

**DISERTASI**

**PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM KEAMANAN JARINGAN  
KOMUNIKASI PADA *SMART GRID***

*Modeling and Simulation of Communication Network Security Systems  
on Smart Grid*

**ISMINARTI**

**D053201010**



**PROGRAM STUDI DOKTOR ILMU TEKNIK ELEKTRO  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

# DISERTASI

## PEMODELAN DAN SIMULASI SISTEM KEAMANAN JARINGAN KOMUNIKASI PADA *SMART GRID*

**ISMINARTI**  
**D053201010**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Disertasi yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Doktor Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 14 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,



Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, S.T., M. Eng., IPU  
NIP. 197405301999031003

Co-Promotor



Dr. Ir. Amil Ahmad Ilham, ST., MT  
NIP. 197310101998021001

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT  
NIP. 197309262000121002



Ardiaty Ariel, ST., MIM., Ph.D  
NIP. 197804242001122001

Ketua Program Studi  
S3 Teknik Elektro



Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, MT  
NIP. 196012311987031022

## PERNYATAAN KEASLIAN DISERTASI DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : Isminarti  
Nomor mahasiswa : D053201010  
Program studi : S3 Teknik Elektro

Dengan ini menyatakan bahwa, disertasi berjudul “Pemodelan dan Simulasi Sistem Keamanan Jaringan Komunikasi pada Smart Grid” adalah benar karya saya dengan arahan dari komisi pembimbing Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, ST., M.Eng., IPU, Dr. Ir. Amil Ahmad Ilham, S.T, M.I.T dan Ir. Ardiaty Arief, ST., MTM, Ph.D. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka disertasi ini. Sebagian dari isi disertasi ini telah dipublikasikan di Prosiding IEEE Xplore, DOI: 10.1109/ICIC56845.2022.10006938 sebagai artikel dengan judul “Modeling and Simulation of Long Range (LoRa) Communication System on Smart Grid” dan di Jurnal ICIC Express Letters Part B, Volume 14, Nomor 5 Bulan Mei 2023 sebagai artikel dengan judul “Improved Data Security using Advanced Encryption Standard Algorithm on Long-Range Communication System at Smart Grid”.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa disertasi ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 06-03-2023

Yang menyatakan


Isminarti

## **PRAKATA**

Puji syukur kehadiran Allah SWT, shalawat salam dan taslim kepada baginda Rasulullah SAW, alhamdulillah penulisan laporan ujian disertasi dengan judul “Pemodelan dan Simulasi Sistem Keamanan Jaringan Komunikasi pada Smart Grid” dapat penulis susun dan selesaikan dengan baik.

Proses penyusunan laporan hasil penelitian ini penuh tantangan dan terima kasih yang sebesar – besarnya penulis ucapkan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Syafaruddin, ST., M.Eng., IPU. dan Bapak Dr. Ir. Amil Ahmad Ilham, ST., MIT. selaku co promotor 1 dan Ibu Ardiaty Arief, ST., MTM., Ph.D. selaku co promotor 2 yang telah meluangkan waktunya dengan intens sehingga laporan hasil penelitian ini dapat tersusun rapi dan sistematis.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. H. Salama Manjang, MT., Ibu Dr. Fitriyanti Mayasari, ST., MT., Bapak Dr. Yusran, ST., MT., Dr. Hasniaty, ST., MT., selaku komisi penguji internal dan Prof. Dr. Ir. Adit Kurniawan, M.Eng. sebagai penguji eksternal yang telah memberikan saran dan masukan selama penyusunan laporan disertasi ini.
3. Rektor Universitas Hasanuddin, Bapak Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc., Dekan Fakultas Teknik Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., M.T., beserta wakil dekan, Ketua Departemen Teknik Elektro, Ibu Dr. Eng. Ir. Dewiani, M.T., Ketua Program Studi S3 Teknik Elektro Bapak Prof. Dr. Ir. H. Andani Achmad, M.T., dan seluruh dosen Teknik Elektro serta kepada seluruh staf S3 Teknik Elektro yang selalu memberikan layanan prima selama proses pendidikan penulis.
4. Founder Bosowa Bapak H. Aksa Mahmud, Ketua Yayasan Aksa Mahmud Ibu Hj. Melinda Aksa, Head HRD Coorporate Bapak Cahyo Winarto, Managing Director Bapak Asrul Hidayat, ST., MT., Direktur Politeknik Bosowa Bapak Alang Sunding, S. ST., MT., yang telah memberikan izin kepada penulis untuk melanjutkan studi dan mendukung kegiatan penulis selama berstatus izin belajar. Wakil Direktur 1 Ibu Yoan Elviralita, S. ST.,

MT, Ketua program studi Teknik Mekatronika Ibu A. Fitriati, ST., MT dan rekan sejawat serta tenaga kependidikan Politeknik Bosowa atas doa dan dukungannya selama ini.

5. Para sahabat , TIM 15 dan mahasiswa program S3 Teknik Elektro UNHAS yang selalu memberikan bantuan baik informasi maupun masukan yang tak ternilai serta dukungan yang besar kepada penulis.

Ucapan terima kasih yang tak terhingga kepada semua keluarga tercinta, Ibu Dra. Hj. Rusmi Dahlan, Bapak (alm) Drs. H. Lukman, Suami Muhammad Taslim, ST., Anak – anak Afiqah Faiza Anindita, Afifah Faiqa Anindya, Muhammad Farzan Alghifari dan saudara – saudara yang telah memberikan semangat dan dukungan dalam pencapaian ini. Proses yang panjang ini Insya Allah berkah dan menjadi amal jariah untuk semuanya.

Penulis telah berusaha maksimal dalam penyusunan laporan disertasi penelitian ini, jika masih terdapat kekurangan, saran dan masukan senantiasa penulis harapkan demi kesempurnaan penelitian ini dan khususnya untuk pengembangan ilmu pengetahuan di masa depan.

Demikian yang dapat penulis ucapkan, mohon maaf jika ada salah kata *wabillahi taufik walhidayah, wassalamu alaikum warahmatullahi wabarakatuh.*

Gowa, 08 Oktober 2022

Isminarti

## ABSTRAK

**ISMİNARTI.** *Pemodelan dan Simulasi Sistem Keamanan Jaringan Komunikasi pada Smart Grid* (dibimbing oleh **Syafaruddin, Amil Ahmad Ilham, Ardiaty Arief**)

Sistem komunikasi jarak jauh (LoRa) pada jaringan cerdas (SG) semakin pesat dikembangkan oleh para peneliti dan pemangku kepentingan penyedia komunikasi dua arah, masalah keandalan sistem komunikasi menjadi tujuan utama pada peneliti ini karena semakin besar cakupan sistem komunikasi semakin besar kendala penerimaan data yang diterima mengalami gangguan. Penelitian ini menggunakan metode deskriptif-analitik mengkaji sistem komunikasi SG mulai dari pengembangan model yang ada di beberapa negara berkembang hingga model yang telah dikembangkan di Indonesia. Model sistem komunikasi yang dikembangkan adalah pada sistem komunikasi dan keamanan data. Teknik modulasi, saluran dan algoritma terbaik dipilih untuk menghasilkan kontribusi penelitian yaitu mengembangkan sistem komunikasi dan keamanan LoRa dengan nilai rata – rata kesalahan yang diukur menggunakan parameter rata – rata kesalahan bit (BER) terhadap  $E_bN_0$ , rata – rata kesalahan simbol (SER) terhadap  $E_sN_0$ , dan rata – rata kesalahan paket (PER) terhadap SNR. Penelitian ini menggunakan teknik modulasi spektrum sebaran kicauan (CSS), saluran derau gaussian putih aditif (AWGN) dan menggunakan algoritma standar enkripsi lanjutan (AES) 256 untuk meningkatkan kinerja LoRa dalam menjaga keamanan data pada proses pengiriman dan penerimaan pesan. Hasil simulasi MATLAB menunjukkan model sistem komunikasi yang dibangun dengan sistem keamanan data memiliki keandalan yang tinggi dalam pemrosesan waktu sebesar 1,239 ms dengan lebar pita yang terisi sebesar 99% akurat sesuai dengan standar ITU-R SM.328-10.

**Kata kunci :** keamanan, LoRa, tingkat kesalahan, CSS, AES, AWGN

## ABSTRACT

**ISMINARTI.** *Modeling and Simulation of Communication Network Security Systems on Smart Grid* (supervised by **Syafaruddin, Amil Ahmad Ilham, Ardiaty Arief**)

Researchers and stakeholders are rapidly developing long-range communication systems (LoRa) on smart grids. Long Range (LoRa) communication systems on smart grids are increasingly being developed by researchers and stakeholders, providing two-way communication. The problem of the reliability of the communication system is the primary goal of this research because the more significant the coverage of the communication system, the greater the obstacles to receiving data received. This study uses a descriptive-analytic method to examine smart grid communication systems starting from the development of existing models in several developing countries to models that have been developed in Indonesia. The communication system model developed is on communication systems and data security. The best modulation techniques, channels, and algorithms were chosen to produce research contributions. An average error value was measured using the bit error rate (BER) parameter for  $E_bN_0$ , symbol error rate (SER) for  $E_sN_0$ , and packet error rate (PER) for SNR. This study uses chirp spread spectrum (CSS) modulation techniques, channel additive white gaussian noise (AWGN), and uses the advanced encryption standard (AES) 256 algorithm to improve LoRa performance in maintaining data security in the process of sending and receiving messages. The MATLAB simulation results show that the communication system model built with a data security system has high reliability in the processing time of 1.239 ms. with bandwidth filled to 99% accurate according to ITU-R SM.328-10 standard.

**Keywords:** security, LoRa, error rate, CSS, AES, AWGN

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b>                       | <b>ii</b>   |
| <b>PRAKATA</b>                                  | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK</b>                                  | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRACT</b>                                 | <b>vi</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b>                               | <b>vii</b>  |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b>                            | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b>                             | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR LAMPIRAN</b>                          | <b>xii</b>  |
| <b>DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN</b>        | <b>xiii</b> |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b>                        | <b>1</b>    |
| A. Latar Belakang                               | 1           |
| B. Rumusan Masalah                              | 11          |
| C. Tujuan Penelitian                            | 12          |
| D. Manfaat Penelitian                           | 12          |
| E. Batasan Masalah                              | 12          |
| F. Kebaruan Penelitian (Novelty)                | 14          |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>                  | <b>19</b>   |
| A. Landasan Teori                               | 19          |
| 1. Jaringan Listrik Konvensional                | 19          |
| 2. <i>Smart Grid</i> (SG)                       | 20          |
| 3. Jaringan Komunikasi pada <i>Smart Grid</i>   | 22          |
| 4. Komunikasi dalam Sistem Distribusi SG        | 28          |
| 5. Sistem komunikasi LoRa                       | 32          |
| 6. Jaringan Nirkabel                            | 39          |
| 7. Topologi Jaringan                            | 41          |
| 8. Keandalan Jaringan                           | 42          |
| 9. Algoritma Advanced Encryption Standard (AES) | 44          |
| 10. MATLAB                                      | 49          |
| B. Penelitian Terkait                           | 50          |
| C. Kerangka Konsep Penelitian                   | 62          |



|  |            |
|--|------------|
| <b>BAB III METODE PENELITIAN</b>   | <b>64</b>  |
| A. Tahapan Penelitian  | 64         |
| B. Waktu dan Lokasi Penelitian   | 65         |
| 1. Waktu penelitian  | 65         |
| 2. Lokasi Penelitian   | 65         |
| C. Jenis Penelitian  | 65         |
| D. Rancangan Sistem  | 66         |
| 1. Identifikasi dari satu pelanggan dalam <i>home area network</i> (HAN)             | 71         |
| 2. Merancang model sistem komunikasi LoRa pada jaringan komunikasi.                  | 72         |
| 3. Menguji keandalan model berdasarkan <i>error rate</i> secara analitik dan numerik | 76         |
| E. Teknik Pengumpulan, Pengolahan dan Validasi Data                                  | 83         |
| <b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>  | <b>87</b>  |
| A. Hasil Penelitian  | 87         |
| 1. Model sistem komunikasi LoRa pada jaringan komunikasi                             | 87         |
| 2. Keandalan model berdasarkan <i>error rate</i> secara analitik dan numerik         | 89         |
| 3. Model sistem keamanan komunikasi LoRa menggunakan algoritma AES 256               | 92         |
| B. Pembahasan  | 98         |
| 1. Model sistem komunikasi LoRa  | 98         |
| 2. Keandalan model berdasarkan <i>error rate</i> secara analitik dan numerik         | 99         |
| 3. Model sistem keamanan komunikasi LoRa menggunakan algoritma AES 256               | 101        |
| <b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN</b>  | <b>104</b> |
| A. Kesimpulan  | 104        |
| B. Saran   | 105        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA</b>  | <b>106</b> |
| <b>LAMPIRAN</b>  | <b>112</b> |

## DAFTAR GAMBAR

|  |    |
|--|----|
| Gambar 1. Novelty penelitian   | 14 |
| Gambar 2 Hierarki jaringan listrik konvensional  | 19 |
| Gambar 3 Model konseptual jaringan SG (Ma et al., 2013)  | 21 |
| Gambar 4. Arsitektur jaringan end to end smart grid  | 24 |
| Gambar 5. Model stack referensi OSI pada LoRa  | 32 |
| Gambar 6. Perbandingan data rate dan jarak jangkauan teknologi nirkabel  | 40 |
| Gambar 7. Struktur Dasar AES (Muhammad Abdullah & Muhamad Abdullah, 2017; Singh et al., 2017)                                | 45 |
| Gambar 8. Kerangka Konsep Penelitian   | 63 |
| Gambar 9. Tahapan Penelitian   | 64 |
| Gambar 10. Model jaringan OSI 7 layers vs stack referensi OSI pada LoRa  | 68 |
| Gambar 11. Flowchart perancangan penelitian  | 70 |
| Gambar 12. Diagram blok LoRaWAN (De Carvalho Silva et al., 2017)   | 71 |
| Gambar 13. Sistem komunikasi LoRa pada HAN   | 72 |
| Gambar 14. Desain model sistem komunikasi LoRa pada jaringan komunikasi NAN.   | 73 |
| Gambar 15. Model pemancar pada sistem komunikasi LoRa  | 74 |
| Gambar 16. Model penerima pada sistem komunikasi LoRa  | 75 |
| Gambar 17. Flowchart program utama   | 78 |
| Gambar 18. Model pemancar sistem keamanan komunikasi LoRa  | 79 |
| Gambar 19. Model penerima sistem keamanan komunikasi LoRa  | 80 |
| Gambar 20. Model Optimasi algoritma AES pada proses enkripsi dan dekripsi  | 81 |
| Gambar 21. Jaringan komunikasi LoRa menggunakan SX1276   | 85 |
| Gambar 22. Simulasi SINR   | 87 |
| Gambar 23. <i>Occupied bandwidth</i>   | 88 |
| Gambar 24. Probabilitas kesalahan bit dengan deteksi koheren dan nonkoheren menggunakan saluran AWGN dan <i>Rayleigh</i>     | 89 |
| Gambar 25. Probabilitas kesalahan simbol dengan deteksi koheren dan non-koheren menggunakan saluran AWGN dan <i>Rayleigh</i> | 90 |

|  |    |
|--|----|
| Gambar 26. Probabilitas kesalahan paket dengan deteksi koherent dan nonkoherent menggunakan saluran AWGN dan <i>Rayleigh</i> | 91 |
| Gambar 27. Hasil simulasi pesan yang telah dienkripsi (a). Simulasi dari proses enkripsi dan (b). Simulasi proses dekripsi   | 93 |
| Gambar 28. Spektogram transmisi paket LoRa (a) tanpa sistem keamanan (b) dengan sistem keamanan                              | 94 |
| Gambar 29. Lebar <i>bandwidth</i> yang terisi (a). Tanpa keamanan dan (b). Dengan keamanan                                   | 94 |
| Gambar 30. Grafik uji coba pembacaan tegangan secara <i>realtime</i> pada <i>server</i>                                      | 97 |
| Gambar 31. Grafik uji coba tampilan arus secara <i>realtime</i> pada <i>server</i>   | 97 |
| Gambar 32. Grafik uji coba pembacaan faktor daya secara <i>realtime</i> pada <i>server</i>                                   | 97 |
| Gambar 33. Proses pengujian sistem keamanan dengan 16 karakter input   | 98 |

