

**ANALISIS DAYA DAN SUHU KABEL PADA GARDU
DISTRIBUSI MENGGUNAKAN DATA BEBAN PUNCAK
DENGAN TEKNOLOGI *LORA***

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Magister Teknik (M.T.)
Dalam Bidang Teknik Elektro

Oleh:

Purnama Helena T Hutabarat
NPM: 1920080003



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK ELEKTRO
PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2022**

PENGESAHAN

**ANALISIS DAYA DAN SUHU KABEL PADA GARDU DISTRIBUSI
MENGUNAKAN DATA BEBAN PUNCAK DENGAN TEKNOLOGI LORA**

PURNAMA HELENA T HUTABARAT

NPM : 1920080003

Program Studi : Magister Teknik Elektro

“Tesis ini telah dipertahankan di Hadapan Komisi Penguji yang dibentuk oleh Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, dinyatakan Lulus dalam Ujian Tesis dan berhak menyandang Gelar Magister Teknik Elektro (M.T) Pada Hari Senin, Tanggal 21 Maret 2022”

Komisi Penguji

1. **Assoc. Prof. Dr. Ir. SYAFRUDDIN HASAN, M.Sc**
Ketua

1. 

2. **Assoc. Prof. Dr.Ir . SURYA HARDI, M.Sc**
Sekretaris

2. 

3. **Dr. JOSEF HADIPRAMANA**
Anggota

3. 

PENGESAHAN TESIS

Nama : PURNAMA HELENA T HUTABARAT
NPM : 1920080003
Program Studi : Magister Teknik Elektro
Konsentrasi : Manajemen Energi Listrik
Judul Tesis : ANALISIS DAYA DAN SUHU KABEL PADA GARDU
DISTRIBUSI MENGGUNAKAN DATA BEBAN PUNCAK
DENGAN TEKNOLOGI LORA



Pengesahan Tesis

Medan, 21 Maret 2022

Komisi Pembimbing

Pembimbing I

Pembimbing II

Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T

Assoc. Prof. Dr. M.FITRA ZAMBAK, M.Sc

UMSU

Diketahui

Direktur

Ketua Program Studi

Prof. Dr. TRIONO EDDY, S.H., M.Hum

Assoc. Prof. Dr. Ir. SUWARNO, M.T

Unggul | Cerdas | Terpercaya

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

ANALISIS DAYA DAN SUHU KABEL PADA GARDU DISTRIBUSI MENGUNAKAN DATA BEBAN PUNCAK DENGAN TEKNOLOGI *LORA*

Dengan ini penulis menyatakan bahwa :

1. Tesis ini disusun sebagai syarat untuk memperoleh gelar Magister pada Program Magister Teknik Elektro Program Pascasarjana Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara benar merupakan hasil karya penulis sendiri.
2. Tesis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister, dan/atau doktor), baik di Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara maupun di perguruan tinggi lain.
3. Tesis ini adalah murni gagasan, rumusan, dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan pihak lain, kecuali arahan Komisi Pembimbing dan masukan Tim Penguji.
4. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
5. Pernyataan ini saya tulis dengan sungguh-sungguh. Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan seluruh atau sebagian tesis ini bukan hasil karya penulis sendiri atau adanya plagiat dalam bagian-bagian tertentu, penulis bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang penulis sandang dan sanksi-sanksi lainnya sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Medan, 21 Maret 2022

Penulis



(Purnama Helena T Hutabarat)
1920080003

ANALISIS DAYA DAN SUHU KABEL PADA GARDU DISTRIBUSI MENGGUNAKAN DATA BEBAN PUNCAK DENGAN TEKNOLOGI *LORA*

**Purnama Helena T Hutabarat
NPM: 1920080003**

ABSTRAK

Pengukuran arus beban puncak pada suatu gardu distribusi pada saat beban puncak merupakan pekerjaan rutin yang dilakukan oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN), sebagai salah satu langkah pemantauan untuk gardu induk (monitoring) dan keperluan lainnya. Pengukuran beban puncak pada gardu distribusi dengan metode konvensional biasanya dilakukan dengan pengukuran manual yaitu pengukuran menggunakan amperemeter kemudian mencatat hasil pengukuran dan kemudian memasukkan data pengukuran (data entry) ke dalam blanko. Proses pembacaan dengan amperemeter ini kurang akurat, memakan waktu dan biaya yang mahal padahal data ini sangat membantu petugas dalam memperoleh data yang akurat tentang aliran daya pada gardu distribusi yang ada. Melalui penelitian ini, perekaman data gardu distribusi dimaksudkan untuk diwujudkan dalam suatu sistem informasi trafo distribusi dengan teknologi nirkabel LoRa. Alat nya dibuat bekerja secara real time untuk mengurangi potensi kesalahan, dan dapat memonitoring beban gardu induk setiap jam yang sebelumnya dilakukan oleh manusia yang hanya memantau beban gardu induk setiap enam bulan sekali. Dalam penelitian ini agar alat dapat bekerja secara real time diantaranya, mengukur daya menggunakan sensor, memilih sistem akuisisi data sebagai jembatan penghubung pengiriman data hasil pengukuran ke komputer dan membuat program untuk menampilkan hasil pengukuran pada komputer. Berdasarkan hasil penelitian pada gardu distribusi BR 391 pada penyulang 3 dapat diketahui bahwa rata-rata konsumsi daya harian tertinggi adalah pada pukul 20.00 WIB. Pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari dan beban tertinggi berada pada fasa T. Peningkatan penggunaan beban juga akan mempengaruhi status suhu kabel hingga 41,5°C

Kata kunci: *Gardu Distribusi, Beban Puncak, Teknologi LoRa*

ANALYSIS OF POWER AND TEMPERATURE OF CABLES AT DISTRIBUTION SUBSTS USING PEAK LOAD DATA WITH LORA TECHNOLOGY

Purnama Helena T Hutabarat
NPM: 1920080003

ABSTRACT

Measuring the peak load current at a distribution substation at the time of peak load is a routine job carried out by the State Electricity Company (PLN), as one of the monitoring steps for substations (monitoring) and other purposes. Measurement of peak load at distribution substations with conventional methods is usually done by manual measurement, namely measuring using an ammeter then recording the measurement results and then entering the measurement data (data entry) into the blank. The reading process with this ammeter is less accurate, time consuming and costly even though this data is very helpful for officers in obtaining accurate data about power flow at existing distribution substations. Through this research, the recording of distribution substation data is intended to be realized in a distribution transformer information system with LoRa wireless technology. his tool is made to work real time to reduce potential errors, and can monitor the load of the substation every hour, previously it was done by humans who only monitored the load of the substation every six months. In this research is so that the tool can work in real time including, measuring power using sensors, choosing a data acquisition system as a bridge to connect sending data measurement results to a computer and create a program to display the measurement results on the computer. Based on the results of the research at the distribution substation BR 391 on feeder 3, it can be seen that the highest average daily power consumption is at 20.00 WIB. The load usage occurs more at night and the highest load is in the T phase. The increased load usage will also affect the cable temperature state up to 41.5 °C

Key Words: *Distribution Substation, Peak Load, LoRa Technology*

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur penulis sampaikan kepada Allah Pencipta Semesta Alam atas nikmat kesehatan dan kesempatan serta kemudahan yang diberikan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis ini.

