

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Kestabilan sinyal LoRa diteliti dalam [3] menggunakan skenario area *peri-urban* dan *urban*. Metode yang digunakan yaitu komunikasi antar *device* dimana dua *device* berperan sebagai *receiver* dan *transceiver* dengan frekuensi 868 MHz. RSSI di area *peri-urban* menunjukkan grafik yang stabil untuk kedua perangkat yang digunakan, sehingga peneliti dapat menyimpulkan bahwa sinyal LoRa lebih stabil di area *peri-urban* dibandingkan di area *urban* dengan kepadatan yang tinggi.

Performansi LoRa frekuensi 915MHz dianalisa pada [4] menggunakan sensor BME280. BME280 merupakan multi-sensor yang terdiri dari 3 tipe yaitu tekanan atmosfer (hPa), suhu (°C) dan kelembapan (%). Dari hasil pengujian, data pengiriman LoRa secara *real time* dapat diterima dengan baik.

Analisis perhitungan *coverage planning* dan *capacity planning* serta hasil simulasi perencanaan LoRa yang dilakukan pada *software* Atoll diteliti dalam [5]. Penelitian tersebut menjelaskan mengenai perencanaan jaringan LoRa di kota Surabaya dengan mengambil *sampel* 12% dari total konsumen listrik, air, dan gas di Kota Surabaya. Dengan membandingkan jumlah *gateway*, jarak antara Tx dan daya pancar terjauh serta SNR, peneliti dapat menganalisis bahwa jaringan LoRa menghasilkan kualitas sinyal yang bagus sehingga dapat diimplementasikan di Kota Surabaya tahun 2025.

Penelitian terhadap kapabilitas performa kinerja LoRa dilakukan dalam [6] dengan menganalisis daya konsumsi baterai dan nilai RSSI LoRa berdasarkan data yang dikirimkan oleh LoRa *Global Positioning System* (GPS) setiap 50 meter. Dari hasil penelitian tersebut, sinyal LoRa dapat menerima data dengan jarak 290 meter. Menggunakan baterai dengan daya 6 Volt, LoRa dapat mengirim data hingga 24 jam.

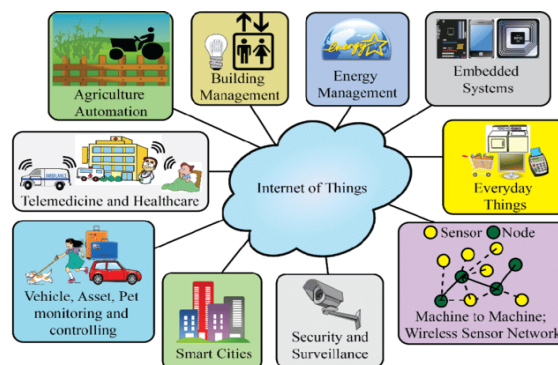
Kemampuan LoRa terhadap *noise* diteliti pada [7] menggunakan metode *Middleton Class-A noise* yang dibandingkan dengan *Gaussian noise*. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *impulsive noise* memungkinkan untuk menurunkan kinerja sistem. Hal tersebut dapat diatasi dengan meningkatkan *spreading factor* sehingga dapat mengurangi dampak dari *noise*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 *Internet Of Things (IoT)*

Internet of Things atau yang biasa disebut dengan IoT ialah salah satu platform teknologi yang perkembangannya dinanti oleh masyarakat. Pengembangan IoT di Indonesia masih dalam tahap awal sehingga dibandingkan dengan potensi pasar yang besar, jumlah perusahaan industri lokal yang bergerak di bidang manufaktur IoT sangat rendah. Data dari penelitian [8] menunjukkan mayoritas pasar Indonesia tertarik pada aplikasi IoT untuk menunjang urusan pekerjaan. Namun, masyarakat cenderung menolak untuk menggunakan teknologi IoT yang belum teruji.

Paradigma *Internet of Things (IoT)* menggambarkan masa depan generasi internet ketika semua benda kasat mata dapat saling terhubung. Contohnya pengaplikasian pada *Smart Homes*, *Smart Cities*, *Smart Transportation*, *Smart Environment*, *Smart Grid*, dan *Smart Water System*.



Gambar 2. 1 Contoh Pengaplikasian IoT[9]

Konsep IoT mengarah pada tiga elemen utama dalam arsitektur IoT yaitu barang fisik yang dilengkapi modul IoT, perangkat koneksi ke internet, dan *Cloud Data Center* tempat untuk menyimpan aplikasi beserta *data base*.