## DAFTAR TABEL

|   |    |
|---|----|
| Tabel 1. Kelompok Pelanggan PLN (Samuddin Harsanto, 2020)   | 3  |
| Tabel 2. Standar komunikasi pada SG (Ogbodo et al., 2017)   | 6  |
| Tabel 3. Matriks perbandingan literatur terkait dan kebaruan penelitian   | 16 |
| Tabel 4. Perbedaan jaringan listrik konvensional dan <i>smart grid</i>  | 21 |
| Tabel 5. Arsitektur <i>Smart Grid</i> (Ogbodo et al., 2017)   | 25 |
| Tabel 6. LoRa <i>packet</i> parameter   | 33 |
| Tabel 7. Perbandingan jangkauan komunikasi nirkabel   | 40 |
| Tabel 8. Jangkauan komunikasi LoRa  | 40 |
| Tabel 9. Spesifikasi topologi <i>star</i>   | 42 |
| Tabel 10. Tabel substitusi S-Box (Muhammad Abdullah & Muhamad Abdullah, 2017; Rothke, 2007; Singh et al., 2017) | 47 |
| Tabel 11. Tabel <i>diffusion</i> D-Box (Daemen & Rijmen, 2002; Rothke, 2007; Singh et al., 2017)                | 47 |
| Tabel 12. Rancangan penelitian dan publikasi capaian  | 66 |
| Tabel 13. Parameter input sistem komunikasi LoRa  | 84 |
| Tabel 14. Simulasi SINR terhadap BER, SER, dan PER  | 88 |
| Tabel 15. Hasil simulasi BER terhadap $E_bN_0$  | 90 |
| Tabel 16. Hasil simulasi SER terhadap $E_sN_0$  | 91 |
| Tabel 17. Hasil simulasi PER terhadap SNR   | 92 |
| Tabel 18. Waktu pemrosesan AES 256  | 93 |
| Tabel 19. Waktu pemrosesan menggunakan algoritma AES 128  | 95 |
| Tabel 20. Membandingkan waktu proses AES 128 dan 256  | 96 |

## **DAFTAR LAMPIRAN**

|  |     |
|--|-----|
| Lampiran 1. Listing program sistem komunikasi LoRa                           | 112 |
| Lampiran 2. Karya ilmiah/artikel yang telah dipublikasikan selama Pendidikan | 161 |
| Lampiran 3. Biodata  | 167 |

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

| Lambang/singkatan | Arti dan Keterangan  |
|-------------------|--|
| LoRa              | <i>Long Range</i>  |
| SG                | <i>Smart Grid</i>  |
| IoT               | <i>Internet of things</i>  |
| SM                | <i>Smart Metering</i>  |
| SF                | <i>Spreading Factor</i>  |
| Bw                | <i>Bandwidth</i>   |
| CR                | <i>Coding Rate</i>   |
| BER               | <i>Bit Error Rate</i>  |
| SER               | <i>Symbol Error Rate</i>   |
| PER               | <i>Packet Error Rate</i>   |
| SNR               | <i>Signal-to-Noise Ratio</i>   |
| CSS               | <i>Chirp Spread Spectrum</i>   |
| AWGN              | <i>Additive White Gaussian Noise</i>   |
| AES               | <i>Advanced Encryption Standard</i>  |
| RSSI              | <i>Received Signal Strength Indicator</i>  |
| $E_bN_0$          | <i>Power spectral density of bit energy to noise</i><br>kerapatan spektral daya energi bit terhadap <i>noise</i>       |
| $E_sN_0$          | <i>Power spectral density of signal energy to noise</i><br>kerapatan spektral daya energi sinyal terhadap <i>noise</i> |

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Munculnya energi terbarukan dan meningkatnya penggunaan berbagai sumber daya energi terdistribusi telah membuat jaringan listrik perlu memfasilitasi aliran listrik dua arah. Untuk menstabilkan parameter operasional dan menyeimbangkan profil beban serta kemampuan aliran energi dua arah, jaringan listrik yang ada harus dioperasikan secara efisien menggunakan teknologi kontrol dan monitoring. Evolusi jaringan listrik *next generation* yang dikenal sebagai *smart grid* (SG) dan teknologi yang digunakan untuk mengubah jaringan listrik yang ada menjadi SG harus dapat diandalkan, terukur, dapat dioperasikan, aman, dan hemat biaya (Pramudhita et al., 2018).

Teknologi pembangkit listrik berkembang pesat seiring dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi. Ketersediaan tenaga listrik yang andal (reliability), efektif dan efisien merupakan faktor yang sangat penting dalam perkembangan teknologi SG. Kebutuhan listrik oleh masyarakat semakin meningkat seiring dengan semakin banyaknya perangkat elektronik canggih yang menggunakan tenaga listrik. Solusi kebutuhan listrik di Indonesia sangat besar sehingga teknologi SG yang menggabungkan teknologi informasi dan komunikasi digital dua arah khususnya *Internet of Things* (IoT) menjadi kebutuhan listrik masa depan karena dianggap mampu meningkatkan keandalan, efisiensi dan ketahanan sistem, mengakomodir utilitas/perangkat teknologi yang ada serta meningkatkan peran konsumen secara berkesinambungan.

Berdasarkan definisi U.S. *Department of Energy* (DoE), SG adalah energi jaringan listrik yang mampu memecahkan masalah arus informasi, peningkatan konsumsi, pemborosan energi, keandalan dan keamanan di jaringan listrik konvensional (Pramudhita et al., 2018). SG juga melibatkan penerapan komunikasi canggih dengan teknologi kontrol dan praktik untuk meningkatkan keandalan, efisiensi, dan keamanan yang merupakan unsur utama dalam modernisasi berkelanjutan dalam infrastruktur pengiriman listrik (Scala & Bruno, 2017).

PT PLN (Persero) adalah perusahaan Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bertugas melayani seluruh kebutuhan listrik masyarakat Indonesia. Perusahaan Listrik Negara (PLN) adalah badan usaha tunggal yang diberi kepercayaan dan kewenangan oleh Pemerintah dalam pengadaan dan pemberdayaan energi listrik di seluruh Indonesia. Kegiatan PLN dalam menjalankan usaha penyediaan tenaga listrik dimulai dari pembangkit, transmisi, distribusi, perencanaan dan pembangunan sarana penyediaan energi listrik (Ifanda, Toha Zaki, 2014).

*Pilot Project* SG PLN di Indonesia (Maheswari M. & Gunasekharan S., 2019) :

1. Tahun 2014 berlokasi di Jakarta, melakukan pengujian *short message service* (SMS) untuk peralatan meter eksternal dua arah, tujuannya adalah melaksanakan komunikasi dua arah menggunakan SMS untuk *base transceiver station* (BTS) dan papan reklame,



2. Tahun 2016 berlokasi di Denpasar Bali, menguji teknologi komunikasi untuk *smart meter* (SM), tujuannya adalah memasang 1000 lebih meter dua arah di bali menggunakan *low power wide area network* (LPWAN),
3. Tahun 2017 menguji teknologi komunikasi untuk SM, tujuannya adalah membuat simulasi bisnis untuk layanan data/multimedia dan *smart home* menggunakan jaringan seluler (3G/4G) di BSD Serpong.

Kebutuhan akan listrik dari sisi pelanggan sangat besar dan meningkat terus dari tahun ke tahun seperti pada Tabel 1 berikut :

Tabel 1. Kelompok Pelanggan PLN (Samuddin Harsanto, 2020)

| Kelompok Pelanggan – PLN | Pelanggan PLN     |                   |                   |                   |                   |
|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                          | 2014              | 2015              | 2017              | 2018              | 2019              |
| Sosial                   | 1.182.086         | 1.261.839         | 1.490.175         | 1.561.334         | 1.664.092         |
| Rumah Tangga             | 53.352.906        | 56.649.029        | 63.670.247        | 66.160.140        | 69.702.979        |
| Bisnis                   | 2.613.834         | 2.895.276         | 3.083.014         | 3.754.972         | 3.828.337         |
| Industri                 | 60.143            | 65.353            | 80.201            | 90.964            | 107.513           |
| Publik                   | 330.200           | 343.065           | 419.322           | 448.281           | 494.926           |
| <b>Semua Pelanggan</b>   | <b>57.539.169</b> | <b>61.214.562</b> | <b>68.742.959</b> | <b>72.015.691</b> | <b>75.797.847</b> |

Data statistik bps kelompok pelanggan PLN menggambarkan dominasi pelanggan rumah tangga sebesar 92% setiap tahun dan meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk (Samuddin Harsanto, 2020). Kebutuhan akan listrik menjadi perhatian khusus pemerintah sehingga beberapa program peningkatan kualitas layanan menjadi *roadmap* riset PT. PLN.

Penelitian ini fokus pada pemodelan dan simulasi teknologi informasi dan komunikasi pada sistem *smart grid* dimana beberapa media fisik yang digunakan untuk komunikasi pengukuran cerdas menggunakan *wireless* dalam hal ini menggunakan standar komunikasi LoRa/*wifi*. Penelitian ini juga meningkatkan sistem keamanan komunikasi LoRa menggunakan algoritma AES 256. Aplikasi *internet of things* (IoT) menggunakan teknologi nirkabel LoRa yang memiliki keunggulan dalam jangkauan 10-20 km, konsumsi daya, pita radio, dan pita *Industrial, Scientific, and Medical* (ISM) yang tidak berlisensi, sehingga hemat anggaran. Keakuratan informasi yang dihasilkan oleh perangkat ini merupakan faktor penting untuk pengiriman daya yang andal dari pembangkit ke pengguna akhir di SG (Seneviratne, 2019). Kinerja jaringan terbagi menjadi dua faktor, faktor intrinsik (perangkat keras, perangkat lunak, protokol komunikasi, dan sebagainya) dan faktor ekstrinsik (kondisi cuaca, agen jahat, serangan teroris, dan lain-lain) (Astudillo León & de la Cruz Llopis, 2019). Kontribusi dari penelitian ini adalah pada kedua faktor tersebut yaitu memodelkan, mensimulasikan dan mengimplementasikan sistem komunikasi LoRa pada *smart grid* menggunakan modulasi CSS untuk meningkatkan LoRa dalam mengirim dan menerima pesan serta menjamin keamanan data berlapis menggunakan algoritma AES 256 untuk menghasilkan optimasi waktu pemrosesan data. *Bandwidth* yang terisi 99% akurat sesuai dengan standar ITU-R SM.328-10 (Sm, 1999) dan paket yang diterima pada sisi penerima berhasil diterima dengan tingkat keamanan yang tinggi dengan waktu pemrosesan yang lebih cepat.

Inti dari SG ada pada lapisan komunikasi dan menyediakan interkoneksi antara semua perangkat dan sistem yang sesuai. Saat ini, dalam domain pembangkit dan transmisi sistem tenaga, infrastruktur komunikasi konvensional telah tersedia untuk membangun komunikasi antara gardu induk besar. Gardu induk ini terhubung dengan pusat kendali utilitas dan jaringan pihak ketiga terutama melalui jaringan *backbone bandwidth* tinggi menggunakan *Digital Subscriber Line (DSL)*, *fiber*, atau kabel. Domain distribusi biasanya merupakan area geografis yang luas yang berisi sejumlah besar gardu induk, peralatan *feeder*, fasilitas penyimpanan, aset distribusi, dan pengguna akhir. Oleh karena itu, untuk mengaktifkan aplikasi pemantauan dan kontrol jaringan yang luas, secara fungsional WAN tetap menjadi *hub* untuk jaringan *end to end (E2E)* SG karena menghubungkan semua domain lapisan tenaga listrik.

Saat ini sejumlah besar data penginderaan yang dihasilkan oleh sejumlah sensor, dikumpulkan di dunia maya melalui platform *cloud*, sementara jumlah data melalui jaringan meningkat dengan cepat. IoT adalah sebuah gagasan yang mengimplementasikan teknologi *cyber-fisik* dengan menghubungkan berbagai perangkat (things) ke *Internet*. Aplikasi IoT menggunakan beberapa teknologi nirkabel seperti *long range (LoRa)* yang memiliki keunggulan antara lain rentang cakupan 10–20 km, Konsumsi daya 32 mA, *radio band, unlicensed dari ISM bands* sehingga *low budget, radio spectrum*, 868, 915, 923 dan 433 MHz, konsumsi daya 290 bps–50 kbps, LPWAN, Jangkauan lebih jauh, daya baterai rendah, LTE-M, Sigfox (memiliki jarak transmisi ultralong 50 km, hemat energi tetapi jumlah transmisi harian dibatasi) (Osman & Abbas, 2018), *narrowband IoT (NB-IoT)*,

IEEE 802.15.4, untuk menghubungkan sensor perangkat nirkabel ke IoT dan pengurangan konsumsi energi.

Adapun fitur utama standar komunikasi SG dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini :

Tabel 2. Standar komunikasi pada SG (Ogbodo et al., 2017)

| <b>Standar Komunikasi</b>           | <b>Data Rate</b>   | <b>Konsumsi Daya</b> | <b>Deployment Cost</b>        | <b>SG Segment</b>   | <b>Distance Covered &amp; Latency</b> | <b>SG Applications</b>                 |
|-------------------------------------|--------------------|----------------------|-------------------------------|---------------------|---------------------------------------|--|
| Power Line Communication (PLC)/BPLC | High               | Medium               | Medium/Low<br>(Existing Line) | HAN/<br>NAN         | Long range,<br>Low latency            | Distribution Automation, AMI           |
| Optic Fibre                         | Very High          | Medium               | High                          | NAN/<br>WAN         | Long range,<br>Low                    | Core/Backhaul Infrastructure           |
| ADSL/DSL                            | High               | Medium               | High                          | HAN/<br>NAN/<br>WAN | Long range,<br>Low                    | AMI, SCADA DA                          |
| WIFI                                | Very high/<br>High | Medium               | Low                           | HAN/<br>NAN         | Medium range,<br>Low                  | DA, AMI, DER, DRM                      |
| Cellular/GSM/GPRS                   | Low                | Medium               | Low                           | HAN/<br>NAN/<br>WAN | Long range,<br>High                   | Distribution Substation                |
| LTE-A                               | Very high          | High                 | Low                           | HAN/<br>NAN/<br>WAN | Long range,<br>Low                    | SG wireless Surveillance, SCADA, WASA  |
| ZigBee                              | Low                | Low                  | Low                           | HAN                 | Short range,<br>Low                   | Home Automation, AMI, DRM, DER, DA     |
| Bluetooth                           | Low                | Low                  | Low                           | HAN                 | Short range,<br>Medium                | Home Automation                        |
| WIMAX                               | Very high          | High                 | Medium                        | HAN/NA<br>N/WAN     | Long Range,<br>Medium                 | Distribution Automation (DA), AMI, DER |
| Satellite                           | Very high/<br>high | High                 | High                          | HAN/NA<br>N/WAN     | Long range,<br>High                   | AMI, DA, SCADA                         |

| Standar Komunikasi | Data Rate      | Konsumsi Daya | Deployment Cost | SG Segment      | Distance Covered & Latency | SG Applications                               |
|--------------------|----------------|---------------|-----------------|-----------------|----------------------------|---|
| LoRa               | Low            | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | Home Automation, AMI                          |
| Sigfox             | Low            | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | Home Automation, DA                           |
| RPMA               | Medium/Lo<br>w | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | AMI, DRM, DA                                  |
| NB-IoT             | Low            | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | AMI, DRM, DA                                  |
| LTE Cat-1          | Medium/Lo<br>w | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | SG Wireless Surveillance, SCADA, DER, DRM, DA |
| LTE-M1             | Low            | Low           | Low             | HAN/NA<br>N/WAN | Long range,<br>Low         | SCADA, DER, DRM, WASA, DA                     |

Data Rate Range : Very low (1 kbps to <250 kbps), Low (250 kbps to 1000kbps(1 Mbps)), Medium (>1 Mbps – 10 Mbps), High (>10Mbps to 100 Mbps, Very high (>100M)

Standar komunikasi seperti ZigBee (Jha et al., 2021) memiliki fitur canggih dengan kompleksitas rendah, daya rendah, dan harga murah tetapi dibatasi oleh jangkauan transmisinya, yang hanya 10-75 meter sehingga hanya unggul di HAN. Keunggulan sistem komunikasi LoRa yang sangat sesuai dengan kondisi Indonesia menjadikan sistem komunikasi ini menjadi *pilot project smart grid* PT. PLN sesuai dengan RPTJM 2020-2024 dan yang telah ditetapkan sebagai salah satu Proyek Strategi Nasional sesuai PERPRES No. 18 tahun 2020.

PT. PLN untuk meter listrik pintar (smart meter) LoRa di Puri Gading, Bali yang telah menggunakan teknologi LoRa 2-Way Hybrid Smart Meter yang sejalan dengan program Bali *Smart Eco Grid*.

Pengembangan *smart grid* ini ditujukan untuk meningkatkan efisiensi yang salah satunya dilakukan dengan mengimplementasikan teknologi SG. Dengan teknologi LoRa, terjadi komunikasi dua arah dengan meter. Sebagai contoh, pelanggan PLN dapat memantau kondisi meteran listrik mereka tanpa perlu ke lokasi. Pelanggan juga dapat mengisi ulang token listrik tanpa perlu melakukan input ke dalam meteran listrik seperti yang selama ini biasa dilakukan. Pelanggan akan mendapatkan notifikasi dari sistem terkait hal tersebut. PLN juga mendapatkan manfaat dari teknologi ini. Sebagai contoh, PLN dapat mengubah status pelanggan dari prabayar ke pascabayar secara remote. Selain meningkatkan efisiensi, inovasi ini akan mempermudah pelanggan dalam mengakses meter listrik.

Ada beberapa alasan memilih teknologi LoRa untuk meter listrik pintar, teknologi ini beroperasi sama dengan jaringan telepon selular, termasuk teknologi yang relatif sangat baru, serta berbiaya rendah yang cocok diterapkan untuk pelanggan rumah tangga PLN.