Tesis dengan judul “Analisis Daya Dan Suhu Kabel Pada Gardu Distribusi Menggunakan Data Beban Puncak Dengan Teknologi *LoRa*” ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatra Utara.

Dalam proses penulisan tesis ini, penulis banyak mendapatkan bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak sehingga penulisan tesis ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu pada kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan kepada :

1. Bapak Prof. Dr. Triono Eddy, S.H., selaku Direktur PPs UMSU,
2. Bapak Assoc. Prof . Dr. Muhammad Fitra Zambak, S.T., M.Sc., selaku Wakil Direktur PPs UMSU dan juga selaku dosen pembimbing,
3. Bapak Assoc. Prof . Dr. Ir. Suwarno, M.T., selaku ketua program studi MTE UMSU dan juga selaku dosen pembimbing dan,
4. Ibu Rohana, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi MTE UMSU
Bapak Assoc.Prof . Dr. Ir. Syafruddin Hasan, M.Sc., selaku dosen penguji,
5. Bapak Assoc. Prof . Dr. Ir. Surya Hardi, M.Sc., selaku dosen penguji,
6. Bapak Dr Josef Hadipramana, selaku dosen penguji,
7. Segenap bapak dan ibu dosen PPs MTE UMSU,
8. Seluruh Staf Biro dan Kepegawaian PPs UMSU,
9. Mahasiswa Program Studi Pasca Sarjana Teknik Elektro UMSU,
10. Semua pihak yang terlibat, yang tidak bisa penulis sebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari penulisan skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Masih banyak kekurangan-kekurangan yang harus diperbaiki. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk kita semua, khususnya dalam dunia pendidikan.

Medan, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

PENGESAHAN TESIS.....	i
PENGESAHAN	ii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iii
ABSTRAK	v
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Fokus Penelitian	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan Penelitian	4
1.6 Manfaat Penelitian	4
1.7 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kajian Pustaka.....	7
2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik.....	9
2.1.2 Gardu Distribusi	11
2.1.3 Tipe-Tipe Gardu Distribusi	11
2.1.4 Macam-Macam Gardu Distribusi.....	12
2.1.5 Penghantar Listrik	13
2.1.6 Transformator Distribusi	15

2.1.7	Konstruksi Transformator	16
2.1.8	Jenis-Jenis Transformator	17
2.1.9	Prinsip Kerja Transformator.....	20
2.1.10	Kenaikan Suhu Transformator	22
2.1.11	Pendinganan Transformator	23
2.1.12	Pola Pembebanan Transformator	25
2.1.13	Efisiensi Transformator	26
2.1.14	Daya Pada Arus Bolak-Balik	27
2.1.15	Waktu Beban Puncak	28
2.1.16	Faktor Beban	29
2.1.17	Teknologi LoRa.....	30
2.1.18	Arduino	33
2.1.19	Jenis-Jenis Arduino	34
2.1.20	Sistem Monitoring.....	36
2.2	Kajian Penelitian Yang Relevan	36
2.3	Kerangka Berpikir	39
BAB 3	METODE PENELITIAN	42
3.1	Tempat Dan Waktu Penelitian	42
3.2	Bentuk dan Strategi Penelitian.....	43
3.3	Sumber Data Penelitian.....	43
3.4	Teknik Pengumpulan Data.....	44
3.5	Teknik Analisis Data.....	44
3.5.1	Pembuatan Hardware	45
3.6	Diagram Alir	49
3.6.1	Diagram Blok.....	52
BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	56
4.1	Deskripsi Hasil Penelitian	57
4.2	Temuan Penelitian.....	56

4.3	Pembahasan.....	58
4.3.1	Analisa Daya Menggunakan Data Beban Puncak.....	58
4.3.2	Analisa Suhu Kabel Menggunakan Data Beban Puncak.....	64
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	67
5.1	Kesimpulan	67
5.2	Saran	67
	DAFTAR PUSTAKA	68
	LAMPIRAN.....	72

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Batas Suhu	22
Tabel 2.2	Macam-Macam Pendinginan	24
Tabel 2.3.	Ketentuan Pembebanan Transformator.....	25
Tabel 4.1.	pengukuran Daya Pada Beban Puncak.....	56
Tabel 4.2.	Perhitungan Daya Rata –rata per phasa	60
Tabel 4.3	Perhitungan Suhu Kabel Pada beban Puncak	62
Tabel 4.4	Rekomendasi Thermovisi dari PLN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Instalasi Sistem tenaga Listrik	10
Gambar 2.2 Segitiga Daya	28
Gambar 2.3 Kerangka Berfikir.....	41
Gambar 3.1 Gardu Distribusi BR 391	43
Gambar 3.2 Arduino Mega 2560	46
Gambar 3.3 LoRa Ra-02 SX1278	46
Gambar 3.4 Sensor Arus Pzem-004t.....	46
Gambar 3.5 Sensor suhu DS18B20.....	47
Gambar 3.6 LCD 16 x 2.....	49
Gambar 3.7 Flowchart Transmitter	49
Gambar 3.8 Flowchart Receiver	50
Gambar 3.9 Diagram Blok Transmitter	49
Gambar 3.10 Diagram Blok Receiver.....	51
Gambar 3.11 Diagram Alir Penelitian	52
Gambar 4.1 Gambar Box Panel (PHB-TR).....	55
Gambar 4.2 Grafik Data Pengukuran Daya Rata-Rata Satu Minggu.....	61
Gambar 4.3 Grafik Data Pengukuran Daya Beban Puncak Harian	61
Gambar 4.4 Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phasa R	63
Gambar 4.5 Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phasa S	64
Gambar 4.6 Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phasa T	64