Gambar 2. 2 Konsep *Internet Of Things*[10]

2.2.2 Long Range (LoRa)

Long Range (LoRa) ialah teknologi modulasi nirkabel bersistem jarak jauh dan berdaya rendah yang diakuisisi oleh Semtech pada tahun 2012. LoRa berada pada *layer connectivity* di mana berfungsi untuk mengirimkan data dari *device* berupa data sensor atau data lainnya menuju *server*.

<p><u>Traditional Cellular</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life High Cost</p>	 <p>LPWAN (3-5B in 2022)</p> <p>LoRa</p> <p>Long Range Low Data Rates Long Battery Life Low Cost High Capacity Potential</p>	<p><u>Cat-M1</u></p> <p>Long Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>
<p><u>Local Area Network</u> (Wi-Fi)</p> <p>Short Range High Data Rates Low Battery Life Medium Cost</p>	<p><u>Narrow-Band IoT</u> (NB-IoT)</p> <p>Stationary Devices Short Range (indoor coverage) Low Data Rates Good Battery Life Low Cost</p>	<p><u>Personal Area Network</u> (Bluetooth®)</p> <p>Very Short Range Low data rates Good Battery Life Low Cost</p>

Gambar 2. 3 Perbandingan antara LoRa dengan teknologi IoT lainnya[11]

Peraturan Menteri Komunikasi dan Informatika Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2019 Tentang Penggunaan Frekuensi Radio Berdasarkan Izin Kelas menerangkan penggunaan modul frekuensi radio pada *Low Power Wide Area Non-Seluler* di Indonesia berada pada frekuensi 923 MHz [12].

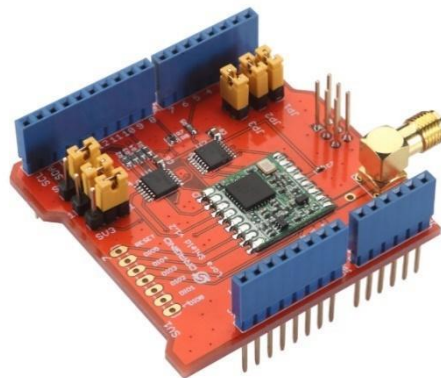
LoRa memiliki format modulasi yang terakuisisi oleh *Semtech* yaitu modulasi *Chirp Spread Spectrum* (CSS). Modulasi CSS memiliki opsi untuk meningkatkan *Spreading Factor* (SF) dan *bandwidth* yang berbeda dalam mengoptimalkan modulasi untuk memenuhi kisaran dan persyaratan data sehingga dapat menjangkau area yang luas [13]. *Chirp* merupakan singkatan dari *Compressed High Intensity Radar Pulse* yang merupakan teknik umum dalam sonar dan radar. Sinyal *chirp* memiliki amplitudo yang konstan dengan frekuensi variable. Jika frekuensi berubah dari rendah ke tinggi, disebut *up-chirp* dan jika frekuensi berubah dari tinggi ke rendah, disebut *down-chirp* [14].

Jaringan LoRa terdiri dari empat elemen dasar yaitu LoRa *node* atau *End Points*, *Gateway*, *Network Server*, dan *Application Server*. LoRa *node* terdiri dari sensor atau aplikasi tempat penginderaan dan kontrol bekerja seperti sensor,

perangkat pelacak, dan lainnya. *Gateway* terdiri dari elemen jaringan LoRa. Setiap *gateway* terhubung dengan setiap *node*. Data yang ditransmisikan oleh *node* dikirim ke semua *gateway* dan setiap *gateway* menerima sinyal kemudian dikirim ke *server* jaringan berbasis *cloud* melalui seluler, *Ethernet*, satelit, atau Wi-Fi. Data yang diterima dari *gateway* yang berbeda melalui proses penyaringan, pemeriksaan keamanan, dan lainnya. *Network server* berperan dalam mengidentifikasi data yang diterima untuk *application server* dan dikirimkan ke *application server* melalui *backhaul*. *Application server* berperan menerima data dari *network server* [15].

LoRa memiliki beberapa fitur di dalamnya sebagai berikut.