*Road map* SG PT. PLN tahun 2021 – 2025 memiliki tujuan keandalan, efisiensi, *customer experience* dan produktivitas grid (Maheswari M. & Gunasekharan S., 2019). Parameter keandalan sistem komunikasi *smart metering (SM)* adalah dari jarak maksimum, kuat sinyal dan kualitas jaringan pada kondisi *indoor - outdoor* serta ketinggian berbeda, dan tingkat terjadinya tabrakan ketika transmisi dilakukan (To & Duda, 2018). Menurut standar ITU-T Y.2060 Jaringan komunikasi menyediakan kemampuan untuk transfer data yang andal dan efisien (Networks, 2012).

L. C. Hwang dkk meneliti keandalan LoRa dengan merencanakan pendekatan teoritis untuk mengembangkan model saluran LoRa pada SG yang mempertimbangkan redaman propagasi, efek bayangan, dan *multipath fading*. Model teoritis digunakan untuk mengembangkan APP yang dapat memperkirakan jarak transmisi LoRa. Untuk memverifikasi kelayakan APP ini, eksperimen menggunakan parameter yang berbeda untuk lingkungan dan transmisi. Setiap percobaan memberikan tingkat kesalahan paket untuk transmisi antara dua node. Tingkat kesalahan paket diperoleh dengan pengukuran, dan jarak antar *node* diperkirakan secara teoritis. Hasil menunjukkan bahwa model dan APP layak. Penelitian ini juga menemukan bahwa pengaruh faktor penyebaran tidak sebesar yang dikemukakan oleh teori. Kontribusi penelitian ini ada dua yaitu model saluran teoritis dan APP praktis (Hwang et al., 2019). Tiga faktor mempengaruhi kinerja LoRa yaitu Jarak (*distance*) menjadi faktor utama, Hambatan (*obstacles*) dan Kebisingan (*noise*) yang menghasilkan keacakan.

*End device platform* IoT adalah objek pintar dengan kemampuan penginderaan, pemrosesan, dan jaringan yang andal di lingkungan SG. Peneliti yang lain menyelidiki keandalan LoRa yaitu dengan efek respon *impuls channel* yang kemudian dapat dipetakan dari keluaran korelator. Dalam modulasi LoRa standar, adanya interferensi *multipath* adalah kondisi dimana sinyal datang melalui satu atau lebih jalur yang secara tidak langsung menimbulkan masalah pada *demodulator* LoRa karena puncak korelasi yang kuat yang disebabkan oleh jalur ini akan bersaing dengan simbol yang ditransmisikan sehingga meningkatkan nilai SER (Scala & Bruno, 2017). Penelitian ini membandingkan *Power Line*

*Communicationn* (PLC) dengan LoRa dan menganalisa kondisi perangkat terhadap efek SER dan PER. Parameter BER tidak dijadikan sebagai pertimbangan sehingga masih belum lengkap. Peneliti lain menganalisis kinerja komunikasi *point-to-point* menggunakan modul *end device* LoRa. Dalam komunikasi satu arah sederhana, panjang *payload optimum* adalah 48 byte untuk mendapatkan PRR di atas 98%. Protokol *waiting* dapat mengkompensasi penerimaan paket yang lebih lama dengan menerapkan waktu *idle* untuk menunggu penerima selesai membaca semua data paket. Protokol *waiting* dapat meningkatkan nilai PRR untuk paket 100 byte dari 49,87% menjadi 97,52%. Penelitian ini menemukan bahwa jarak maksimum dalam ruangan dengan rintangan adalah 45 meter untuk mencapai PRR di atas 97%. Namun, jarak maksimum ini hanya berlaku untuk komunikasi *point-to-point* (Triwidyastuti, 2019). Penelitian ini tidak mempertimbangkan kondisi *outdoor*, parameter SF, CR dan Bw.

Meskipun tujuan pengembangan SM tidak hanya menguntungkan jaringan tenaga listrik, hal itu menawarkan potensi manfaat yang signifikan untuk perencanaan, operasi dan manajemen jaringan listrik. Analisis beban *real* dan tegangan yang diperoleh dari SM akan memungkinkan peningkatan pemanfaatan aset jaringan distribusi, infrastruktur komunikasi, pengukuran cerdas yang kuat yang memenuhi persyaratan latensi rendah, *bandwidth* tinggi, dan kualitas layanan (QoS) tinggi.



## **B. Rumusan Masalah**

1. Model sistem komunikasi LoRa di Indonesia khususnya di daerah timur Indonesia masih belum ada, Pihak PT. PLN sampai saat ini masih membangun infrastruktur jaringan internet ICONNET dengan produk yang bernama ICON+ yang merupakan solusi layanan internet broadband yang andal (reliable), terjangkau (affordable) dan tanpa batas (unlimited) untuk mendukung kehadiran SG di Indonesia Timur khususnya kota Makassar. Jaringan internet ICON+ akan menjadi salah satu pendukung sistem komunikasi SG dalam membangun infrastruktur SG dikombinasikan dengan sistem komunikasi LoRa,
2. Masalah keandalan sistem informasi dan komunikasi di dunia dan khususnya di Indonesia dalam hal gangguan menjadi perlu untuk dikaji sehingga mampu meningkatkan keandalan sistem komunikasi pada SG yang ada,
3. Keandalan sistem informasi dan komunikasi dalam hal keamanan menjadi hal penting dengan berbagai masalah serangan dunia maya yang berbahaya sehingga dibutuhkan cara untuk meningkatkan keamanan data dan waktu pemrosesan keamanan data yang optimal untuk menghindari kerusakan infrastruktur dasar dan gangguan komunikasi antara jaringan dan pengguna.

### **C. Tujuan Penelitian**

1. Mengembangkan model sistem komunikasi LoRa untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi pada SG,
2. Meningkatkan keamanan data menggunakan Algoritma AES 256 pada lapisan *physical* (PHY).
3. Meningkatkan kinerja sistem komunikasi dengan waktu pemrosesan data lebih cepat menggunakan Algoritma AES 256.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. Hasil pemodelan sistem komunikasi LoRa pada SG akan berkontribusi dalam pembangunan dan pengembangan infrastruktur SG di Indonesia khususnya di Makassar untuk mensupport renstra PT. PLN,
2. Keandalan sistem komunikasi data dalam menjaga keamanan data pada lapisan PHY menggunakan Algoritma AES 256 menjadi kontribusi besar untuk pengembangan keamanan SG,
3. Keandalan sistem komunikasi data dalam meningkatkan kinerja sistem komunikasi dengan waktu pemrosesan data lebih cepat menggunakan Algoritma AES 256.

### **E. Batasan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan pada bagian A, penelitian ini fokus pada sistem komunikasi SG dengan batasan sebagai berikut :

1. Jaringan komunikasi SG fokus pada konsep komunikasi data,
2. Standar komunikasi menggunakan LoRa,

3. Menggunakan standar komunikasi pada frekuensi 915 MHz,
4. Sistem keamanan menggunakan algoritma AES 256 dan saluran AWGN,
5. Pemodelan dan simulasi menggunakan MATLAB,

Pembahasan keseluruhan dari disertasi ini adalah sebagai berikut :

Bab 1 Menjelaskan latar belakang penelitian ini diangkat yaitu berdasarkan isu terkait pembangunan infrastruktur baru *smart grid* di Indonesia dan pengembangannya di beberapa wilayah barat indonesia, regulasi pemerintah, Penelitian terkait pemodelan dan simulasi sistem keamanan jaringan komunikasi pada smart grid di beberapa negara di dunia.

Bab 2 menjabarkan referensi terkait dengan penelitian secara umum tentang jaringan listrik konvensional, yang berkembang menjadi SG, dan secara khusus membahas jaringan komunikasi pada SG. Komunikasi dalam sistem transmisi mencakup gelombang pembawa, teknik modulasi menggunakan *chirp spread spectrum* (CSS), saluran AWGN, deteksi koheren, teknologi LoRa (long range) dan regulasi pemerintah mengenai sistem komunikasi serta pemanfaatan frekuensi *unlicensed*. Bab ini juga membahas proses enkripsi dan dekripsi pada pengirim dan penerima menggunakan algoritma AES 256.

Bab 3 memaparkan metode penelitian yang digunakan yaitu deskriptif analitik dimana waktu dan lokasi penelitian dibahas, perancangan model sistem komunikasi LoRa dan sistem keamanan menggunakan algoritma AES 256.

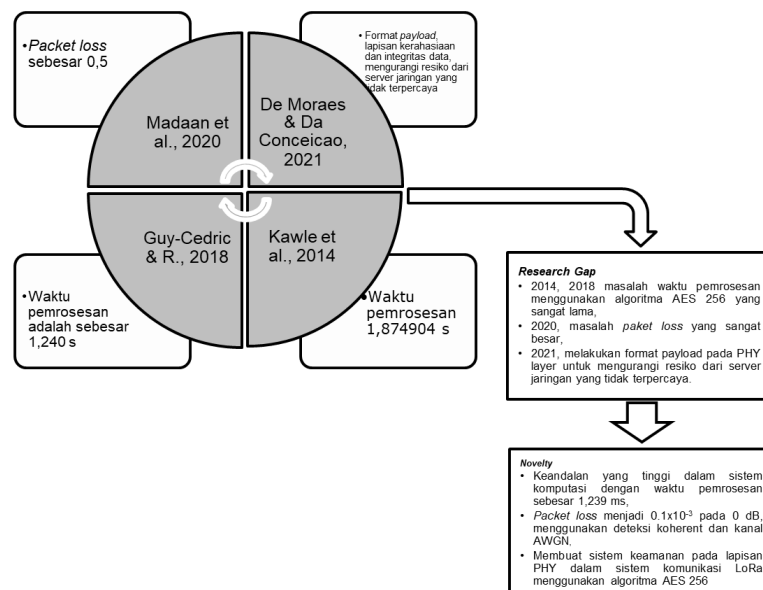
Bab 4 membahas hasil studi menyeluruh tentang model sistem komunikasi LoRa, sistem keamanan AES 256 serta optimasi waktu pemrosesan menggunakan metode AWGN yang menjadi kontribusi dalam penelitian ini.

Bab 5 memberikan kesimpulan umum dan saran serta pengembangan penelitian di masa depan.

## F. Kebaruan Penelitian (Novelty)

Penelitian ini memberikan kebaruan dan kontribusi yang besar untuk perkembangan sistem teknologi, informasi dan komunikasi serta sistem keamanan LoRa pada SG. Adapun kebaruan dari penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1 yang terdiri dari 3 bagian utama yaitu :

1. Mengembangkan model sistem komunikasi LoRa untuk meningkatkan keandalan sistem komunikasi pada SG,
2. Meningkatkan keamanan sistem komunikasi LoRa pada lapisan PHY menggunakan algoritma AES 256,
3. Meningkatkan waktu pemrosesan data menggunakan Algoritma AES 256.



Gambar 1. Novelty penelitian

Pada gambar 1 bagian 1 model sistem komunikasi LoRa yang andal dibangun dengan mempertimbangkan efek *error rate* yaitu BER, SER dan PER dimana beberapa referensi hanya mempertimbangkan unsur PER atau BER atau juga SER. Novelty yang ditemukan pada bagian ini adalah pada pengurangan nilai *packet loss* sebesar  $0.1 \times 10^{-3}$  dengan membandingkan penelitian sebelumnya yang mengukur *packet loss* sebesar 0,5 (Madaan et al., 2020) . Bagian 2 meningkatkan keamanan sistem komunikasi LoRa pada lapisan PHY menggunakan algoritma AES 256 dimana dinyatakan oleh *National Institute of Standards and Technology* (NIST) telah merekomendasikan penerapan algoritma kriptografi AES dengan beberapa mode operasi, tetapi yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Cipher Block Chaining* (CBC) (De Moraes & Da Conceicao, 2021). Bagian 3 Meningkatkan waktu pemrosesan data menggunakan Algoritma AES 256 dimana waktu pemrosesan adalah sebesar 1,239 ms sedangkan peneliti sebelumnya sebesar 1,240 s (Guy-Cedric & R., 2018) dan 1,874904 s (Kawle et al., 2014).

Kebaruan penelitian ini adalah mengembangkan (improvement) penelitian yang telah ada. Adapun matriks dari kebaruan penelitian dibandingkan dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada table 3 berikut :

Tabel 3. Matriks perbandingan literatur terkait dan kebaruan penelitian

| Tujuan penelitian  | Parameter        | Kebaruan penelitian                         | Penelitian Sebelumnya              | Tahun                  | Referensi   |
|--|------------------|---|------------------------------------|------------------------|---|
| Model sistem komunikasi LoRa untuk meningkatkan keandalan sistem | keandalan sistem | Mengurangi error rate pada BER, SER dan PER | PER                                | 2021, 2020, 2019, 2018 | (Osman & Abbas, 2018; To & Duda, 2018)<br>(Almeida et al., 2020; Hwang et al., 2019; Nur-A-Alam et al., 2021) |
|  |                  |   | Jarak, redaman dan <i>pathloss</i> | 2016                   | (Petäjajarvi et al., 2016)  |
|  |                  |   | Penyebaran energi                  | 2017                   | (Liao et al., 2017)   |

| Tujuan penelitian    | Parameter          | Kebaruan penelitian   | Penelitian Sebelumnya   | Tahun                            | Referensi  |
|----------------------|--------------------|---|---|----------------------------------|--|
| Sistem keamanan LoRa | Infrastruktur LoRa | Sistem komunikasi LoRa pada lapisan PHY   | Interoperabilitas standar, akses kognitif ke spektrum radio tanpa izin, dan keamanan siber          | 2020, 2013                       | (Jebroni et al., 2020; Ma et al., 2013; Yi et al., 2020) |
|                      |                    |   | BPLC WiMAX  | 2019, 2017                       | (Ogbodo et al., 2017; Zhang et al., 2019)                |
|                      |                    |   | LORAWAN   | 2016                             | (Schroder Filho et al., 2016)                            |
|                      | Arsitektur         | Protokol LoRa, packet loss $0.1 \cdot 10^{-3}$ pada 0 dB, menggunakan algoritma AES 256, SX1276                               | Desain sistem M2M   | 2016                             | (Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016)                     |
|                      |                    |   | Autentikasi dua arah antara dan <i>smart meter</i> dan utilitas, mengkaji arsitektur protocol LPWAN | 2021                             | (Studies & Panagi, 2021)                                 |
|                      |                    | Format <i>payload</i> , lapisan kerahasiaan dan integritas data, mengurangi resiko dari server jaringan yang tidak terpercaya | 2021  | (De Moraes & Da Conceicao, 2021) |  |

| Tujuan penelitian  | Parameter | Kebaruan penelitian  | Penelitian Sebelumnya  | Tahun        | Referensi                                       |
|--|-----------|--|--|--------------|---|
|  |           |  | Protokol jaringan LoRa multi-hop menggunakan modul MultiTech mDot, | 2020         | (Mai & Kim, 2020)                               |
|  |           |  | <i>Packet loss</i> 0.5, algoritma AES, menggunakan SX1278          | 2020         | (Madaan et al., 2020)                           |
| Sistem keamanan LoRa untuk meningkatkan waktu pemrosesan | Algoritma | Meningkatkan waktu pemrosesan data menggunakan Algoritma AES 256 dimana waktu pemrosesan adalah sebesar 1,239 ms | Processing time sebesar 1,240 s<br>1,874904 s                      | 2018<br>2014 | (Guy-Cedric & R., 2018)<br>(Kawle et al., 2014) |



## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

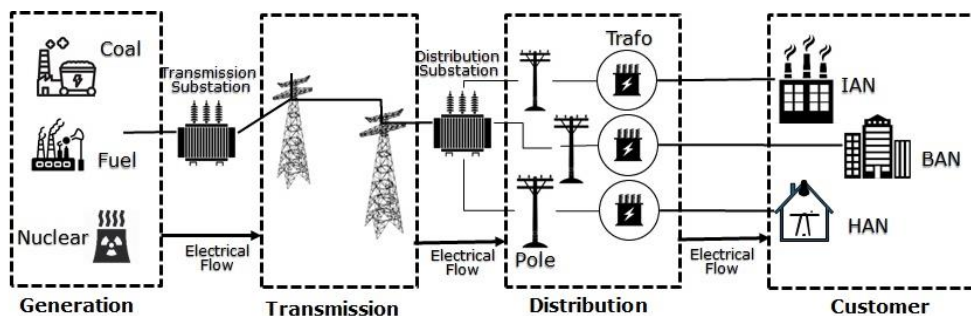
#### A. Landasan Teori

Tinjauan pustaka yang tertuang pada bab ini hasil dari studi pendahuluan yang telah dilaksanakan oleh penulis, studi pendahuluan yang dilakukan adalah studi literatur dengan melaksanakan *review* terhadap jurnal internasional yang relevan dengan tema penelitian, *me-review* buku, *book chapter*, prosiding dan artikel pada majalah ataupun situs resmi dari pemerintah yang mendukung materi, melaksanakan *browsing* di internet dan juga menganalisis video yang relevan.