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Program Lengkap	71
Lampiran 2	Hasil Tampilan pengukuran di LCD	79
Lampiran 3	Gambar Rangkaian Alat Transmitter.....	80
Lampiran 4	Gambar Rangkaian Alat Receiver	81
Lampiran 5	Posisi Penempatan Alat Pada Gardu	82
Lampiran 6	Gambar Tabel Hasil Pengukuran di Komputer	83

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Ketersediaan tenaga listrik merupakan sebuah kebutuhan utama dalam kehidupan sehari –hari termasuk juga untuk kebutuhan industri. Seiring dengan laju pertumbuhan pembangunan maka dituntut adanya sarana dan prasarana yang mendukungnya seperti tenaga listrik. Untuk memenuhi kebutuhan yang semakin besar itu , pihak memenuhi dalam menjalankan kegiatan operasional sehari hari dalam suatu perusahaan sangat dibutuhkan kemajuan teknologi informasi. Peran utama teknologi salah satunya adalah untuk mengelola data menjadi sebuah informasi yang dihasilkan dengan cepat dan akurat kepada pihak pihak perusahaan listrik negara yang selanjutnya akan disingkat PLN yang akan terus memenuhi kebutuhan tersebut dengan berbagai cara termasuk menyediakan gardu distribusi untuk menyalurkan energi listrik ke konsumen. Pemilihan judul **“Analisis Daya Dan Suhu Kabel Pada Gardu Distribusi Menggunakan Data Beban Puncak Dengan Teknologi LoRa”** ini pada dasarnya berawal dari pengukuran arus pada sebuah gardu distribusi pada saat beban puncak yang merupakan pekerjaan rutin yang dilakukan oleh PLN masih dilakukan dengan mencatat secara manual dengan cara mendatangi tiap –tiap gardu distribusi untuk mengukur dan mencatat nilai arus dan dilakukan tidak rutin sebagai salah satu langkah pemantauan gardu (*monitoring*) maupun keperluan lainnya. Pada beberapa gardu distribusi yang biasanya terdiri dari 2 feeder yang akan melayani

konsumen. Petugas yang melakukan pengukuran beban puncak pada kedua feeder tersebut dengan pengukuran manual, yaitu mengukur menggunakan alat amperemeter kemudian mencatat hasil pengukuran untuk kemudian dimasukkan data hasil ukurnya (*data entry*) ke dalam blangko[1][2]. Proses pembacaan dengan amperemeter ini kurang akurat, memakan waktu dan biaya padahal data-data ini sangat membantu petugas dalam melakukan pengontrolan gardu distribusi yang ada. Pemantauan tidak terekam setiap saat sehingga hasil fluktuasi beban pada transformator tidak terlihat. Pengecekan suhu kabel pada gardu distribusi pun hampir tidak pernah dilakukan walaupun secara manual, sehingga diperlukan alat yang dapat memantau secara *continue* dan *realtime*.

Untuk dapat mengatasi masalah tersebut diperlukan suatu upaya dengan cara membuat suatu aplikasi yang bisa mengelola data pengukuran arus beban puncak dengan mudah, cepat, akurat dan lebih aman[3]. Melalui tesis ini pencatatan data-data gardu distribusi tersebut ingin diwujudkan dalam suatu sistem informasi transformator distribusi dengan teknologi *Long Range wireless* yang selanjutnya akan disingkat *LoRa*. Pada penelitian ini peneliti melakukan pengukuran di satu feeder dengan menggunakan teknologi ini dan peneliti mengukur daya dan suhu kabel pada feeder 3 pada gardu distribusi. Teknologi ini diharapkan mampu membantu PLN untuk mendapatkan data yang akurat tentang aliran daya pada gardu distribusi, sehingga *relibity* sistem distribusi tenaga listrik bias terjaga dengan baik dan mampu menjawab permasalahan PLN terkait validitas data pengukuran.

1.2. Fokus Penelitian

Berdasarkan paparan pada latar belakang masalah, maka dapat diberikan identifikasi masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengaplikasikan suatu alat yang dinamakan *LoRa* untuk mempermudah analisa pengukuran beban puncak di gardu distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kusuma Medan.
2. Menggunakan teknologi *LoRa* dalam pengukuran daya dan suhu pada beban puncak di gardu distribusi untuk meningkatkan keakuratan data hasil ukur.

1.3. Batasan Masalah

Dalam penyelesaian masalah dari penelitian ini tidak menyimpang dari ruang lingkup yang telah ditentukan, maka perlu dilakukan pembatasan masalah dalam penelitian sebagai berikut

1. Pengukuran daya dan suhu di gardu distribusi yang dilakukan menggunakan data beban puncak pada gardu distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kusuma Medan.
2. Analisis pengukuran daya, suhu gardu distribusi menggunakan teknologi *LoRa Wireless*.
3. Data yang digunakan adalah pada saat beban puncak.

1.4. Rumusan Masalah

1. Bagaimana mengaplikasikan suatu alat yang dinamakan LoRa untuk mempermudah analisa pengukuran beban puncak di gardu distribusi 391 BR Jalan Wijaya Kusuma ?
2. Bagaimana menganalisis daya dan suhu pada gardu distribusi pada beban puncak dengan menggunakan teknologi *LoRa* ?

1.5. Tujuan Penelitian

Dari rumusan masalah di atas, maka dapat disusun tujuan penelitian seperti di bawah ini

1. Mengaplikasikan suatu alat yang dinamakan *LoRa* untuk mempermudah analisa pengukuran beban puncak di gardu distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kusuma.
2. Menganalisis daya dan suhu di gardu distribusi pada beban puncak dengan menggunakan teknologi *LoRa*.

1.6. Manfaat Penelitian

Hasil yang diperoleh dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut

1. Bagi penulis dapat sebagai sarana pendalaman studi teknologi *LoRa* dan sebagai sarana penyelesaian masalah dalam pengukuran beban puncak di gardu distribusi.
2. Bagi perguruan tinggi dapat sebagai bahan referensi untuk penelitian lanjutan.

3. Sedangkan bagi perusahaan dapat membantu kinerja PT PLN dalam rangka pemantauan asset khususnya gardu distribusi.

1.7. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tesis ini tersusun atas beberapa Bab pembahasan sebagai berikut

BAB 1 : PENDAHULUAN

Pada bab ini diuraikan secara singkat tentang latar belakang, identifikasi, batasan, rumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian.