1. *Geolocation*, fitur ini dapat digunakan untuk mendeteksi keberadaan suatu benda tanpa biaya.
2. *Low cost*, dapat mengurangi biaya infrastruktur, biaya operasional dan sensor yang mempunyai jaringannya sendiri.
3. Terstandar, dapat berinteraksi dengan sistem maupun produk lain sehingga dapat beradaptasi dengan jaringan dan aplikasi IoT dengan cepat.
4. *High capacity*, mendukung jutaan pesan per base station sehingga ideal digunakan untuk operator jaringan publik dengan banyak pelanggan.
5. *Security*, menggunakan enkripsi AES dan IEEE 802.15.4/2006 Annex B.
6. *Low power battery*, konsumsi daya yang dibutuhkan hanya berkisar dari 13 mA hingga 15 mA sehingga baterai dapat bertahan dari 10 hingga 20 tahun [16].



Gambar 2. 4 LoRa *shield*[17]

2.2.3 Parameter LoRa

Parameter dalam modulasi LoRa di antaranya ialah *bandwidth*, *Spreading Factor*, *Code Rate*, *Received Signal Strength Indicator* (RSSI), dan *Signal to Noise Ratio* (SNR). *Bandwidth* merupakan kuantitas volume pada saat pengiriman dan penerimaan data dihitung dalam satuan *bit per second* (bps), digunakan untuk memodulasi informasi. Besar *bandwidth* pada modulasi LoRa kisaran 125 kHz, 250 kHz, dan 500 kHz.

LoRa menggunakan *multiple orthogonal Spreading Factors* (antara 7 hingga 12). Banyaknya *chip* yang digunakan untuk mempresentasikan 1 simbol ditujukan dalam *Spreading Factor* (SF) [5].

$$N = 2^{SF} \tag{2.1}$$

Dimana,

N = Jumlah *chip*

SF = *Spreading Factor*

Tingginya nilai *spreading factor* pada saat komunikasi berlangsung memiliki kerugian yang signifikan dari sisi *data rate*. Persamaan berikut digunakan untuk menghitung *data rate* LoRa yang dipresentasikan dengan R_b dalam satuan bps [18]

$$R_b = SF * \frac{4}{\frac{4 + CR}{2^{SF}}} * \frac{100}{BW} \tag{2.2}$$

Dimana,

SF = *Spreading Factor*

CR = *Code Rate*

BW = *Bandwidth* (kHz)

LoRa memiliki nilai *code rate* 4/5, 2/3, 4/7, dan 1/2. Redundansi memungkinkan penerima untuk mendeteksi dan memperbaiki kesalahan dalam pesan, tetapi itu juga menurunkan kecepatan data efektif. Saat nilai *code rate* meningkat, kecepatan data efektif berkurang di setiap spektrum *bandwidth* [19].

Received Signal Strength Indicator (RSSI) merupakan pengukuran dalam menentukan kekuatan sinyal yang diterima dalam koneksi nirkabel dari pemancar.

Nilai RSSI diukur dalam dBm dan nilainya dalam bentuk negatif dengan kategori nilai -30 dBm (sinyal kuat) sampai dengan -120 dbm (sinyal lemah). Ketika nilai RSSI semakin dekat ke nol, maka sinyal yang diterima semakin kuat. Adapun faktor yang memengaruhi nilai RSSI di antaranya yaitu nilai *path loss*, *antenna gain*, dan *cable loss* [20]. Untuk mengetahui nilai RSSI dapat menggunakan persamaan

$$RSSI (dBm) = -10n \log_{10} (d) + A \quad (2.3)$$

dimana nilai *A* merupakan kekuatan sinyal pada jarak satu meter dalam satuan dBm dan *n* adalah nilai eksponen dari nilai *path loss*. *Range* parameter RSRP dalam kategori dapat dilihat pada tabel.

Tabel 2. 1 *Range Parameter* RSSI [21]

Nilai RSSI (dBm)	Kategori
>-70	<i>Very Good</i>
≤-70 s/d ≥85	<i>Good</i>
≤-86 s/d ≥-100	<i>Normal</i>
≤-100	<i>Bad</i>

Signal to Noise Ratio dapat dideskripsikan sebagai rasio kekuatan sinyal terhadap kekuatan *noise* yang dinyatakan dalam desibel (dB). Rentang nilai SNR terlampir pada tabel 2.2.