#### 1. Jaringan Listrik Konvensional

Jaringan listrik konvensional memiliki aliran daya yang mengikuti pola hierarkis dan secara fungsional searah. Daya dihasilkan dari pembangkit listrik dan dipasok ke domain distribusi melalui jaringan transmisi listrik tegangan tinggi. Dalam domain distribusi, daya ditransmisikan ke pelanggan melalui gardu induk dan jaringan distribusi tegangan rendah.

Hirarki jaringan listrik konvensional dapat dilihat pada gambar 2.



**Gambar 2** Hierarki jaringan listrik konvensional

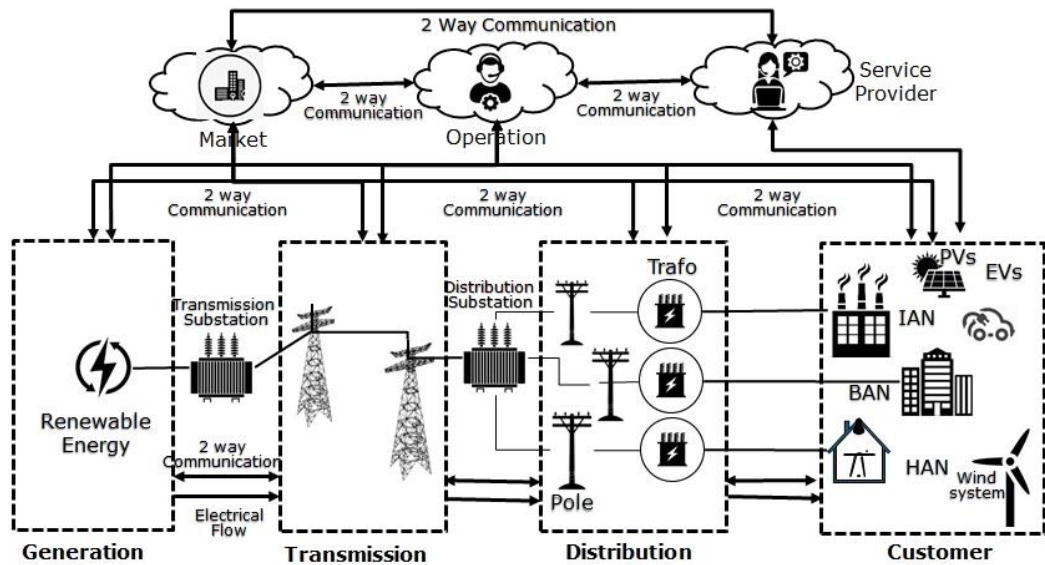
Komunikasi Data dalam jaringan transmisi dan distribusi konvensional terdiri dari :

- a. *Remote Terminal Unit (RTU)*,
- b. *Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA)*.

Dalam SG, Kedua teknologi komunikasi ini dikembangkan hingga dapat di aplikasikan secara terpadu dengan beban rumah, publik, sosial dan industri dalam komunikasi data dua arah. Arsitektur *plug - and - play* sistem komunikasi di desain dalam bentuk jaringan yang aman, memiliki *smart sensor*, kontrol peralatan dan pusat kontrol, sistem proteksi (firewall) dan *user*.

## **2. *Smart Grid (SG)***

SG adalah sistem yang menggabungkan teknologi informasi dan komunikasi digital dua arah (2 ways communication) pada proses ketenagalistrikan mulai dari pembangkitan (generation), transmisi (transmission), distribusi (distribution) dan retail/konsumen (customer) sebagaimana digambarkan pada Gambar 2 untuk meningkatkan keandalan, efisiensi dan ketahanan sistem, meminimalkan dampak lingkungan, mengakomodir segala jenis teknologi dan penyimpanan energi serta meningkatkan peran konsumen dalam pasar ketenagalistrikan sehingga menciptakan produk dan jasa baru yang berkesinambungan (Maheswari M. & Gunasekharan S., 2019).



**Gambar 3** Model konseptual jaringan SG (Ma et al., 2013)

Berikut perbedaan jaringan listrik konvensional dan *smart grid* (Sun et al., 2016),(Ma et al., 2013):

Tabel 4. Perbedaan jaringan listrik konvensional dan *smart grid*

| Uraian               | Listrik Konvensional | <i>Smart Grid</i> | Referensi   |
|----------------------|----------------------|-------------------|---|
| Aliran informasi     | Searah               | Dua arah          | (Sun et al., 2016),(Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016),(Mishra et al., 2020) |
| Pembangkit Listrik   | Terpusat             | Didistribusikan   | (Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016),(Mishra et al., 2020)                    |
| Konfigurasi jaringan | Radial               | Jaringan          | (Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016),(Mishra et al., 2020)                    |

| Uraian                          | Listrik Konvensional | Smart Grid             | Referensi   |
|---------------------------------|----------------------|------------------------|---|
| Mengintegrasikan DER            | Sangat Langka        | Sering                 | (Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016)  |
| Perangkat Sensor                | Sedikit Sensor       | Banyak sensor          | (Sun et al., 2016),(Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016),(Mishra et al., 2020) |
| Pemantauan/Monitoring           | Pandangan terbatas   | <i>Self monitoring</i> | (Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016)  |
| <i>Testing</i>                  | <i>Manual check</i>  | <i>Remote check</i>    | (Mishra et al., 2020)   |
| Kontrol                         | Terbatas dan pasif   | Pervasif dan aktif     | (Sun et al., 2016),(Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016),(Mishra et al., 2020) |
| Pemulihan Pemadaman             | Manual Restoration   | Self configuration     | (Ma et al., 2013),(Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016)  |
| Efisiensi Pencemaran Lingkungan | Rendah Tinggi        | Tinggi Rendah          | (Ma et al., 2013),(Mishra et al., 2020)<br>(Ma et al., 2013),(Mishra et al., 2020)              |

### 3. Jaringan Komunikasi pada *Smart Grid*

Beragam teknologi komunikasi dan informasi telah diidentifikasi untuk mewujudkan SG. Pada bagian ini, akan diperkenalkan arsitektur SG umum, dan

kemudian akan membahas jaringan komunikasi LoRa yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur PT. PLN (Maheswari M. & Gunasekharan S., 2019).

Menurut model konseptual SG, kerangka SG pertukaran informasi antara tujuh domain (dilambangkan sebagai awan) diilustrasikan pada Gambar 2. Empat domain di lapisan bawah yang terkait dengan sistem tenaga listrik adalah :

- a. Pembangkit (generation),
- b. Transmisi (transmission),
- c. Distribusi (distribution), dan
- d. Pelanggan (customer).

Penelitian ini khusus membahas domain pelanggan menggunakan *smart meter* dan antar *smart meter* pada domain distribusi. Domain lapisan regulasi yang lebih tinggi mencakup :

- a. Operator sistem regional (operation),
- b. Penyedia layanan energi (service provider), dan
- c. Pasar tenaga (market).

*Tools* komunikasi data dalam SG digunakan untuk:

- a. Sensor
- b. *Metering*, dan
- c. Pengukuran pada semua level

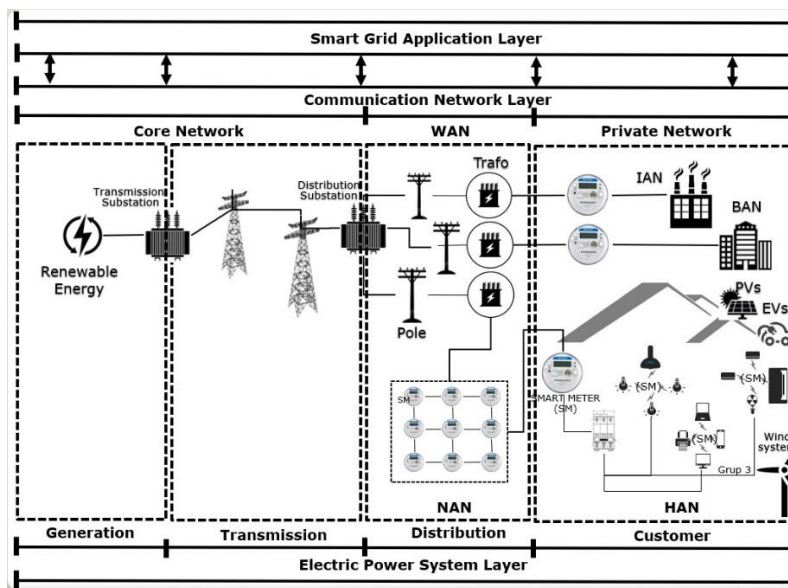
Komponen tersebut memberikan data yang diperlukan untuk memonitoring *grid* dan pasar energi listrik. Komponen tersebut digunakan untuk mendeteksi/respon

sistem, mengevaluasi peralatan yang terintegrasi dengan *grid*, mengeliminasi estimasi meter dan mendeteksi pencurian energi.

Teknologi komunikasi *smart grid* pada *network layer* dibagi menjadi 3 bagian

1. *Core Network*
2. *Wide Area Network* dan
3. *Private Network*

Gambar 4 berikut adalah arsitektur jaringan *smart grid* pada sisi komunikasi.



Gambar 4. Arsitektur jaringan *end to end smart grid*

SG modern terstruktur dalam tiga lapisan yang disebut *electric power system layer*, *Communication network layer*, dan *application layer*. Pemodelan aplikasi yang cerdas dan canggih dapat menyelesaikan masalah interoperabilitas yang penting. *Communication Network Layer* terdiri dari tiga domain termasuk domain *core network*, *wide area network* dan *private network* (Nafi, Ahmed, & Gregory, 2016).

Tabel 5. Arsitektur *Smart Grid* (Ogbodo et al., 2017)

| <b>Tipe Jaringan</b>            | <b>Jangkauan</b> | <b>Data rate</b> | <b>Standar</b>  |
|---------------------------------|------------------|------------------|---|
| Home Area Network (HAN)         | 1 – 10 m         | 1-100kbps        | IEEE 802.15.4/802.11 & proprietary protocols—<br>Z-wave, PLC  |
| Neighborhood Area Network (NAN) | 10 m – 10 km     | 100 – 1000 kbps  | Wireless – IEEE802.11s, RF Mesh, WiMAX, cellular stds (3G, 4G, LTE)<br>Wired – Ethernet, PLC, DOCIS |
| Wide Area Network (WAN)         | 10 km – 100 km   | 10 – 100 Mbps    | Wireless – RF, Mesh, WiMAX, cellular stds (3G, 4G, LTE)<br>Wired – DSL, PON                         |

Semua jaringan, termasuk SG, jaringan telekomunikasi, dan Internet, terdiri dari *node* dan *link*. Fungsi *node* dapat dibagi menjadi *input*, *processing*, dan *output*. Data *input* dapat berasal dari *node upstream* melalui *link*, atau dapat berasal dari sensor yang tertanam pada *node* tersebut. Fungsionalitas pemrosesannya serba guna. Hampir semua algoritma untuk mekanisme kontrol terkait dengan fungsionalitas pemrosesan. Fungsionalitas pemrosesan dapat didistribusikan dan memerlukan dukungan *cloud* (Hwang et al., 2019).

Pemanfaatan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) menghadirkan peluang untuk pengembangan *smart city*, dimana manajemen kota dan warganya diberikan akses ke banyak informasi waktu nyata tentang lingkungan perkotaan yang menjadi dasar keputusan, tindakan, dan perencanaan masa depan.

**Home Area Network (HAN)**, adalah subsistem terkecil dalam rantai hierarki *smart grid*. HAN menyediakan *demand-side management* (DSM) khusus, termasuk manajemen efisiensi energi dan respons permintaan dengan keterlibatan proaktif dari pengguna listrik dan konsumen. HAN juga dapat mencakup kawasan industri dan perangkat pembangkit dalam beberapa kasus. Teknologi komunikasi yang dibahas dalam pengiriman ini adalah pesan yang ditransmisikan dari SM. HAN di lingkungan perumahan, terdiri dari perangkat pintar dengan sensor dan aktuator, tampilan di rumah, SM, dan *Home Energy Management System* (HEMS). HAN berkomunikasi dengan perangkat pintar yang berbeda menggunakan teknologi kabel termasuk PLC, atau protokol BACnet, dan teknologi nirkabel (misalnya Wi-Fi, dan ZigBee). HAN menyediakan akses broadband untuk tempat pelanggan (rumah, gedung dan pabrik). Akses ini bukan bagian dari infrastruktur utilitas dan disediakan oleh penyedia layanan komunikasi, tetapi dapat digunakan untuk menyediakan layanan komunikasi untuk sistem SM yang mencakup tempat pelanggan seperti pengukuran cerdas dan manajemen prosumer agregat (Savolainen et al., 2015). Kehadiran PLC telah memfasilitasi revolusi energi dengan teknologi *narrowband power line communication* (NB PLC) yang mendukung transmisi tanpa penyebaran infrastruktur tambahan. Teknologi NB digunakan untuk komunikasi antara berbagai elemen jaringan listrik. NB PLC berada pada rentang frekuensi antara 3 dan 500 kHz. NB PLC digunakan di luar ruangan untuk memastikan pengontrolan berbagai komponen jaringan listrik serta pengukurannya. Aplikasi SG memiliki berbagai keuntungan ekonomis dan teknis serta menguntungkan. Atenuasi pada instalasi listrik dapat mengurangi kinerja



transmisi, seperti trafo. Keterbatasan teknologi ini yang kemudian berdampak pada keberadaan perangkat listrik PLC (Ismail Aouichak et al., 2016). PLC memiliki keunggulan dari segi infrastruktur kecepatan data yang tinggi namun di sisi lain konsumsi dayanya sedang, biaya yang dibutuhkan untuk pengembangan area kerja sedang/rendah. Segmen SG pada PLC hanya pada area HAN dan NAN serta jarak yang ditempuh dan distribusi latensinya rendah untuk jarak jauh (Ogbodo et al., 2017).

***Neighborhood Area Network (NAN)*** atau dikenal juga sebagai *Field Area Network (FAN)* beroperasi pada distribusi tingkat atas, yang merupakan tingkat multi-layanan yang mengintegrasikan berbagai jaringan sub-lapisan dan menyediakan konektivitas *backhaul* dalam dua cara yaitu langsung kembali ke pusat kendali melalui WAN atau langsung ke gardu induk untuk memfasilitasi intelijen terdistribusi pada tingkat gardu. NAN juga menyediakan konektivitas *peer-to-peer* atau *hub* dan konektivitas berbicara untuk intelijen terdistribusi di tingkat distribusi. NAN mengisi kesenjangan komunikasi antara jaringan dan perangkat *Internet Protocol (IP)* inti, serta personel di lapangan. NAN paling sering diimplementasikan dengan teknologi jaringan nirkabel karena area cakupan geografisnya yang luas, banyak perangkat yang terhubung dan kebutuhan untuk mendukung pekerja lapangan yang *mobile*.

Implementasi smart grid sudah dirintis BPPT sejak tahun 2013 di Sumba, Nusa Tenggara Timur, dengan skala kecil (smart micro grid) menggunakan sistem komunikasi *power line communication (PLC)*. Adapun automasi kontrol dan

monitoring melalui *supervisory control and data acquisition* (SCADA) master station.

#### **4. Komunikasi dalam Sistem Distribusi SG**

Ada 2 jenis arus informasi komunikasi dan jaringan pada SG :

1. Informasi yang dikumpulkan dari sensor, peralatan, dll ke SM khusus. SM dapat menghitung dan memprediksi kebutuhan listrik yang mendesak kemudian melaporkan informasi ke SG untuk operasi global dan mengendalikan operasi peralatan, dll.
2. Informasi dari SM ke infrastruktur SG sehingga pembangkit listrik, penyimpanan, dan distribusi yang tepat dapat dikontrol dan disesuaikan secara optimal dan *real-time* (Chen et al., 2010).

Adapun komponen pada sistem SM adalah sebagai berikut :

1. **Smart Meter** adalah meteran digital yang secara terus menerus dan *real-time* melacak konsumsi listrik , tegangan, arus, dan faktor daya. Meter pintar ini mengirimkan data ke pemasok listrik untuk pemantauan sistem dan tagihan pelanggan serta ke konsumen untuk pemahaman pola penggunaan yang lebih baik. SM menangkap energi dengan sangat cepat dan melaporkannya. Selain fungsi pengukuran elektronik konvensional, SM melalui modul komunikasi bawaannya dapat melakukan aktivitas sakelar beban untuk memutuskan/menghubungkan beban. SM mengirimkan pembacaan dan data relevan lainnya ke server pusat pada interval periodik. Sistem SM bertujuan memberikan banyak manfaat yaitu

- a. Menyediakan platform untuk layanan pelanggan yang lebih baik, misalnya pembacaan yang tepat waktu dan akurat sehingga mendukung penagihan tanpa perlu estimasi,
- b. Informasi rinci dan tepat waktu penggunaan energi untuk mengidentifikasi peluang penghematan energi,
- c. Membangun platform untuk smart grid di masa depan,
- d. Memungkinkan koneksi jarak jauh/pemutusan suplai,
- e. Pengukuran listrik yang diekspor.