BAB 2 : TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini memuat pembahasan umum tentang sistem pencatatan informasi di gardu distribusi dan juga landasan teori mengenai sistem distribusi, teknologi *LoRa*, teori mengenai mikrokontroler Arduino.

BAB 3 : METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjabarkan jalannya penelitian mulai dari lokasi dan waktu penelitian, jenis penelitian dengan menggunakan penelitian kualitatif, dan pembuatan alat pengukuran gardu distribusi.

BAB 4 : HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini memuat pembahasan mengenai pengukuran beban puncak dan menganalisa hasil pengukuran sampai tahapan analisis data.

BAB 5 : KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini akan memuat kesimpulan dari hasil pembahasan pada bab sebelumnya.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Kajian Pustaka

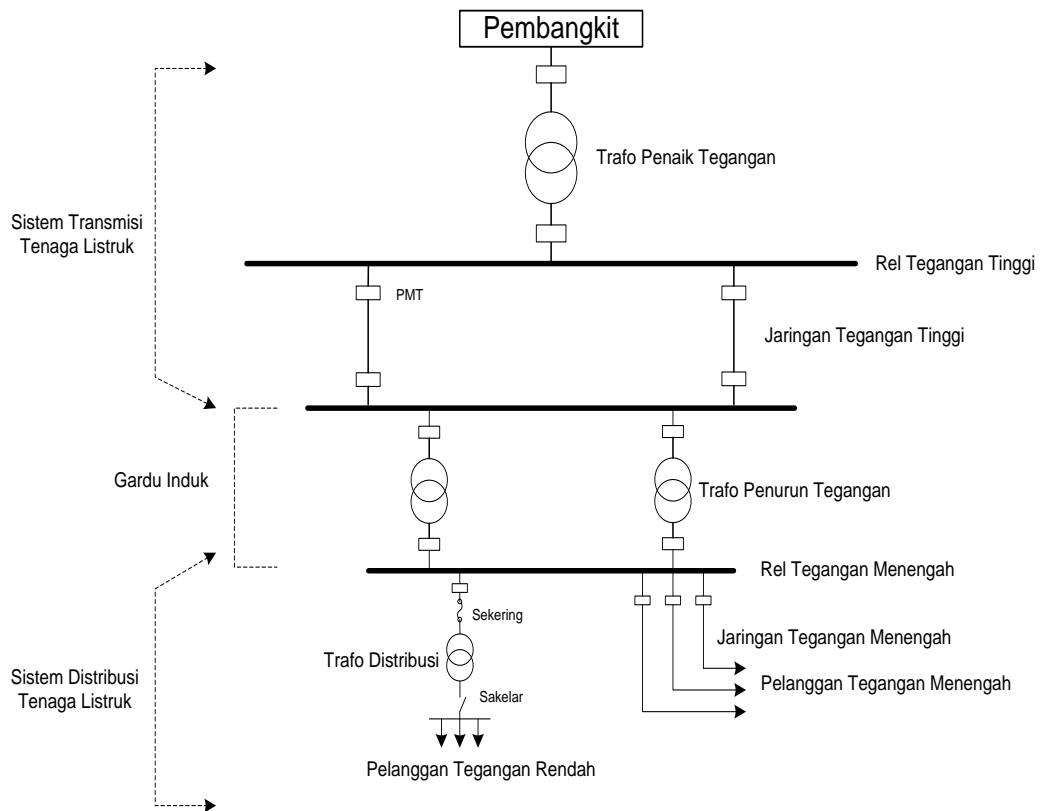
Energi listrik adalah suatu kebutuhan pokok yang memiliki peranan yang sangat penting dalam kehidupan. Hal ini disebabkan oleh karena hampir seluruh peralatan elektronik yang digunakan oleh masyarakat menggunakan listrik sebagai sumber energi, baik dalam kehidupan rumah tangga, industri, maupun pemerintahan. Penggunaan energi listrik akan meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah pelanggan dan banyaknya peralatan elektronik yang digunakan atau tingginya konsumsi energi listrik, kompleksnya aktivitas masyarakat akan berdampak pada tingginya tingkat permintaan energi listrik. Meningkatnya kebutuhan listrik menuntut PLN sebagai pihak penyedia energi listrik dapat memenuhi kebutuhan listrik konsumen sehingga tercipta stabilitas dalam berbagai bidang[4].

Peningkatan teknologi dan informasi yang semakin pesat, seiring dengan kebutuhan akan tenaga listrik yang semakin meningkat dan untuk itu diperlukan data dan informasi yang semakin cepat dan akurat untuk dalam mengurangi kendala dan ketersediaan tenaga listrik. Sistem pencatatan data-data pada gardu distribusi selama ini masih dilakukan secara manual[5]. Pemindahan data ke basis data pun dilakukan secara manual. Hal ini membutuhkan waktu yang lebih lama dibandingkan apabila sistem sudah terintegrasi satu sama lain. Jika pencatatan data berbasis *mobile device*, dan data-data yang dicatat masuk ke basis data secara

langsung, maka pencatatan pada gardu distribusi akan menjadi lebih teratur dan aliran data yang terjadi dapat dipantau dengan baik. Kemungkinan data hilang atau tercecer pun dapat diminimalisir. Penerapan sistem yang demikian juga akan menjawab keinginan manusia modern sehingga dapat melakukan pekerjaan dimana saja dan kapan saja. Selain itu hal-hal yang berkaitan dengan pencatatan data transformator menjadi lebih *real time* dan *up to date*. Salah satu teknologi yang dapat dijadikan sebagai alat untuk pengelolaan (*monitoring*) jaringan listrik adalah *LoRa wireless*. *LoRa wireless* memiliki keunggulan dibandingkan dengan *radio mesh*, karena area jangkauan cukup luas, efisiensi penggunaan catu daya cukup tinggi dan lebih akurat dalam mengatasi *error*[6]. Berbeda dengan model komunikasi *multi-hop* jarak pendek yang umumnya digunakan dalam jaringan *Internet of Thing* yang selanjutnya akan disingkat IoT. Teknologi *LoRa* dicirikan oleh hubungan jarak jauh (dalam urutan kilometer) dan memiliki topologi jaringan bintang. Setiap *node* berkomunikasi dengan server secara langsung. Tidak seperti jaringan *multi-hop mesh* atau topologi *ad-hoc*, jaringan sensor nirkabel memungkinkan menempatkan data dari semua *smart meter* ke *gateway* sehingga menjaga perangkat akhir menjadi cukup sederhana, hemat biaya, dan rendah energi[7].