Tabel 2. 2 *Range Parameter* SNR [22]

SNR (dB)	Kategori
≥15	<i>Excellent</i>
15 s/d 10	<i>Very good</i>
10 s/d 5	<i>Good</i>
5 s/d 0	<i>Normal</i>
0 s/d -5	<i>Bad</i>
< -5	<i>Poor</i>

Semakin besar nilai SNR, maka semakin baik kualitas dari sinyal tersebut. Nilai SNR yang buruk berakibat lambatnya koneksi sinyal hingga terputus. Nilai SNR dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.4 [23].

$$SNR = \frac{Pr}{Pn}$$

(2.4)

Dimana,

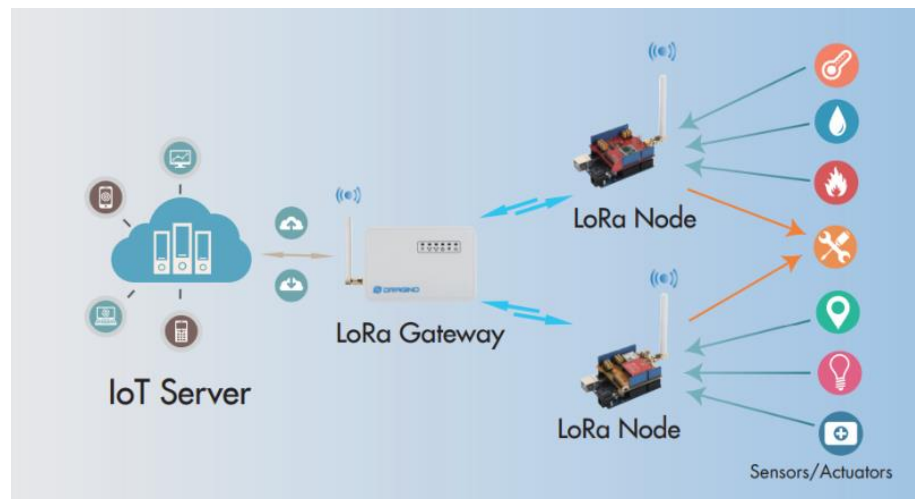
SNR = *Signal to Noise Ratio*

Pr = daya yang diterima oleh *receiver* (dBm)

Pn = daya *noise* saluran transmisi (dBm)

2.2.4 LoRa Gateway

Perangkat LoRa hanya dapat berkomunikasi dengan perangkat yang menggunakan protokol yang sama. Untuk itu, LoRa perlu memiliki *gateway* untuk berkomunikasi dengan perangkat lain dalam protokol yang berbeda. *Gateway* adalah pusat lalu lintas data untuk menghubungkan antara dua jaringan yang berbeda. Jumlah data yang dikirim atau diterima dan arus lalu lintas pertukaran data dapat mempengaruhi kinerja *gateway* dan konsumsi energi digunakan [24].

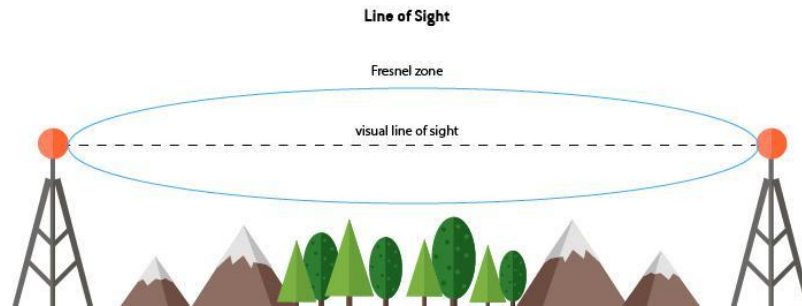


Gambar 2.5 Struktur Jaringan LoRa Gateway

2.2.5 Propagasi

Propagasi merupakan rambatan gelombang *microwave* dari antenna pemancar ke antenna penerima melalui udara. Propagasi dapat dibagi menjadi propagasi *Line Of Sight* (LOS) dan *Non-Line Of Sight* (NLOS). Propagasi LOS terjadi ketika ada

pandangan yang jelas antara *base station* dan pengguna. Sebuah area bisa dikatakan LOS ketika titik akhir bisa terlihat dari titik awal. NLOS terjadi di mana beberapa objek berskala besar seperti bangunan menghalangi jalur antara pemancar dan penerima.



Gambar 2.6 Ilustrasi *Line Of Sight*

Dalam konsep komunikasi dengan gelombang radio dikenal suatu model propagasi. Model propagasi diperlukan karena karakteristik propagasi pada jaringan bergerak berbeda dengan karakteristik propagasi pada jaringan tetap. Model propagasi adalah suatu cara untuk memprediksi daya sinyal rata-rata. Tiga mekanisme utama dari propagasi *mobile* yaitu pantulan (*reflection*), difraksi, dan hamburan (*scattering*) [25].