Sistem *smart metering* didasarkan pada komunikasi dua arah (data ditransfer ke dan dari meteran). Komunikasi dua arah menyediakan data ke utilitas, namun fungsi tambahan seperti pemantauan kualitas daya, manajemen pemadaman, pembatasan beban, dan pemutusan jarak jauh memerlukan ketersediaan perangkat tambahan dengan biaya tambahan, demikian pula untuk menganalisis data yang dikirimkan oleh meteran untuk memperoleh informasi yang berarti dan sistem TIK sangat diperlukan.

2. **Protokol dan Lapisan Protokol**, Infrastruktur komunikasi pengukuran cerdas dan jaringan komunikasi *Distribution Network Operation* (DNO) khusus akan menyatukan titik akhir meteran, permukaan kerja seluler utilitas, sensor dan pusat kendali menjadi satu jaringan terintegrasi untuk mendukung operasi jaringan distribusi pintar. Aplikasi SG memerlukan tingkat jaminan tertentu dari jaringan komunikasi. Persyaratan tersebut terutama berfokus pada kualitas informasi yang disediakan oleh infrastruktur TIK. Mengenai pengoperasian sistem tenaga, persyaratan

utama untuk aplikasi SG adalah pada akurasi dan latensi pengukuran *real time*.

3. **Communication Network** terdiri dari dua bagian yaitu jaringan area lokal (dilokalkan ke meter di lapangan) dan jaringan area luas (LAN ke stasiun pusat), infrastruktur komunikasi ini memungkinkan transmisi data dua arah antara SM dan utilitas. Persyaratan minimum perangkat IoT adalah dukungannya terhadap kemampuan komunikasi (To & Duda, 2018).

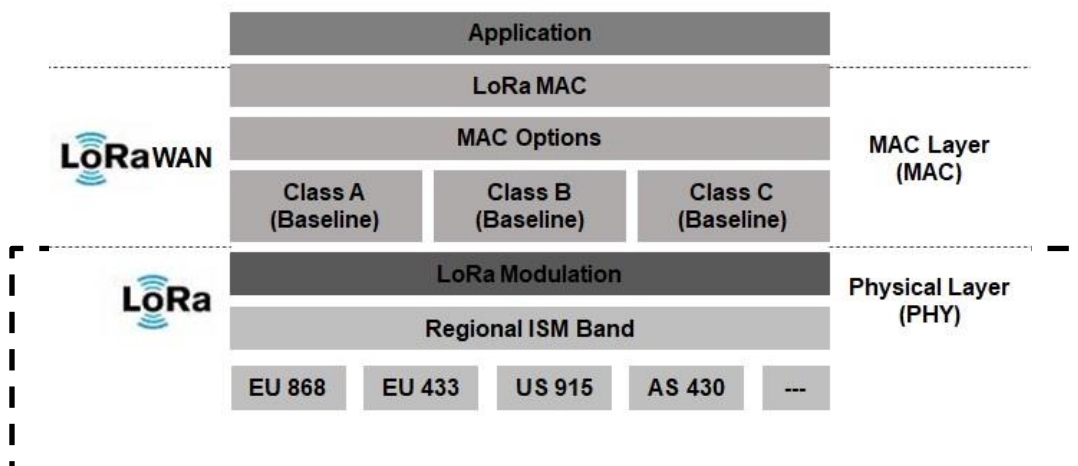
Perangkat jaringan komunikasi dikategorikan ke dalam empat bagian :

- a. Perangkat pembawa data, dilampirkan ke benda fisik untuk secara tidak langsung menghubungkan benda fisik dengan jaringan komunikasi.
- b. Perangkat penangkap data mengacu pada perangkat pembaca/penulis dengan kemampuan untuk berinteraksi dengan benda-benda fisik. Interaksi tersebut dapat terjadi secara tidak langsung melalui perangkat pembawa data, atau secara langsung melalui pembawa data yang melekat pada benda-benda fisik.
- c. Perangkat penginderaan dan penggerak: dapat mendeteksi atau mengukur informasi yang terkait dengan lingkungan sekitar dan mengubahnya menjadi sinyal elektronik digital. Ini juga dapat mengubah sinyal elektronik digital dari jaringan informasi menjadi operasi. Umumnya, perangkat penginderaan dan penggerak membentuk jaringan lokal berkomunikasi satu sama lain menggunakan teknologi komunikasi kabel atau nirkabel dan menggunakan *gateway* untuk terhubung ke jaringan komunikasi,

- d. Perangkat umum: memiliki kemampuan pemrosesan dan komunikasi yang tertanam dan dapat berkomunikasi dengan jaringan komunikasi melalui teknologi kabel atau nirkabel. Perangkat umum mencakup perangkat dan peralatan untuk domain aplikasi IoT yang berbeda, seperti mesin industri, peralatan listrik rumah, telepon pintar dll.
4. ***Meter Data Acquisition System*** merupakan Aplikasi perangkat lunak yang dirancang untuk menggabungkan penggunaan energi dan data kejadian dari *smart meter* dan mengelola infrastruktur komunikasi Jaringan Area Lokal. Perangkat lunak ini umumnya disediakan oleh vendor sistem pengukuran.
  5. ***Meter Data Management System*** merupakan Aplikasi perangkat lunak yang menyimpan, memvalidasi, mengedit, dan menganalisis data pembacaan meter sebelum dirilis untuk diintegrasikan ke dalam sistem utilitas operasional lainnya seperti penagihan pelanggan, prakiraan beban, dan manajemen pemadaman.
  6. ***Interfaces and Integration*** merupakan Aktivitas integrasi dari sistem ini yang melibatkan modifikasi aplikasi yang ada untuk menangani informasi pembacaan meter otomatis yang disempurnakan, dan membangun antarmuka antara aplikasi perusahaan yang baru dan yang sudah ada untuk mendukung proses bisnis *end-to-end* (E2) pada utilitas.
  7. ***Mobile Application*** : Aplikasi ini melayani tujuan *In-Home Display* (IHD) dan aplikasi *web* yang digunakan oleh konsumen untuk memantau penggunaan.

## 5. Sistem komunikasi LoRa

Pada penelitian ini teknologi komunikasi yang akan digunakan adalah teknologi LoRa yang menawarkan teknologi jangka panjang, menggunakan daya yang rendah dan perpindahan data yang terjamin keamanannya. Jaringan publik yang menggunakan jaringan LoRa biasanya dapat memberikan jangkauan sinyal yang lebih luas dibanding jaringan seluler pada umumnya. Gambar 5 merupakan model *stack* referensi OSI pada LoRa dimana penelitian ini fokus pada lapisan *physical*.



Gambar 5. Model *stack* referensi OSI pada LoRa

LoRa adalah teknologi *wireless* berdaya rendah dan mengirimkan paket data kecil ke penerima (0.3 kbps sampai 5.5 kbps) melalui jarak jauh. Memiliki *node* dan tautan di setiap jaringan, termasuk yang ada di *smart grid*, telekomunikasi, dan internet. Komponen input, pemrosesan dan keluaran membentuk fungsi *node*. Sumber masukan data termasuk sensor yang dibangun ke dalam *node* atau konektivitas ke *node upstream* dengan kemampuan pemrosesan yang fleksibel. Hampir semua algoritma mekanisme kontrol ada hubungannya dengan

fungsionalitas pemrosesan. Fungsi pemrosesan yang dapat didistribusikan memerlukan dukungan *cloud*. Gambar berikut dimodulasi dan dikodekan ke dalam paket LoRa yang dibuat oleh *synthesizer* LoRa, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 berikut :

Tabel 6. LoRa *packet* parameter

| Parameter                    | Nilai          |
|------------------------------|----------------|
| <i>Spreading Factor</i> (SF) | 7-12           |
| <i>Bandwidth</i> (Bw)        | 125 kHz        |
| <i>Oversampling factor</i>   | 8              |
| <i>Sampling Rate</i> (CR)    | 1              |
| <i>Rate</i>                  | $4/(4+CR)=4/5$ |
| <i>N_bits_raw</i>            | 160            |

Pada penelitian ini menggunakan node Arduino dan LoRa SX1276. Nilai SF adalah 7–12 dan model komunikasi menggunakan *point-to-point* pada frekuensi 915 MHz dengan *bandwidth* frekuensi 125 kHz. Lebih banyak informasi ditransfer per bit semakin tinggi SF. Oleh karena itu, pemrosesan yang lebih tinggi diperlukan. Bw yang sempit menunjukkan sensitivitas penerimaan yang meningkat untuk SF tertentu meskipun ada peningkatan *time on air* (ToA). Penelitian ini akan mencakup semuanya mulai dari struktur paket LoRa hingga prosedur modulasi dan demodulasi pada *transceiver*.

Arsitektur jaringan komunikasi LoRa pada SG terdiri dari 3 komponen utama yaitu :

1. *End Device (end node)*,
2. *LoRa Gateway*

### 3. LoRa Network Server

Adapun Frekuensi LoRa di Indonesia berada pada *band/channel* 923 - 925 MHz dengan *channel plan* AS923 sebagai berikut :

*Uplink Channel :*

1. 921.2MHz - SF7BW125 to SF12BW125
2. 921.4MHz - SF7BW125 to SF12BW125 *Mandatory, Join Channel*
3. 921.6MHz - SF7BW125 to SF12BW125 *Mandatory, Join Channel*
4. 921.8MHz - SF7BW125 to SF12BW125
5. 922.0MHz - SF7BW125 to SF12BW125
6. 922.2MHz - SF7BW125 to SF12BW125
7. 922.4MHz - SF7BW125 to SF12BW125
8. 922.6MHz - SF7BW125 to SF12BW125

*Downlink Channel:*

1. Uplink Channel 1-8 (RX1)
2. 921.4MHz - SF10BW125 (RX2) (Alliance & Ramon, 2017).

Menggunakan persamaan untuk memperkirakan jarak transmisi dalam membantu penyebaran LoRaWAN, jika *signal to noise ratio* (SNR) yang diperlukan dilambangkan dengan SNR<sub>req</sub>, dan daya kebisingan total, yang dilambangkan dengan Na maka untuk komunikasi yang efektif, rasio kekuatan sinyal yang diterima (tidak termasuk noise) dengan kekuatan total *noise* harus lebih besar dari nilai SNR<sub>req</sub> untuk demodulator (Hwang et al., 2019).



a. Gelombang Pembawa

Jika gelombang pembawa diberikan sebagai berikut :

$$S(t) = A \cos(2\pi f_c t) \quad (1)$$

di sini A adalah amplitudo gelombang pembawa sinusoidal untuk resistor beban standar  $1 \Omega$  , sehingga daya yang hilang adalah :

$$p = \frac{V_{rms}^2}{R} = \left( \frac{V_{max}}{\sqrt{2}} \right)^2 = \left( \frac{A}{\sqrt{2}} \right)^2 = \frac{A^2}{2} \quad (2)$$

$$p = \frac{A^2}{2} \text{ dimana } A = \sqrt{2p}$$

$$S_H(t) = \sqrt{2p_s} \cos(2\pi f_c + \Omega)t ; b(t) = 1 \quad (3)$$

$$S_L(t) = \sqrt{2p_s} \cos(2\pi f_c - \Omega)t ; b(t) = 0 \quad (4)$$

b. *Modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS)*

Modulasi adalah bagaimana informasi analog atau digital dikodekan ke dalam sinyal pembawa. Ketika informasi analog dikodekan ke sinyal pembawa. Ada 3 jenis modulasi yang bisa digunakan :

1. *Amplitudo Modulation (AM)*
2. *Frequency Modulation (FM)*
3. *Phasa Modulation (PM)*

Ketika informasi digital dikodekan ke sinyal pembawa. Ada 3 jenis modulasi yang bisa digunakan :

1. *Amplitude Shift Keying (ASK)*
2. *Frequency Shift Keying (FSK)*

### 3. *Phase Shift Keying (PSK)*

*End node* memiliki modul radio, dimana modul radio ini memiliki modulator yg mengkodekan informasi ke dalam sinyal pembawa. Sinyal termodulasi ini dipancarkan dan diterima oleh *gateway*. *Gateway* juga memiliki modul radio. Modul radio memiliki demodulator yg menerjemahkan sinyal modulasi dan mengekstrak informasi. Komunikasi antara *end node* dan *gateway* adalah 2 arah, artinya *end node* dapat mengirim data ke *gateway* tetapi dapat juga menerima data dari *gateway*. Jika perangkat dapat mengirim dan menerima sinyal, perangkat ini disebut *transceivers*. LoRa *end node* dan *gateway* disebut *transceivers*. Modulasi nilai digital ke sinyal pembawa. Berikut contoh pesan digital yang ingin dikodekan 1101100111100101 dst. LoRa adalah skema modulasi *spread spectrum* yang didasarkan pada *chirp spread spectrum modulation*. CSS adalah teknik *spread* spektrum yang menggunakan wideband linear frekuensi yang memodulasi pulsa *chirp* untuk menerjemahkan informasi. Teknik *Spread* spektrum adalah metode dimana sinyal sengaja disebarkan dalam domain frekuensi.

Radio pita lebar Modulasi berbasis CSS yang disebut LoRa dibuat oleh Semtech (<https://www.semtech.com>). Modulasi *chirp* adalah nama umum untuk modulasi LoRa (Vangelista, 2017). Teknologi *Long Range* (LoRa) menawarkan transfer data yang aman, jarak jauh, dan konsumsi daya yang rendah. LoRa dapat memperoleh jangkauan yang lebih luas dari pada jaringan seluler publik, pribadi, atau hibrid. Aplikasi IoT yang dioperasikan dengan baterai berdaya rendah dimungkinkan oleh teknologi LoRa, yang mudah terintegrasi dengan jaringan yang ada. LoRa menggunakan transmisi radio, yang hanya berisi pemancar sepanjang

waktu dan tidak ada data lain. Untuk mengirimkan informasi, sinyal harus diubah dengan cara tertentu. Ada banyak cara untuk melakukannya; dua yang paling umum adalah mengubah amplitudo dan frekuensi (Seneviratne, 2019). Pada tahun 1940-an, CSS dibuat untuk digunakan dalam aplikasi radar dan sekarang digunakan dalam komunikasi militer dan luar angkasa. LoRa beroperasi pada saluran *bandwidth* tetap dengan 125 kHz (untuk saluran uplink) dan 500 kHz (untuk saluran downlink) dan menawarkan pertukaran antara sensitivitas dan *throughput* data (untuk saluran downlink). Faktor dispersi ortogonal juga digunakan oleh LoRa. Keuntungan pemrosesan yang meningkat dan sensitivitas penerimaan yang lebih baik disediakan oleh faktor penyebaran yang lebih besar (Madaan et al., 2020).

c. Sinyal modulasi LoRa

Sinyal *chirp* digunakan sebagai sinyal pembawa dimana pesan di terjemahkan. Emulator LoRa yang dibangun dibagi menjadi dua komponen utama yaitu emulator pemancar LoRa (LE-Tx) yang mampu mengkodekan dan memodulasi data ke dalam bentuk gelombang bingkai LoRa, dan emulator penerima LoRa (LE-Rx) yang bertanggung jawab atas demodulasi dan *decoding frame* untuk mengekstrak data *payload* (Al Homssi et al., 2021).

d. Saluran AWGN

Menggunakan komunikasi LoRa, saluran AWGN ditambahkan dalam model. Saluran AWGN digunakan untuk perkiraan Laju Simbol untuk Modulasi CSS Menggunakan Pemancar dan Penerima LoRa.

Jumlah tipikal yang digunakan untuk menggambarkan kekuatan relatif kebisingan dalam saluran AWGN meliputi :

1. SNR per sampel,
2. Kerapatan spektral daya energi bit terhadap *noise/ power spectral density of bit energy to noise* ( $E_bN_0$ ). Jumlah ini digunakan oleh fitur evaluasi kinerja *toolbox* dan aplikasi *Bit Error Rate Analysis*.
3. *Ratio of symbol energy to noise power spectral density* ( $E_sN_0$ ).

Hubungan antara  $E_sN_0$  dan  $E_bN_0$  dapat dilihat pada Persamaan 5 berikut

$$\frac{E_s}{N_0} = \frac{E_b}{N_0} (\text{dB}) + 10 \log_{10}(k) \quad (5)$$

dimana  $k$  mewakili jumlah bit informasi simbol. Ukuran *alfabet* modulasi atau laju kode dari kode kontrol kesalahan dalam sistem komunikasi dapat berdampak pada  $k$ . Jumlah bit informasi per simbol ( $k$ ), misalnya, adalah produk dari laju kode dan jumlah bit kode per simbol termodulasi dalam sistem yang menggunakan kode laju  $-1/2$  dan modulasi 8-PSK. Lebih tepatnya,  $(1/2) \log_2(8) = 3/2$ . Tiga bit informasi dalam sistem ini diterjemahkan menjadi enam bit kode dan diterjemahkan menjadi dua simbol 8-PSK. Sedangkan hubungan antara  $E_sN_0$  dan SNR adalah sebagaimana Persamaan 6 dan 7 berikut :

$$\frac{E_s}{N_0} (\text{dB}) = 10 \log_{10} \left( \frac{T_{\text{sym}}}{T_{\text{samp}}} \right) + \text{SNR} (\text{dB}) \quad (6)$$

Untuk sinyal masukan yang kompleks

$$\frac{E_s}{N_0} (\text{dB}) = 10 \log_{10} \left( \frac{T_{\text{sym}}}{T_{\text{samp}}} \right) + \text{SNR} (\text{dB}) \quad (7)$$

Untuk sinyal masukan *real* dimana  $T_{\text{sym}}$  menunjukkan periode simbol sinyal dan  $T_{\text{samp}}$  menunjukkan periode *samplingnya*. Ketika sinyal *baseband* kompleks empat

kali *oversampled*,  $E_s N_0$  adalah  $10 \log_{10}$  lebih besar dari SNR yang sama. Dengan menggunakan pendekatan Gaussian maka probabilitas kesalahan bit dapat dihitung sesuai dengan persamaan 8 berikut ini :

$$P_b \approx 0,5 \times Q \left( \frac{\sqrt{E_s} - \mu_{\hat{p}}}{\sqrt{\frac{\sigma_{\hat{p}}^2 + N_0}{2}}} \right) \quad (8)$$

$P_b$  adalah probabilitas kesalahan bit,  $\mu_{\hat{p}}$  dan  $\sigma_{\hat{p}}^2$  adalah rata – rata dan varian untuk  $\hat{p}$ . Persamaan ini digunakan dalam perancangan performa LoRa dalam mengukur BER di saluran AWGN (Elshabrawy & Robert, 2018).