2.1.1 Sistem Distribusi Tenaga Listrik

Sistem adalah perangkat unsur-unsur yang saling ketergantungan yang disusun untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan menampilkan fungsi yang ditetapkan. Unit distribusi tenaga listrik merupakan salah satu bagian dari suatu sistem tenaga listrik yang terdiri dari unit pembangkit, unit penyaluran/transmisi dan unit distribusi sampai ke konsumen[4]. Unit distribusi tenaga listrik dalam hal ini berfungsi untuk menyalurkan dan mendistribusikan tenaga listrik dari pusat pusat suplai atau gardu induk ke pusat-pusat beban yang berupa gardu gardu distribusi atau gardu transformator atau secara langsung mensuplai tenaga listrik ke konsumen dengan mutu yang memadai dengan demikian unit distribusi ini menjadi suatu sistem tersendiri karena unit distribusi ini memiliki komponen peralatan yang saling berkaitan dalam operasinya untuk menyalurkan tenaga listrik. Dalam hal ini jelas bahwa sistem distribusi merupakan bagian yang penting dalam sistem tenaga listrik secara keseluruhan dapat diilustrasikan seperti pada **Gambar 2.1**



Sumber (*Buku Pedoman PLN, 2014*)

Gambar 2.1 Instalasi Sistem Tenaga Listrik

Dilihat dari tegangannya unit distribusi PLN dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu :

- a. Distribusi primer, sering disebut oleh PLN sistem (Jaringan Tegangan Menengah (JTM) dengan tegangan operasi nominal 20 kV/11,6 kV.
- b. Distribusi sekunder, sering disebut oleh PLN sistem (Jaringan Tegangan Rendah (JTR) dengan tegangan operasi nominal 380/220 volt.

Selanjutnya disalurkan oleh saluran distribusi sekunder ke pelanggan konsumen

2.1.2 Gardu Distribusi

Gardu distribusi merupakan salah satu komponen dari suatu sistem distribusi PLN yang berfungsi untuk menghubungkan atau mendistribusikan tenaga listrik pada konsumen atau pelanggan, baik itu pelanggan tegangan menengah maupun pelanggan tegangan rendah[8]. Fungsi gardu distribusi adalah:

1. Menyalurkan/meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke konsumen tegangan rendah.
2. Menurunkan tegangan menengah menjadi tegangan rendah selanjutnya disalurkan ke konsumen tegangan rendah.
3. Menyalurkan/ meneruskan tenaga listrik tegangan menengah ke gardu distribusi lainnya dan ke gardu hubung.

Gardu distribusi merupakan kumpulan dari perlengkapan hubung bagi tegangan menengah maupun tegangan rendah dan transformator distribusi. Jenis perlengkapan hubung bagi tegangan menengah pada gardu distribusi berbeda sesuai dengan jenis konstruksi gardunya.

2.1.3 Tipe - Tipe Gardu Distribusi

Gardu distribusi menurut tipenya dibedakan menjadi beberapa jenis yaitu:

1. Jenis Pemasangannya

- a. Gardu pemasangan luar : gardu portal, gardu cantol
- b. Gardu pemasangan dalam : gardu beton, gardu kios.

2. Jenis Konstruksinya

- a. Gardu Beton (bangunan sipil : batu, beton)
- b. Gardu Tiang : gardu portal dan gardu cantol

c. Gardu Kios

3. Jenis Penggunaannya

a. Gardu Pelanggan Umum

b. Gardu Pelanggan Khusus

2.1.4 Macam - Macam Gardu Distribusi

Gardu distribusi terdiri dari bermacam- macam jenis diantaranya adalah :

a. Gardu Beton

Gardu distribusi yang bangunan pelindungnya terbuat dari beton (campuran pasir, batu dan semen)[9]. Gardu beton termasuk `gardu jenis pemasangan dalam, karena pada umumnya semua peralatan penghubung/pemutus, pemisah, dan transformator distribusi terletak di dalam bangunan beton. Dalam pembangunannya semua peralatan tersebut didisain dan diinstalasi di lokasi sesuai dengan ukuran bangunan gardu.

b. Gardu Portal

Gardu Portal merupakan salah satu dari jenis konstruksi gardu tiang, yaitu gardu distribusi tenaga listrik tipe terbuka (Out-door), dengan memakai konstruksi dua tiang atau lebih. Tempat kedudukan transformator sekurang kurangnya 3 meter di atas permukaan tanah. Dengan sistem proteksi di bagian atas dan Papan Hubung Bagi Tegangan di bagian bawah untuk memudahkan kerja teknis dan pemeliharaan.

c. Gardu Distribusi Tipe Cantol

Gardu cantol adalah tipe gardu listrik dengan transformator yang dicantolkan ada tiang listrik dengan daya 100 kVA. Transformator yang terpasang adalah jenis *Completely Self Protected Transformer* (CSP) yaitu peralatan *switching* dan proteksinya sudah terpasang lengkap dalam tangki transformator.

d. Gardu Kios

Gardu kios adalah bangunan *prefabricated* terbuat dari konstruksi baja, fiberglass dan kombinasinya yang dapat dirangkai di lokasi rencana pembangunan gardu distribusi. Gardu ini dibangun pada tempat-tempat yang tidak diperbolehkan membangun gardu beton. Karena sifat mobilitasnya, maka kapasitas transformator distribusi yang terpasang terbatas. Kapasitasnya adalah 400 kVa.

e. Gardu Mobil

Gardu distribusi yang bangunan pelindungnya berupa sebuah mobil (diletakkan diatas mobil), sehingga bisa dipindah-pindah sesuai dengan tempat yang membutuhkan. Oleh karenanya gardu mobil ini pada umumnya untuk pemakaian sementara (darurat), yaitu untuk mengatasi kebutuhan daya yang sifatnya temporer.

2.1.5 Penghantar Listrik

Kabel listrik adalah media untuk menghantarkan arus listrik ataupun informasi. Kabel terdiri dari dua bagian yaitu konduktor dan isolator. Bagian yang menghantarkan arus listrik disebut konduktor dan bagian yang tidak

menghantarkan arus listrik disebut isolator. Kabel dengan ukuran berbeda maka kapasitas arus listrik yang dapat disalurkan dan suhu yang dapat ditelerir pun berbeda. Kabel yang dibutuhkan dalam penyaluran arus listrik pada gardu distribusi harus memiliki spesifikasi yang bagus dan tahan pada kondisi panas.