2.2.6 Model Propagasi Okumura

Model Okumura adalah salah satu model yang paling sederhana dan paling banyak digunakan untuk memprediksi propagasi *path loss* dengan tingkat akurasi yang baik di daerah perkotaan. Model ini dirancang untuk memprediksi *path loss* dengan kondisi di antaranya rentang frekuensi operasi 150 MHz – 1,92 GHz, jarak transmisi 1-100 km, dan tinggi antena 30-100m. Perolehan nilai *path loss* pada propagasi Okumura dapat dilihat pada persamaan 2.5.

$$L_{OK}(d)[dB] = L_{FS} + A_{Med}(f,d) - G_{RX} - G_{TX} - G_{Area} \quad (2.5)$$

Nilai L_{OK} merupakan median dari nilai propagasi dalam satuan dB, L_{FS} merupakan nilai dari *free space loss*, $A_{Med}(f, d)$ merupakan nilai median dari faktor redaman dalam satuan dB pada saat frekuensi f dan pada jarak d . G_{RX} dan G_{TX} merupakan nilai *gain* dari antena penerima dan pengirim dalam satuan dB. Nilai G_{Area} merupakan nilai *gain* dari propagasi lingkungan sekitar dalam satuan dB[26].

2.2.7 Model Propagasi Hata

Model Hata merupakan model propagasi yang diberlakukan pada area *suburban* dan dapat berlaku untuk transmisi ke daerah pedesaan dengan bangunan tidak setinggi dan sepadat di lingkungan kota. Perhitungan menggunakan model propagasi Hata memiliki kriteria frekuensi 150MHz – 1500 MHz dengan tinggi antenna *base station* 30m – 200 m dan tinggi antenna *mobile station* 1m – 10m untuk jarak transmisi 1km – 20km.

Model propagasi Hata untuk area *urban* dapat diperoleh melalui persamaan 2.6,

$$Lu = 69,55 + 26,16 \log_{10} f - 13,82 \log_{10} hb - CH + [44,9 - 6,55 \log_{10} hb] \log_{10} d \quad (2.6)$$

dengan nilai CH dapat diperoleh menggunakan persamaan 2.7 - 2.9.

$$CH = 0,8 + (1,1 \log_{10} f - 0,7) hm - 1,56 \log_{10} f \text{ (kota kecil dan medium)} \quad (2.7)$$

$$CH = 8,29 (\log_{10} 1,54hm)^2 - 1,1 ; \text{ jika } 150 \text{ MHz} \leq f \leq 200 \text{ MHz} \quad (2.8)$$

$$CH = 3,2 (\log_{10} (11,75hm))^2 - 4,97; \text{ jika } 200 \text{ MHz} \leq f \leq 1500 \text{ MHz} \quad (2.9)$$

Lu merupakan nilai *path loss* dalam satuan dB. Variabel hb dan hm merupakan tinggi dari *base station* dan *mobile station* dalam satuan meter. Variabel f merupakan nilai frekuensi yang dipakai pada saat transmisi dalam satuan MHz dan d menyatakan jarak antara *base station* dan *mobile station*.

Model propagasi Hata untuk area *sub urban* dapat diperoleh melalui persamaan 2.10.

$$Lsu = Lu - 2(\log_{10} \frac{f}{28})^2 - 5,4 \quad (2.10)$$

Lsu merupakan nilai *path loss* dalam satuan dB untuk area *sub-urban*. Lu merupakan nilai *path loss* yang diambil dari perhitungan *path loss* pada area *urban* dengan menggunakan persamaan *small city*[27].

2.2.8 Model Propagasi Okumura– Hata

Model Okumura-Hata merupakan salah satu model propagasi yang banyak digunakan untuk memprediksi *path loss* di area urban, sub-urban dan daerah terbuka. Model ini memperhitungkan memperhitungkan efek difraksi, refleksi dan hamburan yang disebabkan oleh struktur kota. Model Okumura-Hata menggunakan empat parameter untuk memperkirakan *path loss*, yaitu, frekuensi pembawa, jarak,

tinggi antenna stasiun pangkalan dan tinggi antenna bergerak. Persamaan Okumura – Hatta untuk area urban dapat dilihat pada persamaan 2.11 [28].

$$Lp_{urban} = 69,55 + 26,16 \log_{10}f - 13,82 \log_{10}h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10}h_t) \log_{10}d \quad (2.11)$$

$$Lp_{suburban} = 69,55 + 26,16 \log_{10}f - 13,82 \log_{10}h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10}h_t) \log_{10}d - (5,4 + 2 \left[\log_{10} \left(\frac{f}{28} \right)^2 \right]) \quad (2.12)$$

$$Lp_{open/rural} = 69,55 + 26,16 \log_{10}f - 13,82 \log_{10}h_t - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log_{10}h_t) \log_{10}d - (40,94 + 4,78[\log_{10}(f)]^2 - 18,33 \log_{10}(f)) \quad (2.13)$$