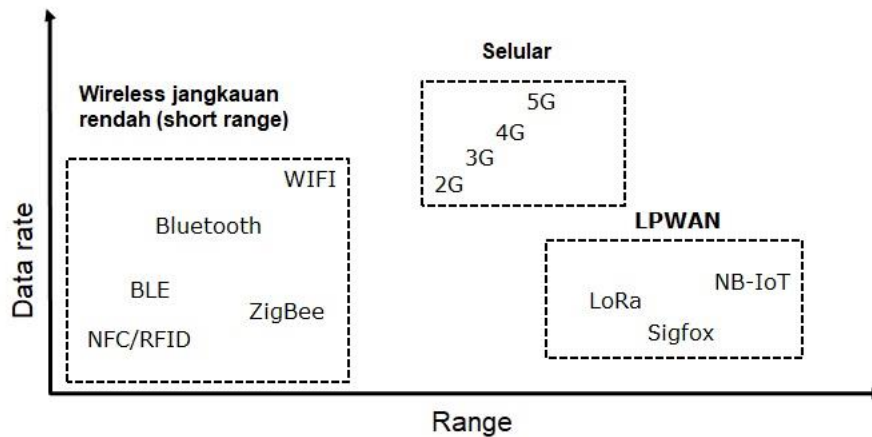
## 6. Jaringan Nirkabel

Ada banyak teknologi *wireless* dapat digunakan untuk menghubungkan peralatan ke internet seperti :

1. Komunikasi wireless jangkauan rendah (short range)
2. Komunikasi selular
3. Komunikasi LPWAN

LPWAN adalah singkatan dari Low Power Area Network dan jenis komunikasi nirkabel ini dirancang untuk mengirim paket data kecil jarak jauh dan beroperasi dengan baterai. Ada sejumlah teknologi yang bersaing di ruang LPWAN seperti: Narrowband IoT, Sigfox, Lora dan lain-lain.

Penelitian ini akan fokus pada LoRa, gambar 6 berikut merupakan perbandingan *data rate* dan jarak jangkau masing – masing teknologi *wireless*.



Gambar 6. Perbandingan *data rate* dan jarak jangkauan teknologi nirkabel

Jaringan nirkabel biasanya LAN atau PAN, tetapi mungkin juga MAN. Sebagian besar jaringan nirkabel adalah koneksi nirkabel jarak pendek yang membawa mobilitas lebih besar serta kebebasan dari interkoneksi kabel ke jaringan. Berikut tabel perbandingan jangkauan komunikasi nirkabel :

Tabel 7. Perbandingan jangkauan komunikasi nirkabel

| Teknologi Nirkabel | Komunikasi Nirkabel | Jarak Jangkauan(m)  | Daya Pancar Tx (mW) |
|--------------------|---------------------|---|---------------------|
| Bluetooth          | Short range         | ~10   | ~2,5                |
| WIFI               | Short range         | ~50   | ~80                 |
| 3G/4G              | Selular             | ~5000   | ~500                |
| LoRa               | LPWAN               | 2000-5000 (urban area)<br>5000-15000 (rural area)<br>>15000(direct line of sight) | ~20                 |

LoRa tidak mentransmisikan gambar tetapi data yang kecil seperti data dari sensor.

Tabel 8. Jangkauan komunikasi LoRa

| Lingkungan (area)                  | Jarak (km) |
|------------------------------------|------------|
| <i>Urban areas</i> (town & cities) | 2-5        |
| <i>Rural areas</i> (countrysides)  | 5-15       |
| <i>Direct Line of Sight</i>        | >15        |

Penelitian ini menggunakan sensor tegangan/arus dan daya HLW8012 dapat digunakan dengan ESPHome dengan adanya platform sensor HLW8012. Sensor ini merupakan smart wifi switch yang memungkinkan penggunaan jaringan wifi untuk mengelola peralatan elektronik dari jarak jauh.

LoRa node menggunakan semtech SX1276 sangat ideal untuk banyak aplikasi karena menawarkan jangkauan yang sangat jauh dan tetap mengkonsumsi sedikit arus. Perangkat ini juga memiliki biaya rendah, dapat mencapai sensitivitas lebih dari -140 dBm dan memanfaatkan pendekatan modulasi unik Semtech. *Link budget* terbesar dihasilkan oleh sensitivitas tinggi dengan power amplifier +20 dBm *built-in*, menjadikannya ideal untuk berbagai aplikasi. Lebih dari FSK, metode modulasi ini menawarkan keuntungan yang cukup besar dalam pemblokiran dan selektivitas (Semtech, 2016).

## 7. Topologi Jaringan

Kelebihan topologi *star* adalah dapat digunakan untuk banyak perangkat dan jika terjadi kerusakan, maka *maintenance* akan lebih mudah dilakukan dengan hanya mengecek kondisi kabel, *hub*, *switch* atau langsung dari kondisi *server*. Jika terjadi *error* maka hanya perlu mengecek kondisi komputer pusat karena jaringan terbentuk secara konvergensi sehingga tidak mempengaruhi *client* yang lain. Kecepatan jaringan yang sama besar antara komputer *client* dengan *server* pusat.

Topologi *star* juga kompatibel dengan berbagai jenis kabel. Dengan memanfaatkan keandalan ini maka pada penelitian ini digunakan sebagai model topologi jaringan komunikasi.

Tabel 9. Spesifikasi topologi *star*

| Keterangan   | Topologi <i>Star</i>   |
|--------------|--|
| Definisi     | Topologi jaringan dimana <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Node</i> terhubung ke hub pusat atau</li> <li>2. <i>Router</i> melalui hub pusat atau</li> <li>3. <i>Router</i> ke semua <i>node</i>.</li> </ol> |
| Jumlah node  | Topologi <i>Star</i> memiliki jumlah node yang sama dengan link yang ada yaitu jika ada N link di topologi <i>star</i> maka ada N <i>node</i> .  |
| Kompleksitas | Strukturnya yang sederhana kurang kompleks dibandingkan dengan topologi <i>mesh</i> .  |
| Hemat biaya  | Lebih hemat biaya dibandingkan dengan topologi <i>mesh</i> .   |
| Informasi    | Informasi ditransmisikan dari hub pusat atau <i>router</i> ke semua <i>node</i> .  |
| Penggunaan   | Dapat dikembangkan dengan sangat baik dan dapat digunakan di LAN karena pengaturannya juga mudah.  |

## 8. Keandalan Jaringan

Mempertahankan keandalan jaringan listrik yang tinggi dan memastikan ketersediaan daya bagi konsumen setiap saat adalah tujuan utama operasi utilitas. Jaringan komunikasi membantu mendukung tujuan ini melalui pemantauan dan kontrol jaringan secara *real-time*. Oleh karena itu, menjaga tingkat keandalan jaringan yang tinggi sangat penting. ketersediaan jaringan komunikasi 99,96% mungkin cukup untuk sebagian besar jaringan data bisnis, sedangkan keandalan



99,999% mungkin tidak cukup untuk mendukung aplikasi teleproteksi. (Tujuan keandalan 99,96% dan 99,999% adalah rata-rata “waktu henti” jaringan masing-masing selama 210 menit per tahun dan 5 menit per tahun.) Penggunaan peralatan jaringan dan tautan yang berlebihan serta menghindari titik kegagalan tunggal di bagian penting dari jaringan adalah beberapa solusi normal untuk meningkatkan keandalan jaringan. Selain itu, desain perutean lalu lintas yang andal menambah keandalan jaringan. Penerapan elemen jaringan tingkat utilitas juga harus dipertimbangkan karena keandalan produknya jauh lebih tinggi dengan redundansi internal dalam konfigurasi perangkat keras dan peningkatan jaringan "tanpa sasaran". Aspek keandalan yang terkait adalah pemulihan bencana dari utilitas *Data and Control Center* (DCC) dan lokasi utilitas penting lainnya. Keandalan komunikasi teleproteksi harus sangat tinggi. Tingkat kesalahan bit harus kurang dari  $10^{-6}$ , seringkali memerlukan lebih dari satu jalur komunikasi independen antara gardu induk untuk mencapai tingkat kesalahan bit yang rendah.

Keandalan jaringan komunikasi juga harus dipastikan di bawah batas waktu yang tepat. Oleh karena itu, keandalan komunikasi didasarkan pada persyaratan waktu dari aplikasi dan layanan yang disediakan oleh jaringan komunikasi. Pengiriman pesan dianggap berhasil jika pesan diterima dalam persyaratan waktunya. Keandalan transmisi pesan di bawah misi dan waktu yang ditentukan ( $t$ ) dapat diukur dengan persentase pengiriman yang berhasil dalam waktu yang ditentukan (Luo et al., 2015).

$$R(t) = \frac{N_s(t)}{N_0(t)} = 1 - \frac{N_f(t)}{N_0(t)} \quad (8)$$

Dimana :

$N_0(t)$  : Jumlah total pengiriman pesan dalam jangka waktu  $t$ ,

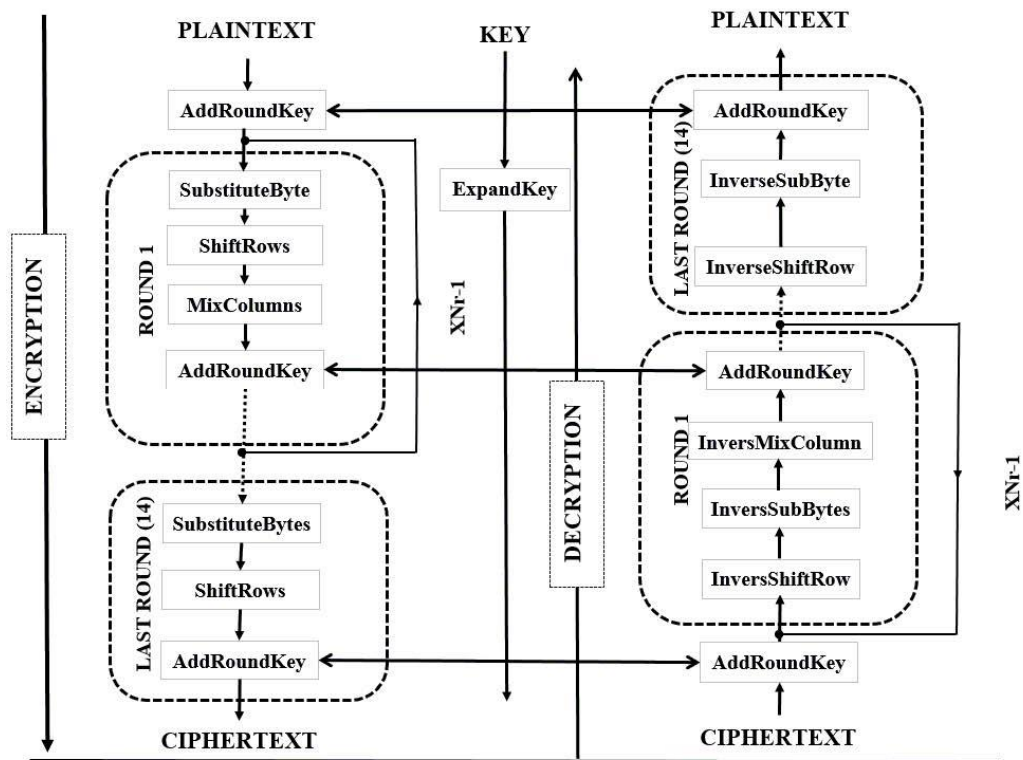
$N_s(t)$  : Jumlah pengiriman yang berhasil,

$N_f(t)$  : Jumlah pengiriman yang gagal, terlepas dari jenis pesan, sumber dan node tujuan.

### **9. Algoritma *Advanced Encryption Standard* (AES)**

AES adalah algoritma enkripsi-dekripsi untuk data. AES mendukung kunci dengan panjang 128, 192, dan 256 bit. Kunci kriptografi ini mengenkripsi dan mendekripsi data dalam blok 128, 192, dan 256 bit. AES dikembangkan berdasarkan operasi aljabar dan beberapa siklus enkripsi untuk keamanan komunikasi yang dinominasikan oleh NIST sebagai algoritma yang mampu melakukan efisiensi komputasi tinggi dan dapat digunakan dalam berbagai aplikasi, terutama dalam tautan broadband berkecepatan tinggi.

Gambar 7 merupakan struktur dasar algoritma AES berdasarkan standar yang telah ditetapkan oleh FIPS-197 (Rothke, 2007).



Gambar 7. Struktur Dasar AES (Muhammad Abdullah & Muhamad Abdullah, 2017; Singh et al., 2017)

Parameter, simbol, dan fungsi algoritma seperti pada gambar 7 di atas disajikan sebagai berikut :

1. *Plainteks* adalah masukan data atau pesan berupa teks ke *cipher* atau keluaran dari *inverse cipher* yang akan dikirimkan dari pemancar melalui proses enkripsi dan ke penerima melalui proses dekripsi sehingga data masukan yang diterima adalah sama dengan data keluaran atau plaintext.
2. *AddRoundKey()* adalah Transformation in Cipher pada proses enkripsi dan InverseCipher pada proses dekripsi dimana RoundKey ditambahkan menggunakan operasi XOR. Panjang RoundKey sama dengan ukuran State, pada penelitian ini kita menggunakan nilai  $N_b = 4$  sehingga panjang

RoundKey sama dengan 128 bit/16 byte (Baruffa et al., 2020). Nb adalah jumlah kolom (word 32-bit). Dalam penelitian ini, kami menggunakan cipher blok AES-256 dengan  $Nk=8$ ,  $Nb=4$ , dan  $Nr=14$ .

3. *SubstituteByte()* adalah substitusi byte non-linier yang beroperasi secara independen pada setiap status byte menggunakan tabel substitusi (S-box). Tabel substitusi S-box, yaitu tabel substitusi non-linier yang digunakan dalam beberapa transformasi substitusi byte dalam enkripsi. Proses substitusi byte dilakukan untuk memodifikasi data secara nonlinier untuk menyembunyikan hubungan antara pesan asli dan pesan terenkripsi.
4. *ShiftRow()* adalah proses perpindahan baris satu sama lain untuk menambah kompleksitas algoritma, pada proses ini baris pertama dilewati, baris kedua dipindahkan ke satu tempat, baris ketiga dipindahkan ke dua tempat dan baris terakhir dipindahkan tiga tempat. ShiftRow dilakukan pada proses enkripsi sedangkan pada proses dekripsi disebut InversShiftRows. Pergeseran baris dan pencampuran kolom akan menghasilkan data acak.
5. *MixColumns()* adalah proses acak vertikal sehingga dengan transposisi byte, proses enkripsi jauh lebih rumit sehingga hasil enkripsi sangat canggih dan sulit diretas kecuali seseorang memiliki kunci rahasia.

*Function* mengeksekusi AES256 berdasarkan ukuran kunci. *Function* ini juga tidak memeriksa apakah ukuran kunci atau masukan memiliki panjang yang benar dan jika tidak maka akan terjadi *error*.

Tabel 10 dan 11 berikut digunakan pada fungsi substitusi dalam proses enkripsi dan dekripsi pesan.

