [29] yang ditunjukkan pada tabel 2.3.

Tabel 2. 3 Kategori *Delay* [29]

<i>Delay</i>	Kategori
< 150 ms	Sangat Bagus
150 ms – 300 ms	Bagus
300 ms – 450 ms	Sedang
> 450 ms	Buruk

2.8 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

Berikut adalah tabel perbandingan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya :

Tabel 2. 4 Perbandingan Penelitian Sebelumnya

No.	Tahun	Judul	Penulis	Penelitian yang Dilakukan
1.	2013	Perbandingan Topologi WSN (<i>Wireless Sensor Network</i>) untuk Sistem Pemantau Jembatan	Evy Nur Amalina, Eko Setijadi, Suwadi	Telah dilakukan perbandingan topologi WSN sebagai pemantau jembatan menggunakan ZigBee, peneliti membandingkan kinerja antara topologi <i>star</i> , <i>mesh</i> , dan <i>tree</i> . Hasil yang didapatkan ialah topologi <i>tree</i> lebih unggul dibandingkan kedua topologi yang lain, dengan analisa tidak terjadi <i>packet loss</i> , nilai <i>throughput</i> yang lebih besar, serta nilai <i>delay</i> dan konsumsi energi rata-rata yang lebih kecil.

No.	Tahun	Judul	Penulis	Penelitian yang Dilakukan
2.	2014	Rancang Bangun Protokol Komunikasi Data pada <i>Wireless Sensor Network</i> dengan Topologi <i>Tree</i> untuk Memantau Gas Karbon Monoksida	Achmad Fajar Shodiq, Pauladie Susanto, I Dewa Gede Rai Mardiana	Menggunakan Xbee-PRO dengan penerapan topologi <i>tree</i> 3 node. Berhasil menjangkau dengan maksimal jarak 50 m antar node, dan topologi <i>tree</i> berjalan sesuai topologi yang dibuat, ditunjukkan dengan adanya <i>backup</i> jalur komunikasi data apabila salah satu node mengalami kegagalan pengiriman data.
3.	2015	Penerapan <i>Wireless Sensor Network</i> (WSN) dengan topologi <i>tree</i> pada Pemantauan Tanah Longsor	Wahyu Indra Lesmana, Harianto, Madha Christian Wibowo	Menggunakan Xbee Series 2 dengan penerapan topologi <i>tree</i> 3 node. Berhasil dilakukan, jarak maksimal yang berhasil dijangkau sejauh 100 m antar node.
4.	2019	Analisa Kinerja LoRa SX1278 Menggunakan Topologi <i>Star</i> Berdasarkan Jarak dan Besar Data pada WSN	Fathia N. Aeroboesman, Mochammad Hannats H.Ichsan, Rakhmadhany Prinanda	Telah dilakukan analisa kinerja LoRa SX1278 menggunakan 4 buah node dengan menerapkan topologi <i>star</i> , jarak terjauh yang berhasil dijangkau ialah 300 m. Hasil yang didapatkan besar data dan jarak tidak begitu berpengaruh secara signifikan terhadap nilai RSSI, SNR, dan <i>throughput</i> , namun cukup berpengaruh signifikan terhadap <i>delay</i> transmisi data

No.	Tahun	Judul	Penulis	Penelitian yang Dilakukan
5.	2020	Desain dan implementasi <i>Wireless Sensor Network</i> menggunakan LoRa untuk pemantauan tingkat pencemaran udara di Kota Surabaya	Yasir Arafat, Endang Setyati	Dilakukan desain dan implementasi WSN menggunakan LoRa SX1278 dengan 5 buah node bertopologi <i>star</i> , didapatkan data pembacaan sensor mampu ditransmisikan hingga jarak 2,97 km dengan ketinggian 12 mdpl dan frekuensi 433 Mhz
6.	2021	Analisis Kinerja Modul <i>Transceiver</i> SX1278 pada Sistem Monitor Dengan Model Jaringan <i>Star</i>	Moechamad Setya Fajar, Fitri Imansyah, Jannus Marpaung	Dilakukan analisa kinerja modul LoRa SX1278 dengan topologi <i>star</i> menggunakan 5 node, pengujian dilakukan untuk menganalisa SF6 – SF12, <i>bandwidth</i> , dan <i>coding rate</i>
7.	2022	Rancang Bangun Stasiun Cuaca Berbasis <i>Wireless Sensor Network</i> Dengan LoRa SX1278	Firda Aini Zulafah, Denda Dewatama, Siswoko	Dilakukan perancangan stasiun cuaca berbasis WSN dengan LoRa SX1278 menggunakan 4 buah node bertopologi <i>star</i> , didapatkan jarak terjauh 1,2 km kondisi LOS. Dan didapatkan hasil bahwa, semakin jauh jarak antar node maka semakin kecil nilai RSSI yang di hasilkan