Dengan nilai $a(h_r)$ di wilayah kota kecil, kota medium, area terbuka, area rural dan area *suburban* dapat ditentukan oleh persamaan 2.14

$$a(h_r) = (1,1 \log_{10}f - 0,7)h_r - (1,56 \log_{10}f - 0,8) \quad (2.14)$$

Untuk kota besar dengan $f \leq 200$ MHz dihitung dengan persamaan 2.15

$$a(h_r) = 8,28[\log_{10}(1,54h_r)]^2 - 1,1 \quad (2.15)$$

Untuk kota besar dengan $f \geq 400$ MHz dihitung dengan persamaan 2.16

$$a(h_r) = 3,2[\log_{10}(11,75h_r)]^2 - 4,97 \quad (2.16)$$

Dimana,

Lp_{urban} = *pathloss* daerah urban (dB)

f = frekuensi (MHz)

h_t = tinggi *Base Transceiver Station* (m)

h_r = tinggi perangkat pengguna (m)

d = jarak antara *Base Transceiver Station* dan perangkat pengguna (km)

$a(h_r)$ = faktor koreksi tinggi antenna *Base Station*

2.2.9 Model Propagasi Cost 231 – Hatta

Model propagasi Cost 231-Hatta merupakan propagasi yang berdasarkan model Okumura dan model Hatta pada area *urban*. Model propagasi ini

memperluas cakupan model Hata hingga 2000 MHz. Keterbatasan parameter lain dari model ini termasuk ketinggian antena *base station* atau *gateway* efektif antara 30 - 200 m, tinggi unit bergerak antara 1 - 10 m, dan jarak antar perangkat 1 - 20 km[29]. Nilai *path loss* dapat dihitung menggunakan persamaan 2.17

$$L = 46,3 + 33,9 \log_{10}(f) - 13,82 \log_{10}(ht) - a(hm) + (44,9 - 6,55 \log_{10}) \log_{10}(d) + cm \text{ [dB]} \quad (2.17)$$

dengan *ht* merupakan tinggi *gateway* dan *hr* merupakan tinggi dari *mobile end node*. Untuk area *rural* dan *suburban* dengan nilai *cm* = 3 dB dapat dihitung menggunakan persamaan 2.18.

$$a(hm) = (1,1 \log_{10}(f) - 0,7)hr - (1,56 \log_{10}(f) - 0,8) \quad (2.18)$$

Untuk area kota metropolitan dengan nilai *cm* = 0 dB dapat dihitung menggunakan persamaan 2.19.

$$a(hm) = (1,1 \log_{10}(f) - 0,7)hr - (1,56 \log_{10}(f) - 0,8) \quad (2.19)$$

2.2.10 Additive White Gaussian Noise (AWGN)

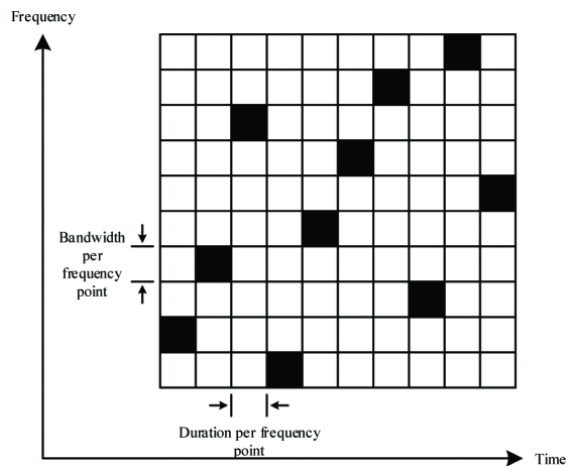
Noise pada dasarnya merupakan sinyal yang tidak diinginkan, cenderung mengganggu pengoperasian sistem dan mempengaruhi kualitas dari sinyal yang dikirimkan. Berdasarkan asal sumbernya, *noise* dibagi menjadi dua kategori yaitu *external* dan *internal*. *Noise* yang datang dari luar sistem komunikasi masuk dalam kategori *external noise*. Sebagai contoh, kebisingan bersumber dari lingkungan seperti cuaca buruk maupun dari peralatan yang digunakan. Penyebab dari *internal noise* seringkali dihasilkan dalam jaringan nirkabel [30].