Bahan dari kabel ini beranekaragam, khususnya sebagai penghantar arus listrik, umumnya terbuat dari tembaga dan dilapisi dengan pelindung[10]. Pemakaian tembaga sebagai penghantar adalah dengan pertimbangan bahwa tembaga merupakan suatu bahan yang mempunyai daya hantar yang baik setelah perak. Penghantar yang dibuat oleh pabrik yang dibuat oleh pabrik terdapat beraneka ragamnya. Berdasarkan konstruksinya, penghantar diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Penghantar pejal (solid) yaitu penghantar yang berbentuk kawat pejal yang berukuran sampai 10 mm^2 . Tidak dibuat lebih besar lagi dengan maksud untuk memudahkan penggulangan maupun pemasangannya
2. Penghantar berlilit (strandad); penghantarnya terdiri dari beberapa urat kawat yang berlilit dengan ukuran 1 mm^2 – 500 mm^2 .
3. Penghantar serabut (fleksibel); banyak digunakan untuk tempat-tempat yang sulit dan sempit, alat-alat portabel, alat-alat ukur listrik dan pada kendaraan bermotor. Ukuran kabel ini antara $0,5 \text{ mm}^2$ – 400 mm^2 .
4. Penghantar persegi (busbar); penampang penghantar ini berbentuk persegi empat yang biasanya digunakan pada PHB (Papan Hubung Bagi) sebagai rel-rel pembagi atau rel penghubung. Penghantar ini tidak berisolasi.

Selain tembaga, ada juga kabel terbuat dari serat optik yang disebut *fiber optic cable*. Pada panel hubung bagi tegangan rendah selanjutnya akan disingkat PHBTR terdapat salah satu komponennya adalah kabel *incoming* dan kabel *outgoing*. Kabel Incoming merupakan penghantar yang digunakan pada keluaran transformator ke saklar utama, jenis kabel yang digunakan yaitu NYY sedangkan Kabel Outgoing merupakan penghantar yang digunakan pada keluaran jurusan ke kabel SKUTR, jenis kabel yang digunakan yaitu NYY atau sering disebut kabel *Opstyg*.

Jika arus tersebut mengalir secara kontinu akan membuat kabel menjadi panas dan lama kelamaan akan meleleh atau rusak. Jika kulit kabel yang meleleh maka akan mengakibatkan arus hubung singkat dan menyebabkan kebakaran. Untuk mengatasi suhu kabel memang perlu dilakukan karena kita tidak dapat memprediksi kapan terjadi lonjakan beban yang bisa saja menyebabkan kabel rusak. Alat ini dibuat untuk mengatasi hal tersebut yaitu mendeteksi panas kabel utama dan sekitar panel listrik untuk memberikan peringatan dan dapat memproteksi jika panas berlebihan.

2.1.6 Transformator Distribusi

Transformator atau trafo adalah peralatan listrik yang dapat memindahkan energi listrik dengan merubah tingkat tegangan dari suatu rangkaian listrik ke rangkaian listrik lain melalui prinsip induksi magnetik tanpa merubah frekuensi. Dalam gardu distribusi portal biasanya digunakan transformator distribusi yang berfungsi untuk menurunkan tegangan listrik dari jaringan distribusi tegangan tinggi menjadi tegangan terpakai pada jaringan distribusi tegangan rendah (step

down transformator); misalkan tegangan 20 KV menjadi tegangan 380 volt atau 220 volt[11]. Pada kumparan primer mengalir arus jika dihubungkan ke sumber listrik arus bolak balik, sehingga pada inti transformator yang terbuat dari bahan feromagnet akan terbentuk sejumlah garis-garis gaya magnet (fluks = Φ)[6]. Karena arus yang mengalir adalah arus bolak balik maka fluks yang terbentuk pada inti akan mempunyai arah dan jumlah yang berubah- berubah. Jika arus yang mengalir berbentuk sinus maka fluks yang dihasilkan akan berbentuk sinus. Hal ini dikarenakan fluks mengalir melalui inti dimana pada inti tersebut terdapat lilitan primer dan lilitan sekunder maka pada lilitan primer dan lilitan sekunder akan timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi, namun arah GGL induksi primer berlawanan dengan arah GGL induksi sekunder[12].

2.1.7 Kontruksi Transformator

Konstruksi transformator distribusi terdiri dari beberapa bagian

1. Inti, terbuat dari lempengan-lempengan pelat besi lunak atau baja silikon yang di klem menjadi satu. Inti besi berfungsi untuk mempermudah jalannya fluks yang timbul karena adanya arus listrik yang mengalir melalui kumparan.
2. Belitan, terbuat dari tembaga yang letaknya dibelitkan pada inti dengan bentuk spiral atau konsentrik. Belitan berfungsi untuk menghantarkan arus listrik.
3. Sistem pendinginan, bagian ini terdapat pada transformator berkapasitas besar.

4. Bushing, berfungsi untuk menghubungkan rangkaian dalam transformator ke rangkaian luar terdapat pada transformator daya)
5. Arrester, sebagai pengaman transformator terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan switching.(SPLN se 002/PST/73)

2.1.8 Jenis - Jenis Transformator

1. Menurut fungsinya transformator dibagi atas:

a. Transformator daya

Transformator daya adalah transformator yang digunakan untuk pemasok daya. Transformator daya mempunyai dua fungsi yaitu menaikkan tegangan listrik (*step-up*) pada sistem dimana tegangan keluarannya lebih tinggi dari pada tegangan masukannya misalnya pada saat pengiriman atau penyaluran daya dan sebaliknya trafo berfungsi sebagai *step-down* pada system dimana tegangan keluaran lebih rendah daripada tegangan masukan.

Ciri-ciri transformator penaik tegangan (*step-up transformer*) Jumlah lilitan primer lebih sedikit daripada jumlah lilitan sekunder ($N_p < N_s$)

1. Tegangan primer lebih kecil dari tegangan sekunder ($V_p < V_s$)
2. Kuat arus primer lebih besar daripada kuat arus sekunder ($I_p > I_s$)

Fungsi kedua adalah menurunkan tegangan listrik (*step-down*) pada sistem dimana tegangan keluarannya lebih rendah daripada tegangan masukannya.