Tabel 10. Tabel substitusi S-Box (Muhammad Abdullah & Muhamad Abdullah, 2017; Rothke, 2007; Singh et al., 2017)

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | A  | B  | C  | D  | E  | F  |
| 0 | 63 | 7C | 77 | 7B | F2 | 6B | 6F | C5 | 30 | 01 | 67 | 2B | FE | D7 | AB | 76 |
| 1 | CA | 82 | C9 | 7D | FA | 59 | 47 | F0 | AD | D4 | A2 | AF | 9C | A4 | 72 | C0 |
| 2 | B7 | FD | 93 | 26 | 36 | 3F | F7 | CC | 34 | A5 | E5 | F1 | 71 | D8 | 31 | 15 |
| 3 | 04 | C7 | 23 | C3 | 18 | 96 | 05 | 9A | 07 | 12 | 80 | E2 | EB | 27 | B2 | 75 |
| 4 | 09 | 83 | 2C | 1A | 1B | 6E | 5A | A0 | 52 | 3B | D6 | B3 | 29 | E3 | 2F | 84 |
| 5 | 53 | D1 | 00 | ED | 20 | FC | B1 | 5B | 6A | CB | BE | 39 | 4A | 4C | 58 | CF |
| 6 | D0 | EF | AA | FB | 43 | 4D | 33 | 85 | 45 | F9 | 02 | 7F | 50 | 3C | 9F | A8 |
| 7 | 51 | A3 | 40 | 8F | 92 | 9D | 38 | F5 | BC | B6 | DA | 21 | 10 | FF | F3 | D2 |
| 8 | CD | 0C | 13 | EC | 5F | 97 | 44 | 17 | C4 | A7 | 7E | 3D | 64 | 5D | 19 | 73 |
| 9 | 60 | 81 | 4F | DC | 22 | 2A | 90 | 88 | 46 | EE | B8 | 14 | DE | 5E | 0B | DB |
| A | E0 | 32 | 3A | 0A | 49 | 06 | 24 | 5C | C2 | D3 | AC | 62 | 91 | 95 | E4 | 79 |
| B | E7 | C8 | 37 | 6D | 8D | D5 | 4E | A9 | 6C | 56 | F4 | EA | 65 | 7A | AE | 08 |
| C | BA | 78 | 25 | 2E | 1C | A6 | B4 | C6 | E8 | DD | 74 | 1F | 4B | BD | 8B | 8A |
| D | 70 | 3E | B5 | 66 | 48 | 03 | F6 | 0E | 61 | 35 | 57 | B9 | 86 | C1 | 1D | 9E |
| E | E1 | F8 | 98 | 11 | 69 | D9 | 8E | 94 | 9B | IE | 87 | E9 | CE | 55 | 28 | DF |
| F | 8C | A1 | 89 | 0D | BF | E6 | 42 | 68 | 41 | 99 | 2D | 0F | B0 | 54 | BB | 16 |

Tabel 11. Tabel *diffusion* D-Box (Daemen & Rijmen, 2002; Rothke, 2007; Singh et al., 2017)

|   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
|   | 0  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9  | A  | B  | C  | D  | E  | F  |
| 0 | 52 | 09 | 6A | D5 | 30 | 36 | A5 | 38 | BF | 40 | A3 | 9E | 81 | F3 | D7 | FB |
| 1 | 7C | E3 | 39 | 82 | 9B | 2F | FF | 87 | 34 | 8E | 43 | 44 | C4 | DE | E9 | CB |
| 2 | 54 | 7B | 94 | 32 | A6 | C2 | 23 | 3D | EE | 4C | 95 | 0B | 42 | FA | C3 | 4E |
| 3 | 08 | 2E | A1 | 66 | 28 | D9 | 24 | B2 | 76 | 5B | A2 | 49 | 6D | 8B | D1 | 25 |
| 4 | 72 | F8 | F6 | 64 | 86 | 68 | 98 | 16 | D4 | A4 | 5C | CC | 5D | 65 | B6 | 92 |
| 5 | 6C | 70 | 48 | 50 | FD | ED | B9 | DA | 5E | 15 | 46 | 57 | A7 | 8D | 9D | 84 |
| 6 | 90 | D8 | AB | 00 | 8C | BC | D3 | 0A | F7 | E4 | 58 | 05 | B8 | B3 | 45 | 06 |
| 7 | D0 | 2C | 1E | 8F | CA | 3F | 0F | 02 | C1 | AF | BD | 03 | 01 | 13 | 8A | 6B |
| 8 | 3A | 91 | 11 | 41 | 4F | 67 | DC | EA | 97 | F2 | CF | CE | F0 | B4 | E6 | 73 |
| 9 | 96 | AC | 74 | 22 | E7 | AD | 35 | 85 | E2 | F9 | 37 | E8 | 1C | 75 | DF | 6E |
| A | 47 | F1 | 1A | 71 | 1D | 29 | C5 | 89 | 6F | B7 | 62 | 0E | AA | 18 | BE | 1B |
| B | FC | 56 | 3E | 4B | C6 | D2 | 79 | 20 | 9A | DB | C0 | FE | 78 | CD | 5A | F4 |
| C | 1F | DD | A8 | 33 | 88 | 07 | C7 | 31 | B1 | 12 | 10 | 59 | 27 | 80 | EC | 5F |
| D | 60 | 51 | 7F | A9 | 19 | B5 | 4A | 0D | 2D | E5 | 7A | 9F | 93 | C9 | 9C | EF |
| E | A0 | E0 | 3B | 4D | AE | 2A | F5 | B0 | C8 | EB | BB | 3C | 83 | 53 | 99 | 61 |
| F | 17 | 2B | 04 | 7E | BA | 77 | D6 | 26 | E1 | 69 | 14 | 63 | 55 | 21 | 0C | 7D |

## 10. Penilaian Risiko

*Risk Assessment*/penilaian risiko memiliki 31 teknik asesmen risiko yang terdapat dalam panduan ISO/IEC 31010. Adapun 31 teknik ini mencakup :

1. *Brainstorming*,
2. *Structured or semi-structured interviews*/wawancara terstruktur atau semi terstruktur,
3. Delphi,
4. *Check-lists*/ daftar periksa,
5. *Primary hazard Analysis*/ analisis bahaya primer,
6. *Hazard And operability studies (HAZOP)*/ Studi Bahaya dan Pengoperasian,
7. *Hazard Analysis And Critical Control Points (HACCP)*/ Analisis Bahaya Dan Titik Kontrol Kritis,
8. *Environmental risk Assessment*/ penilaian risiko lingkungan,
9. *Structure What if? (SWIFT)*/ struktur bagaimana jika?,
10. *Scenario Analysis*/ analisis scenario,
11. *Business impact Analysis*/ analisis dampak bisnis,
12. *Root cause Analysis*/ analisis akar penyebab,
13. *Failure mode effect Analysis*/ analisis efek mode kegagalan,
14. *Fault tree Analysis*/ analisis pohon kesalahan,
15. *Event tree Analysis*/ analisis pohon kejadian,
16. *Cause And consequence Analysis*/ analisis sebab dan konsekuensinya,
17. *Cause-and-effect Analysis*/analisis sebab akibat,
18. *Layer protection Analysis (LOPA)*/ analisis perlindungan lapisan,
19. *Decision tree*/ pohon keputusan,
20. *Human reliability Analysis*/ analisis keandalan manusia,
21. *Bow tie Analysis*/ analisis dasi kupu-kupu,

22. *Reliability centred maintenance*/pemeliharaan yang berpusat pada keandalan,
23. *Sneak circuit Analysis*/ analisis sirkuit *sneak*,
24. *Markov Analysis*/analisis Markov,
25. *Monte Carlo simulation*/simulasi Monte Carlo,
26. *Bayesian statistics And Bayes Nets*/ statistik Bayesian dan Bayes Nets,
27. *FN curves*/ kurva FN,
28. *Risk indices*/ indeks risiko,
29. *Consequence/probability matrix*/matriks konsekuensi/probabilitas,
30. *Cost/benefit Analysis*/ analisis biaya/manfaat,
31. *Multi-criteria decision Analysis (MCDA)*/analisis keputusan multi-kriteria

Teknik asesmen risiko sangat beragam, memilih metodologi sangat penting dalam efektivitas pengelolaan risiko. Teknik ini memiliki kapabilitas mengidentifikasi, menganalisis, dan mengevaluasi risiko, serta menerapkan ragam teknik asesmen risiko sehingga mampu membantu mendeteksi kapan risiko dapat terjadi (*Risk Assessment Tools and Techniques According to ISO 31010*, n.d.).

## 11. MATLAB

Adalah program fantastis yang menawarkan metode efisien untuk menganalisis data, membuat model dan algoritma, serta memecahkan masalah matematika dan ilmiah dengan cara yang paling ideal. Penelitian ini menggunakan MATLAB R2021a untuk menguji dan mensimulasikan hasil perhitungan analitik dan numerik dari *error rate* pada sistem komunikasi LoRa, mensimulasikan waktu pemrosesan dengan dan tanpa algoritma AES serta mengoptimasi waktu pemrosesan dengan sangat cepat.

## B. Penelitian Terkait

Penelitian ini banyak mengambil referensi dari beberapa jurnal internasional terindeks, prosiding, buku, *book chapter* dan buku standar komunikasi. N. S. Nafi dkk, dengan judul “*A survey of smart grid architectures, applications, benefits and standardization*” penelitian ini dilakukan di Australia. Penelitian ini mengidentifikasi arsitektur jaringan komunikasi (model referensi dan standar), topologi dan fungsi jaringan pada SG. Status desain sistem komunikasi, persyaratan komunikasi yang terkait SG dijelaskan dan rekomendasi diberikan untuk beragam fitur lalu lintas baru dan inovatif. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan informasi tentang bagaimana membangun jaringan listrik yang cerdas, andal, aman dan untuk mengidentifikasi persyaratan dan tantangan yang terkait dalam pengembangan aplikasi SG (Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016).

Pengcheng Luoa dkk, dengan judul “*Reliability analysis of smart grid communication network by simulation*” Penelitian ini mempelajari keandalan jaringan komunikasi di *feeder level* pada sistem distribusi *smart grid*. WiFi Mesh diindikasikan sebagai teknologi superior untuk aplikasi *smart grid* di level feeder berdasarkan ketersediaan dan pertimbangan biaya. Dalam penelitian ini, peneliti menyediakan model untuk mengevaluasi penundaan transmisi dan konsumsi energi di jaringan WiFi, dan menghubungkan jumlah ini dengan keandalan transmisi pesan jaringan. Algoritma *Energy Consumption Aware Shortest Path* (ECASP) dikembangkan untuk mencari perutean penundaan terpendek untuk setiap pesan dan terus memperbarui kapasitas energi yang tersedia dari setiap perangkat komunikasi. Prosedur simulasi disajikan untuk mendapatkan perkiraan penundaan



berbagai jenis pesan dan menghitung masa pakai jaringan komunikasi dan keandalan transmisi pesan (Luo et al., 2015).

Z. Jebroni dkk, “*Modeling and simulation of lorawan for smart metering network,*” Teknologi komunikasi yang dipilih dan jaringan yang dikembangkan disajikan dalam penelitian ini. Solusi jaringan yang dihadirkan didasarkan pada teknologi modulasi LoRa dan jaringan LoRaWAN. Penelitian ini mengadaptasi jaringan untuk menangani sejumlah *smart meter* menggunakan multiplexing frekuensi dan waktu. Penelitian ini juga mensimulasikan jaringan pada MATLAB dengan memodelkan jaringan pengukuran pintar berbasis LoRaWAN di lingkungan perkotaan (Jebroni et al., 2020; Yi et al., 2020)

R. Ma dkk “*Smart Grid Communication: Its Challenges and Opportunities*“ penelitian ini mengidentifikasi tiga tantangan utama untuk menerapkan sistem komunikasi SG, termasuk interoperabilitas standar, akses kognitif ke spektrum radio tanpa izin, dan keamanan siber. Isu-isu untuk menerapkan komunikasi SG pada jalur evolusi dan tren masa depan juga dibahas (Ma et al., 2013).

K. C. Chen dkk, “*Communication Infrastructure of Smart Grid*”, penelitian ini melakukan pengamatan aliran listrik di jaringan listrik dan menyarankan optimalisasi distribusi penggunaan listrik di bawah struktur hierarkis dan mengusulkan arah untuk memfasilitasi infrastruktur komunikasi jaringan pintar. Penelitian ini juga melakukan skenario komunikasi menggunakan kabel dan tanpa kabel pada HAN (Chen et al., 2010).

J. S. Chou dan Gusti Ayu Novi Yutami, “*Smart meter adoption and deployment strategy for residential buildings in Indonesia,*” Penelitian ini mengkaji adopsi *smart meter* oleh konsumen perumahan di Indonesia. Setelah mengidentifikasi pengaruh kritis terhadap penerimaan konsumen, metode *structural equation modeling* (SEM) diterapkan untuk menentukan hubungan antar faktor (Chou & Gusti Ayu Novi Yutami, 2014).

J. Petäjäjärvi dkk, “*On the coverage of LPWANs: Range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology,*” Penelitian ini dilakukan di kota Oulu, Finlandia. Pengukuran dilakukan dalam beberapa skenario dan melaporkan datanya ke BS dan diterapkan langsung. Untuk node yang beroperasi pada pita ISM 868 MHz menggunakan daya pancar 14 dBm dan faktor penyebaran maksimum, kami telah mengamati jangkauan komunikasi maksimum lebih dari 15 km di darat dan hampir 30 km di atas air. model redaman saluran yang berasal dari data pengukuran. Model tersebut dapat digunakan untuk memperkirakan path loss pada pita ISM 868 MHz di area yang mirip dengan Oulu, Finlandia (Petäjäjärvi et al., 2016).

N. C. Almeida dkk “*Proposal of a Hybrid LoRa Mesh / LoRaWAN Network,*” Penelitian ini menjawab tantangan untuk menyediakan cakupan area yang mulus tanpa bayangan. Penelitian ini menyajikan penelitian menggunakan jaringan LoRa Mesh/LoRaWAN hibrid menggunakan protokol AODV (Ad-hoc OnDemand Distance Vector) yang disederhanakan. Dalam penelitian ini, jaringan *mesh node* LoRa terhubung ke *node Proxy* yang berfungsi sebagai koordinator *mesh* dan juga terhubung ke jaringan LoRaWAN. Keuntungan dari topologi ini adalah

peningkatan cakupan komunikasi di daerah bayangan di mana node LoRaWAN biasa tidak dapat dijangkau dalam kasus hambatan atau topografi. Pengembangan jaringan LoRa Mesh serta mekanisme perutean disajikan dan diverifikasi dengan hasil eksperimen (Almeida et al., 2020).

J. Zhang dkk, “*Analysis of Hybrid Smart Grid Communication Network Designs for Distributed Energy Resources Coordination,*” Penelitian ini mengembangkan metode baru untuk menyelidiki dampak penetrasi dan aplikasi DER (*Distributed Energy Resources*) pada desain SG hibrid. Serangkaian model simulasi komunikasi hibrid dikembangkan menggunakan Network Simulator 3 (NS-3). Topologi komunikasi jaringan pintar dengan penetrasi DER yang berbeda dibangun di atas jaringan distribusi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa dengan a. Meningkatnya penetrasi fotovoltaik, sembilan desain komunikasi hibrid mencapai latensi yang diharapkan meskipun dengan tingkat kehilangan paket yang lebih tinggi dan b. Desain BPLC-Ethernet dan BPLCWiMAX dapat mengakomodasi aplikasi DER dengan kecepatan data tinggi hingga 100 Mbps (Zhang et al., 2019).

M. Pau et al., “*A cloud-based smart metering infrastructure for distribution grid services and automation,*” Dua aplikasi, yaitu estimasi keadaan terdistribusi dan algoritme konfigurasi ulang topologi jaringan, disajikan di sini yang menunjukkan juga kemungkinan interaksi dan operasi terkoordinasi yang dibuka oleh infrastruktur pengukuran cerdas berbasis cloud (Pau et al., 2018).

L. M. Figueiredo and E. Franco Silva, “*Cognitive-LoRa: Adaptation-aware of the physical layer in LoRa-based networks*” mengukur keandalan LoRa

berdasarkan jenis aplikasi yang secara langsung mempengaruhi komunikasi jaringan LoRa, seperti frekuensi pusat, faktor penyebaran, *bandwidth*, dan kecepatan pengkodean yang dipilih oleh setiap node. Penelitian ini mengamati bahwa karakteristik dan konfigurasi lapisan fisik LoRa berdasarkan kualitas SNR (signal-to-noise ratio) dan dengan skenario nyata, hanya 23% dari waktu pengamatan yang melakukan perubahan konfigurasi dan memiliki rata-rata penguatan sebesar 4,68% untuk SNR (Figueiredo & Franco Silva, 2020).

G. Shyam Kishore dan H. Rallapalli, “*Performance assessment of M-ary ASK, FSK, PSK, QAM and FQAM in AWGN channel,*” menguji kinerja LoRa menggunakan saluran AWGN dan interferensi dari pengguna LoRa lain dengan memperluas model interferensi yang ada dan mengasumsikan penyelarasan sempurna dari sinyal yang diinginkan dan interferensi harmonisasi yang ada pada tingkat kesalahan 1 dB (Shyam Kishore & Rallapalli, 2019).

O. Afisiadis et al, “*On the Error Rate of the LoRa Modulation with Interference,*” Peneliti ini membuktikan dua simetri dalam sinyal yang mengganggu dan merumuskan perkiraan kompleksitas rendah yang dapat secara signifikan mengurangi kompleksitas simbol komputasi dan tingkat kesalahan bingkai. Studi ini juga menampilkan simulasi numerik untuk memperkuat analisis teoritis untuk memverifikasi keakuratan perkiraan yang diusulkan (Afisiadis et al., 2020).