Additive White Gaussian Noise (AWGN) merupakan *noise* yang mempengaruhi transmisi data secara independen. *Additive* dalam AWGN memiliki makna yang sama dengan *addition*, yaitu *noise* ditambahkan ke sinyal informasi. *White* memiliki analogi warna cahaya putih dimana spektrum daya *noise* memiliki jumlah yang sama di setiap frekuensi. *Gaussian* memiliki fungsi kepadatan probabilitas yang sama dengan distribusi normal [31].

2.2.11 Frequency Hopping

Modulasi *Frequency Hopping* dikenal juga sebagai “*multiple frequency, code-selected, frequency shift keying*” [32]. *Frequency hopping* menggunakan *pseudo-*

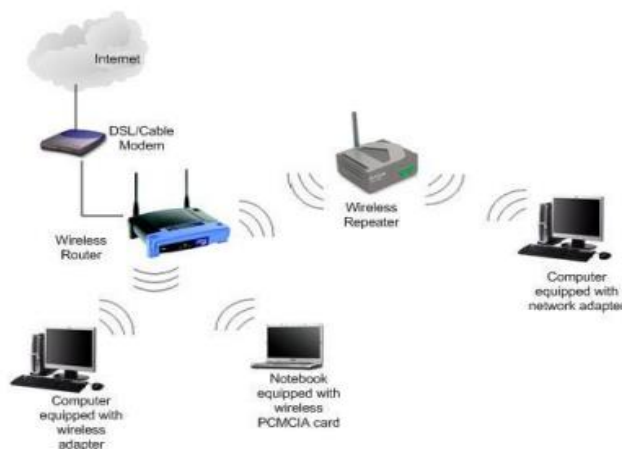
random sequence untuk mengontrol frekuensi tengah dari *carrier* untuk melompat secara random di beberapa set frekuensi. *Frequency hopping* dapat diklasifikasikan menjadi dua yaitu *fast frequency hopping* dan *slow frequency hopping*. *Fast frequency hopping* merupakan suatu keadaan jika ada lebih dari satu hop di setiap simbol informasi. *Slow frequency hopping* terjadi ketika satu atau lebih informasi simbol ditransmisikan dalam interval waktu diantara *frequency hops* [33]. Demonstrasi perpindahan frekuensi terhadap waktu dalam sistem *frequency hopping* tertera pada Gambar 2.10.



Gambar 2.7 Ilustrasi *Frequency Hopping*

2.2.12 Repeater

Repeater atau penguat sinyal menerima isyarat dan mengirimkannya kembali dengan daya yang lebih tinggi, sehingga dapat menjangkau area yang lebih luas. Secara definisi, *repeater* menguatkan sinyal dengan tidak merubah informasi yang ditransmisikan dan bekerja pada *layer physical* jaringan.



Gambar 2. 8 *Repeater*[34]

Berdasarkan kebutuhan catuan dan komponen *amplifier*, *repeater* dibagi menjadi 2 jenis yaitu *repeater* aktif dan *repeater* pasif. *Repeater* aktif membutuhkan catuan dan komponen *amplifier*, sehingga di dalam blok diagram terdiri dari empat bagian yaitu antena *outdoor*, antena *indoor*, *amplifier*, dan saluran transmisi. *Repeater* pasif hanya memiliki tiga bagian yaitu antena *outdoor*, antena *indoor*, dan saluran transmisi karena tidak membutuhkan catuan dan komponen *amplifier* [35].

Ada beberapa jenis *repeater* di antaranya yaitu:

1. *Telephone Repeater*

Telephone repeater digunakan untuk meningkatkan jangkauan sinyal telepon di saluran telepon. *Repeater* ini dipasang di saluran telepon dengan sinyal yang menurun karena membawa panggilan jarak jauh.

2. *Optical Communications Repeater*

Optical communications repeater digunakan untuk meningkatkan jangkauan sinyal pada kabel serat optik. Informasi digital ditransmisikan melalui kabel serat optik dalam bentuk pulsa cahaya pendek. *Optical communications repeater* biasanya terdiri dari fototransistor yang mengubah pulsa cahaya menjadi sinyal listrik, penguat yang memperkuat kekuatan sinyal, filter elektronik yang membentuk kembali pulsa dan laser yang mengubah sinyal listrik menjadi cahaya dan mengirimkannya keluar sebagai sinyal serat lainnya.

3. *Radio Repeater*

Radio repeater biasanya memiliki antena yang berfungsi sebagai penerima dan pemancar. Jenis *repeater* ini mengubah frekuensi sinyal yang dapat diterima sebelum dipancarkan kembali [36].