Ciri-ciri transformator penurun tegangan (*step-down transformer*) yaitu:

1. Jumlah lilitan primer lebih banyak daripada jumlah lilitan sekunder ($N_p > N_s$)
2. Tegangan primer lebih besar dari tegangan sekunder ($V_p > V_s$)

3. Kuat arus primer lebih kecil daripada kuat arus sekunder ($I_p < I_s$)

b. Transformator distribusi

Transformator distribusi digunakan untuk mendistribusikan energi listrik sehingga bisa langsung digunakan oleh konsumen. Transformator distribusi yang digunakan adalah transformator *step-down*.

c. Transformator pengukuran

Pada umumnya transformator ini digunakan untuk mengukur arus (I) dan tegangan (V). Transformator ini dibuat khusus untuk mengukur arus dan tegangan yang tidak mungkin biasa diukur langsung oleh amperemeter atau *voltmeter*.

2. Berdasarkan Konstruksi Inti Transformator

- a. Konstruksi Inti Berbentuk L. Inti transformator disusun dari plat-plat dari bahan elektromagnetik yang berbentuk L yang disusun saling mengisi.
- b. Konstruksi Inti Berbentuk T. Inti transformator disusun dari plat-plat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk L yang disusun saling mengisi.
- c. Konstruksi Inti Berbentuk F. Inti transformator disusun dari plat-plat dari bahan ferromagnetik yang berbentuk F yang disusun saling mengisi.
- d. Konstruksi Inti Berbentuk Gabungan. Pada pelaksanaan secara praktis, bentuk inti transformator dapat dibuat dari gabungan dua berbentuk U atau L, bentuk huruf E-I dan pelat yang digulung.

Berdasarkan Cara Pendinginan Transformator

- a. Pendinginan Alam. Transformator yang didinginkan tanpa bantuan apapun kecuali udara biasa (AN/ *Air Natural*).

- b. Pendinginan Buatan (Udara). Transformator dimasukkan dalam minyak yang dialirkan dengan udara dihembuskan (*OFB/ Oil- immersed forced-circulation with air-blast cooling*)
- c. Pendinginan Buatan (Air). Transformator dimasukkan dalam minyak pendinginan juga dibantu dengan air (*OW/ oil-immersed water cooling*)

3. Berdasarkan Kegunaannya

- a. Transformator Tenaga. Transformator ini digunakan pada sistem transmisi dan distribusi.
- b. Ototransformer. Transformator dimana belitan primer dan sekunder menjadi satu
- c. Transformator Pengaman. Transformator yang digunakan untuk menurunkan tegangan sehingga mengurangi bahaya terhadap pekerja
- d. Transformator Ukur. Transformator yang digunakan untuk alat-alat control.

4. Bentuk dan Konstruksi Transformator

Konstruksi transformator distribusi terdiri dari beberapa bagian

- 1. Inti, terbuat dari lempengan-lempengan pelat besi lunak atau baja silikon yang di klem menjadi satu.
- 2. Belitan, terbuat dari tembaga yang letaknya dibelitkan pada inti dengan bentuk spiral atau konsentrik.
- 3. Sistem pendinginan, bagian ini terdapat pada transformator berkapasitas besar.

4. Bushing, berfungsi untuk menghubungkan rangkaian dalam transformator ke rangkaian luar terdapat pada transformator daya)
5. Arrester, sebagai pengaman transformator terhadap tegangan lebih yang disebabkan oleh sambaran petir dan switching.

2.1.9 Prinsip Kerja Transformator

Prinsip kerja transformator dapat dijelaskan berdasarkan hukum Faraday yaitu apabila medan magnet berubah – ubah menurut waktu , akibat arus bolak - balik yang berbentuk sinusoida, suatu medan listrik akan dibangkitkan atau diinduksikan [3]. Pada sisi kumparan primer transformator diberi arus bolak balik sehingga timbul sejumlah garis-garis gaya magnet atau fluks magnet atau fluksi pada kumparan tersebut. Garis gaya magnet selalu berubah-ubah menurut gelombang sinusoidal yang mengakibatkan pada sisi kumparan sisi primer terjadi induksi. Kumparan sekunder akan menerima garis gaya magnet atau fluksi yang berubah-ubah dan mempunyai harga yang sama dengan jumlah garis gaya yang dikeluarkan sisi primer, sehingga pada sisi sekunder terjadi induksi.

Besarnya gaya gerak listrik induksi yang dihasilkan masing-masing kumparan berbanding lurus dengan jumlah lilitannya , sehingga didapat

$$e_1 = -N_p \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

$$e_2 = -N_s \frac{d\phi}{dt} \quad (2.2)$$

Keterangan:

e_1 = ggl induksi sesaat pada sisi primer

e_2 = ggl induksi sesaat pada sisi sekunder

$\frac{d\phi}{dt}$ = laju perubahan fluks magnet persatuan waktu

Jika dianggap bahwa tidak ada daya yang hilang, maka daya yang dilepas pada sisi primer sama dengan daya yang diterima pada sisi sekunder

$$S_p = S_s \quad (2.3)$$

$$V_p I_p = V_s I_s \quad (2.4)$$

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.5)$$

$$\frac{I_s}{I_p} = \frac{N_p}{N_s} \quad (2.6)$$

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} = \frac{E_p}{E_s} \quad (2.7)$$

Keterangan:

S_p = daya primer (VA)

S_s = daya sekunder (VA)

I_p = kuat arus primer (A)

I_s = kuat arus sekunder (A)

N_p = jumlah lilitan primer

N_s = jumlah lilitan sekunder

V_p = tegangan primer (V)

V_s = tegangan sekunder (V)

E_s = GGL induksi sekunder (V)

E_p = GGL induksi primer (V)

2.1.10 Kenaikan Suhu Transformator

Pembebanan menyebabkan terjadinya kenaikan suhu yang ditimbulkan oleh panas pada belitan transformator[13]. Hal ini disebabkan oleh arus listrik yang mengalir pada belitan dan induksi pada besi. Setiap kenaikan sekitar 9°C dari batas yang diizinkan akan mengakibatkan nilai susut umur, maka kenaikan suhu ini harus dibatasi. Batas kenaikan suhu yang distandarkan dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2.1 Klasifikasi Batas Suhu (°C)

Kelas	Kenaikan Suhu Tertinggi °C	Batas Suhu Tertinggi °C
O	40	90
A	50	105
E	60	120
B	70	130
F	85	155
H	95	180

Sumber (Ardyono, 2012)

International Electrotechnical Commision (IEC) menetapkan umur transformator 20 tahun atau setara 7300 hari, sehingga susut umur normal 0,0137% perhari. Pengoperasian transformator untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang luas. akan memperhitungkan pembebanan di atas daya pengenalan transformator. Hal ini dapat terjadi apabila dalam keadaan beban puncak, dalam keadaan darurat, dan juga jika memperhitungkan segi-segi ekonomisnya. Dengan beban lebih yang dipikul oleh transformator, panas yang dibangkitkan akan lebih tinggi dari pada panas yang dibangkitkan jika transformator beroperasi dalam keadaan ini akan

menaikkan suhu titik panas belitan (*hot-spotwinding*) yang tinggi, sehingga menyebabkan pemburukan tidak normal pada sistem isolasi transformator, yang akhirnya memperpendek umur operasi normal transformator yang diharapkan.