Nur-A-Alam dkk, *Smart Monitoring and Controlling of Appliances Using LoRa Based IoT System,* Sistem berbasis LoRa yang diusulkan terdiri dari sistem

komunikasi nirkabel dan berbagai jenis sensor, dioperasikan oleh aplikasi ponsel pintar dan ditenagai oleh baterai berdaya rendah, dengan jarak jangkauan operasi 3-12 km. Protokol komunikasi Wide Area Network (WAN) digunakan pada modul LoRa untuk menyediakan fungsionalitas switching pada area yang ditargetkan. Kinerja sistem dievaluasi oleh tiga studi kasus kehidupan nyata melalui pengukuran suhu dan kelembaban lingkungan, mendeteksi kebakaran, dan mengendalikan fungsionalitas switching peralatan. Memperoleh data lingkungan yang benar, deteksi kebakaran dengan akurasi 90%, dan fungsionalitas switching dengan akurasi 92,33% pada jarak hingga 12 km menunjukkan kinerja sistem yang tinggi (Nur-A-Alam et al., 2021).

Y. Wang dkk, “*Review of Smart Meter Data Analytics: Applications, Methodologies, and Challenges*”, penelitian ini melakukan tinjauan berorientasi aplikasi dari analitik data SM di pasar ritel, termasuk aplikasi dalam peramalan beban, deteksi abnormal, segmentasi konsumen, dan respons permintaan. Mengikuti tiga tahap analitik, yaitu, analitik deskriptif, prediktif dan preskriptif, dengan mengidentifikasi area aplikasi utama sebagai analisis beban, prakiraan beban, dan manajemen beban. Adapun teknik dan metodologi yang diadopsi atau dikembangkan untuk menangani setiap aplikasi seperti masalah *big data* (BD), teknologi baru *machine learning* (ML), model bisnis baru, transisi sistem energi, serta privasi dan keamanan data (Wang et al., 2019).

H. Verma dkk, “*Smart home system based on Internet of Things*” penelitian ini menggambarkan jaringan HAN yang mengintegrasikan tiga komponen yang digabungkan yaitu *smart home* (SH), IoT, dan *Cloud Computing* (CC). Untuk

mengatur dan mengelola aliran data yang luas secara *real time* dengan cara yang efisien dan seimbang (Verma et al., 2016).

H. G. Schroder Filho dkk, “*The Adequacy of LoRaWAN on Smart Grids: A Comparison with RF Mesh Technology*” Konsep IoT pada SG menggunakan teknologi RF Mesh dan PLC paling banyak dipasaran, Penelitian ini mengeksplorasi teknologi baru bernama Long Range Wide Area Network (LoRaWAN) dan mengusulkan bahwa teknologi ini adalah yang paling cocok saat ini untuk skenario besar IoT (Schroder Filho et al., 2016).

N. I. Osman dan E. B. Abbas, “*Simulation and Modelling of LoRa and Sigfox Low Power Wide Area Network Technologies*” penelitian ini membahas standar komunikasi LPWAN karena kemampuan komunikasinya yang murah dan jarak jauh dan dianggap sebagai standar komunikasi nirkabel masa depan untuk IoT. Penelitian ini mengembangkan simulasi yang berfokus pada LoRa dan Sigfox untuk mengevaluasi setiap teknologi LPWAN individu. Evaluasi ini mencakup pengaruh jumlah perangkat pada kinerja LoRa dan Sigfox dengan mengukur tabrakan, tingkat kesalahan paket, dan spektrum di bawah nilai yang berbeda dari jumlah perangkat IoT. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Sigfox memiliki tingkat tabrakan dan kesalahan paket yang lebih sedikit dengan representasi spektrum yang sedikit lebih baik dibandingkan dengan LoRa. Hasil juga menunjukkan bahwa peningkatan jumlah perangkat menyebabkan peningkatan tabrakan dan tingkat kesalahan paket. *Future work* dalam penelitian ini adalah memperluas evaluasi dengan mempertimbangkan nilai parameter yang berbeda termasuk jumlah saluran dan mobilitas perangkat (Osman & Abbas, 2018).

T. H. To and A. Duda, “*Simulation of LoRa in NS-3: Improving LoRa Performance with CSMA*” penelitian ini mempertimbangkan dua masalah. Pertama, menyajikan modul NS-3 yang mensimulasikan perilaku LoRa dengan cara yang akurat. Untuk memvalidasi model, peneliti membandingkan hasilnya dengan pengukuran pada *testbed* dunia nyata dan dengan nilai terukur. Penelitian ini menunjukkan bahwa modul dengan tepat mewakili efek penangkapan yang menurunkan laju penurunan paket karena tabrakan. Kedua, peneliti ingin meningkatkan kinerja perangkat LoRa tanpa mempengaruhi konsumsi energi, aspek yang biasanya tidak diperhitungkan dalam literatur. Penelitian ini menggunakan simulator untuk mengevaluasi CSMA (Carrier Sense Multiple Access), peningkatan sederhana untuk LoRaWAN yang menurunkan rasio tabrakan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa CSMA sangat menurunkan rasio tabrakan dan hanya sedikit meningkatkan konsumsi energi. Hasil pengamatan bahwa CSMA menggunakan konsumsi energi yang lebih rendah daripada LoRa (To & Duda, 2018).

I. Studies and A. Panagi, “*Exploring Communication Features and Security Vulnerabilities of Long-Range (LoRa) Networks,*” mengautentikasi smart meter dua arah antara smart meter di sisi pelanggan dan server di sisi utilitas. Penelitian ini menyajikan model kunci (kriptografi) dengan autentikasi dua arah antara smart meter dan utilitas, kemudian mengkaji arsitektur protokol LPWAN untuk mengevaluasi perilaku serangan siber pada smart grid (Studies & Panagi, 2021)

P. De Moraes and A. F. Da Conceicao, “*Protecting LoRaWAN data against untrusted network servers,*” meningkatkan ketahanan keamanan data pada aplikasi

berbasis IoT LoRaWAN yang menggunakan server jaringan yang tidak terpercaya. Format payload yang diusulkan dalam penelitian ini menyediakan lapisan kerahasiaan dan integritas data tambahan untuk mengurangi risiko penggunaan server jaringan yang tidak terpercaya (De Moraes & Da Conceicao, 2021),

D. L. Mai and M. K. Kim, "*Multi-hop Lora network protocol with minimized latency,*" Seorang peneliti yang menggunakan protokol jaringan LoRa multi-hop multi-hop latensi rendah dan bebas tabrakan mengusulkan prototipe node LoRa menggunakan modul MultiTech mDot, dan hasilnya menunjukkan bahwa protokol yang diusulkan memberikan keandalan tinggi, dan transmisi paralel, jumlah waktu yang diminimalkan slot ditentukan. untuk semua tautan di jaringan, ukuran paket diminimalkan dan latensi rendah (Mai & Kim, 2020),

A. Madaan, S. Bansal, A. Sahu, and F. Kidwai, "*Peer to Peer Communication in GUI interface using Lora Technology,*" menggunakan SX1278 untuk mengirimkan data dalam bentuk paket-paket kecil berbasis teknologi radio area luas dimana permasalahan utama dari Lora Technology terungkap dalam penelitian tersebut adalah rata-rata packet loss saat pengiriman data hampir 50% yaitu ada kemungkinan 0,5 bahwa paket tidak akan diterima di sisi penerima dan untuk meningkatkan keandalan dan keamanan data yang dikirim, peneliti mengusulkan logika dasar untuk membuat pengiriman dan penerimaan paket lebih andal menggunakan konsep serialisasi paket dan mengamankannya menggunakan algoritma AES (Madaan et al., 2020)



A. Barrera, C. W. Cheng, and S. Kumar, “*Improved Mix Column Computation of Cryptographic AES,*” Peneliti lain membahas risiko keamanan pada aplikasi berbasis IoT LoRaWAN yang bertujuan untuk meningkatkan ketahanan keamanan data menggunakan server jaringan yang tidak terpercaya dan kemudian mengatur langkah-langkah keamanan. Format payload yang diusulkan dalam penelitian ini memberikan kerahasiaan data dan lapisan integritas tambahan untuk mengurangi risiko penggunaan server jaringan yang tidak terpercaya. Peneliti menggunakan algoritma enkripsi AES 128 menggunakan mode operasi CBC (Cipher Block Chaining) yang berfokus pada paralelisasi menggunakan FPGA (Barrera et al., 2019).

M. Capuzzo, D. Magrin, and A. Zanella, “*Mathematical Modeling of LoRa WAN Performance with Bi-directional Traffic,*” mengembangkan model analitik yang sesuai yang dapat memainkan peran penting dalam studi teknologi smart grid. dan model matematis diusulkan yang secara akurat memperkirakan kemungkinan keberhasilan paket jaringan LoRaWAN pada lalu lintas dua arah, yaitu transmisi *uplink* (UL) dan *downlink* (DL), dan memperhitungkan fitur paling penting dari chipset LoRa dan standar LoRaWAN (Capuzzo et al., 2018).

Berdasarkan latar belakang penelitian diperoleh hasil mengenai peluang dan tantangan dari penelitian terdahulu serta penelitian masa depan *Future works* yang berhubungan dengan sistem komunikasi dan keamanan pada SG yaitu :

1. Penelitian (Chen et al., 2010; Chou & Gusti Ayu Novi Yutami, 2014; Wang et al., 2019) menilai keandalan sistem komunikasi HAN pada SG dengan membandingkan komunikasi menggunakan kabel dan tanpa kabel, menggunakan

analitik deskriptif. Penelitian (Verma et al., 2016) juga menggunakan IoT dan *Cloud Computing* (CC) yang secara sistematis dan implementasi membuktikan keandalannya yaitu dapat mengatur dan mengelola aliran data yang luas secara *real time* dengan cara yang efisien dan seimbang.

*Research gap* : penelitian ini belum diimplementasikan pada SG.

2. Penelitian (Almeida et al., 2020; Hwang et al., 2019; Nur-A-Alam et al., 2021; Osman & Abbas, 2018; To & Duda, 2018) menilai keandalan sistem komunikasi WAN pada SG dari *Packet Error Rate* (PER) yaitu dari faktor jarak, hambatan dan kebisingan. Penelitian (Petäjärvi et al., 2016) keandalan diukur dengan beberapa faktor antara lain jarak, redaman dan *pathloss*.

*Research gap* : penelitian (Almeida et al., 2020; Hwang et al., 2019; Nur-A-Alam et al., 2021; Osman & Abbas, 2018; To & Duda, 2018), (Petäjärvi et al., 2016) mengukur parameter keandalan tidak mencakup BER dan SER. Penelitian (Petäjärvi et al., 2016) cakupannya berada di Finlandia yang menggunakan pita ISM 868 MHz sehingga sangat berpeluang untuk dijadikan sebagai parameter pembandingan pada ISM yang berlaku di Indonesia.

3. Penelitian (Liao et al., 2017) menggunakan jaringan LoRa untuk meningkatkan penyebaran energi domain waktu untuk meningkatkan kinerja sistem menggunakan metode *offset CT*. Penelitian ini juga mampu meningkatkan keandalan di sisi penerima.

*Research Gap* : Penelitian ini membutuhkan perangkat tambahan sehingga menjadi salah satu bahan pertimbangan dalam penelitian ini.

4. Penelitian (Nafi, Ahmed, Gregory, et al., 2016) membangun model SG dari referensi beberapa negara di Australia, Amerika, negara eropa, Jepang dan Cina untuk membangun SG yang cerdas, andal dan aman. Penelitian (Ogbodo et al., 2017; Zhang et al., 2019) membangun model simulasi komunikasi menggunakan NS-3 pada jaringan HAN, NAN dan WAN dimana tingkat kehilangan paket lebih tinggi dan desain BPLC-Ethernet dan BPLC WiMAX dapat mengakomodasi aplikasi DER dengan kecepatan data tinggi hingga 100 Mbps.

*Research Gap* : Dari segi infrastruktur penelitian ini membutuhkan peralatan yang banyak dan biaya yang tinggi karena menggunakan BPLC-Ethernet dan BPLC WiMAX.

5. Untuk memperkuat ketahanan keamanan data menggunakan server jaringan yang tidak terpercaya, peneliti lain telah membahas tentang ancaman keamanan pada aplikasi berbasis IoT LoRaWAN dan perlunya kontrol keamanan. Untuk mengurangi bahaya menggunakan server jaringan yang tidak dapat diandalkan, struktur muatan yang disarankan dalam penelitian ini menawarkan kerahasiaan data dan lapisan integritas tambahan. Penelitian (De Moraes & Da Conceicao, 2021; Madaan et al., 2020; Mai & Kim, 2020; Studies & Panagi, 2021) membangun sistem informasi dan komunikasi dengan mengkaji arsitektur SM dan mengkaji protokol LPWAN, LoRa Multi-hop serta menghitung *packet loss* menggunakan algoritma 128 dan perangkat SX1278,

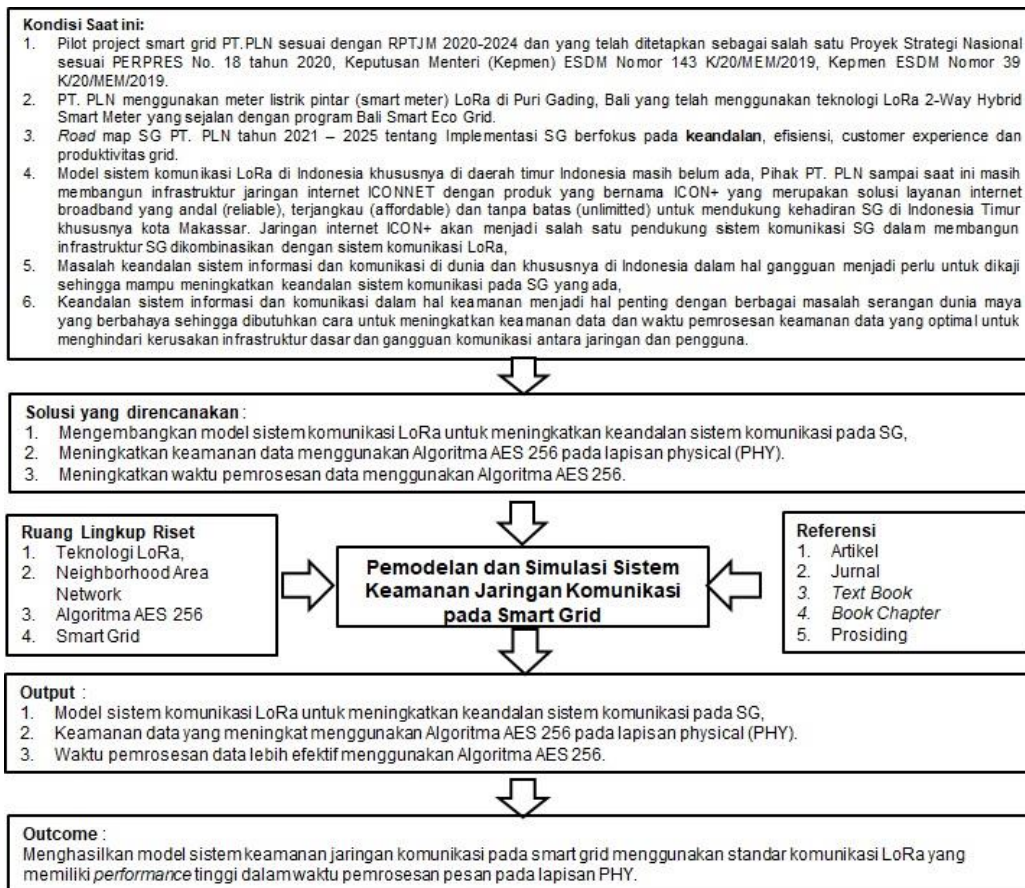
*Research Gap* : Penelitian ini dikembangkan sehingga mendapatkan *packet loss* sebesar lebih rendah menggunakan SX1276 karena akan bekerja pada pita frekuensi

868MHz dan 915MH sedangkan SX1278 menggunakan pita frekuensi 433MHz dan 470MHz.

7. Penelitian (Barrera et al., 2019; Capuzzo et al., 2018) menggunakan AES 128 dengan mode operasi CBC menggunakan FPGA dan konsumsi daya 3.6 mW  
*Research Gap* : Penelitian ini menggunakan AES 256 mode operasi yang sama tetapi menggunakan mikrokontroler Arduino dengan konsumsi daya 25 mW dan sangat dipertimbangkan untuk skala besar (SM pada pelanggan).

### **C. Kerangka Konsep Penelitian**

Kerangka konsep penelitian bertujuan untuk melihat secara rinci permasalahan yang ada saat ini, Tindakan apa yang akan dilakukan sebagai solusi dari permasalahan penelitian. Solusi penelitian menjadi *output* sekaligus *novelity* dari penelitian sedangkan *outcome* penelitian merupakan kontribusi yang bisa diberikan dari hasil penelitian berupa keilmuan dalam bidang teknologi informasi dan komunikasi serta sistem keamanan pada jaringan SG. Gambar 8 berikut ini merupakan kerangka konsep penelitian yang secara keseluruhan dilakukan pada penelitian ini.



Gambar 8. Kerangka konsep penelitian