4. *Passive Repeater*

Passive repeater merupakan relai gelombang mikro yang terdiri dari permukaan logam datar untuk memantulkan sinar gelombang mikro ke arah lain. Dapat digunakan untuk mendapatkan sinyal relai gelombang mikro di atas bukit dan pegunungan ketika tidak diperlukan untuk memperbesar sinyal.

5. *Cellular Repeater*

Cellular repeater digunakan untuk meningkatkan penerimaan telepon seluler di area terbatas. Perangkat ini bekerja seperti *small cellular base station* dengan

antena direksi untuk menerima sinyal dari menara seluler terdekat dan antenna lokal untuk menyiarkan ulang sinyal ke ponsel terdekat. Jenis *repeater* ini sering digunakan di gedung perkantoran di pusat kota.

6. *Digipeater*

Digipeater merupakan node *repeater* dalam jaringan radio paket. Perangkat ini dapat melakukan fungsi *store* dan *forward* serta meneruskan paket informasi dari satu node ke node lainnya [34].

2.2.13 *Amplifier*

Amplifier merupakan perangkat elektronik dengan fungsi meningkatkan kuat arus listrik yang diunakan dalam komunikasi *wireless* dan *broadcasting*. Ada beberapa tipe *amplifier* dalam rangkaian elektronik mulai dari *operational amplifiers* dan *signal amplifiers* sampai dengan *large signal* dan *power amplifiers*. Klasifikasi *amplifier* disesuaikan dengan bentuk sinyal, besar atau kecil, konfigurasi fisik dan hubungan antara sinyal *input* dengan arus yang mengalir pada beban [37].

Tabel 2.3 Klasifikasi *Signal Amplifier*[37]

Tipe Sinyal	Tipe Konfigurasi	Klasifikasi	Frekuensi Operasi
<i>Small Signal</i>	<i>Common Emitter</i>	<i>Class A Amplifier</i>	<i>Direct Current (DC)</i>
<i>Large Signal</i>	<i>Common Base</i>	<i>Class B Amplifier</i>	<i>Audio Frequencies (AF)</i>
	<i>Common Collector</i>	<i>Class AB Amplifier</i>	<i>Radio Frequencies (RF)</i>
		<i>Class C Amplifier</i>	<i>VHF, UHF, and SHF Frequencies</i>

2.2.14 RTL-SDR

Software Defined Radio (SDR) merupakan sistem komunikasi radio yang menggunakan perangkat lunak untuk modulasi dan demodulasi sinyal radio. Perancangan SDR ditujukan untuk menghasilkan radio yang dapat menerima dan mengirimkan bentuk baru dari *protocol* radio hanya dengan menjalankan perangkat lunak [38].



Gambar 2. 9 RTL-SDR USB

RTL-SDR dapat digunakan di komputer sebagai pendeteksi radio untuk menerima sinyal radio secara langsung tanpa menggunakan internet. Frekuensi yang dapat diterima tergantung pada varian tuner dan implementasi tertentu yang digunakan dalam *dongle*.

Tabel 2.4 Tabel rentang frekuensi RTL-SDR[39]

Tuner	Rentang Frekuensi
Elonics E4000	52 – 2200 MHz <i>with a gap from 1100 MHz to 1250 MHz (varies)</i>
Rafael Micro R820T/2/R860	24 – 1766 MHz (Dapat ditingkatkan hingga ~13 – 1864 MHz dengan eksperimen <i>drive</i>)
Fitipower FC0013	22 – 1100 MHz
Fitipower FC0012	22 – 948,6 MHz
FCI FC2580	146 – 308 MHz and 438 – 924 MHz (<i>gap in between</i>)

Kecepatan sampel maksimum RTL-SDR adalah 3,2 MS/s (mega sampel per detik). Namun, RTL-SDR tidak stabil pada kecepatan ini dan dapat menurunkan sampel. *Sample rate* maksimum yang tidak mengurangi sampel adalah 2,56 MS/s dimana beberapa pengguna beruntung dengan 2,8MS/s dan 3,2 MS/s bekerja dengan baik pada beberapa port USB 3.0 [39].

2.2.15 Teknik Slovin

Teknik Slovin digunakan dalam menentukan jumlah sampel yang akan digunakan pada penelitian. Teknik ini memiliki persamaan sebagai berikut.

$$n = \frac{N}{1+(Ne^2)} \tag{2.11}$$

Nilai n menyatakan jumlah sampel, N menyatakan jumlah total populasi dan e menyatakan besaran batas toleransi *error* dalam persen (%) [40].