Untuk mencegah pendeknya umur transformator, pembebanan yang diberikan harus dibatasi agar suhu yang dibangkitkan sesuai dengan batas-batas suhu maksimum dalam pengoperasian normal. Kenaikan suhu ini dapat menyebabkan *anealing*, yang artinya pelunakan penghantar dan perubahan ini akan menyebabkan penurunan kemampuan mekanis transformator. Kerusakan karena arus lebih yang disebabkan pembebanan yang tidak baik atau berlebihan yang dapat merusak isolator transformator. Kerusakan pada transformator distribusi menyebabkan kontinuitas pelayanan terhadap konsumen akan terganggu (terjadi pemutusan aliran listrik atau pemadaman). Pemadaman merupakan suatu kerugian yang menyebabkan biaya-biaya pembangkitan akan meningkat tergantung harga kwh yang tidak terjual.

2.1.11 Pendinginan Transformator

Suhu Suhu pada trafo yang sedang beroperasi akan dipengaruhi oleh kualitas tegangan jaringan, rugi-rugi pada trafo itu sendiri dan suhu lingkungan. Suhu operasi yang tinggi akan mengakibatkan rusaknya isolasi pada trafo. Oleh karena itu pendinginan yang efektif sangat diperlukan. Minyak isolasi trafo selain merupakan media isolasi juga berfungsi sebagai pendingin. Pada saat minyak bersirkulasi, panas yang berasal dari belitan akan dibawa oleh minyak sesuai jalur

sirkulasinya dan akan didinginkan pada sirip-sirip radiator. Adapun proses pendinginan ini dapat dibantu oleh adanya kipas dan pompa sirkulasi guna meningkatkan efisiensi pendinginan[14].

Tabel 2.2 Macam - Macam Pendinginan Pada Transformator

No	Media				
	Dalam Trafo		Luar Trafo		
	Macam Sistem Pendinginan	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa	Sirkulasi Alamiah	Sirkulasi Paksa
1	AN			Udara	
2	AF				Udara
3	ONAN	Minyak		Udara	
4	ONAF	Minyak			Udara
5	OFAN		Minyak	Udara	
6	OFAF		Minyak		Udara
7	OFWF		Minyak		Air
8	ONAN/ ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/ ONAF	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN /ONAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/ OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

Sumber (Buku Pedoman PLN,2014)

Keterangan Tabel 2.2

1. AN (*Air Natural*) = Sistem pendinginan secara alami dengan memanfaatkan udara di lingkungan sekitar.
2. AF (*Air Force*) = Sistem pendinginan dengan cara meniupkan angin secara paksa dengan alat bantu kipas angin, dan kipas angin dinyalakan saat temperatur transformator meningkat.
3. ONAN (*Oil Natural Air Natural*) = Sistem pendinginan minyak secara alami dengan memanfaatkan udara di lingkungan sekitar.

4. ONAF (*Oil Natural Air Force*) = Sistem pendinginan minyak secara alami dengan menghembuskan udara dari kipas angin, dan kipas angin hanya dinyalakan pada saat pembebanan yang berat.
5. OFAF (*Oil Force Air Force*) = Sistem pendinginan minyak disirkulasikan dengan pompa minyak, dan di hembuskan udara dari kipas angin.
6. OFWF (*Oil Force Water Force*) = Sistem pendinginan minyak disirkulasikan dengan pompa minyak, dan air disirkulasikan melalui saluran pembuangan panas melalui pompa air.

2.1.12 Pola Pembebanan Transformator

Transformator *overload* apabila beban transformator melebihi 80% dari kapasitas transformator (*nameplate*) atau arus nominal (I_n). Beban transformator rekondisi <80% untuk semua merek transformator.

Tabel 2.3 merupakan ketentuan pembebanan transformator dilihat dari arus di sisi primer dan di sisi sekunder

Tabel 2.3 Ketentuan Pembebanan Transformator

No	Daya (kVA)/Fasa	I_p (A)	I_s (A)
1	25/1	1,25	54,1
2	50/1	2,5	108,23
3	64/1	3,2	135,53
4	25/3	0,72	36,08
5	50/1	1,44	72,17
6	100/3	2,89	144,34
7	160/3	4,62	230,94
8	200/3	5,77	288,67
9	250/3	7,22	360,84
10	315/3	9,09	454,66
11	400/3	11,54	577,35

Sumber (*SPLN50:1997*)

Untuk mengetahui arus sisi primer (I_p) transformator, dapat menggunakan persamaan:

$$I_p = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_p} \quad (2.8)$$

Keterangan:

S = Daya transformator (kVA)

V_p = Tegangan primer (V) = 20 kV

Untuk mengetahui arus sisi sekunder (I_s) transformator, dapat menggunakan persamaan:

$$I_s = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V_s} \quad (2.9)$$

Keterangan:

S = Daya transformator (kVA)

V_s = Tegangan sekunder (V) = 400 V

2.1.13 Efisiensi Transformator

Untuk setiap mesin atau peralatan listrik, efisiensi ditentukan oleh besarnya rugi rugi selama operasi normal. Efisiensi dari mesin-mesin berputar/bergerak umumnya antara 50-60% karena adanya rugi gesek dan angin. Transformator tidak bergerak, tetapi tetap memiliki rugi-rugi walaupun tidak sebesar peralatan listrik seperti mesin-mesin atau peralatan bergerak lainnya. Transformator daya saat ini dirancang dengan besar efisiensi minimal 95%.

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara daya output dengan daya input. Secara matematis dapat ditulis:

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (2.10)$$

$$\text{Maka : } P_{in} = P_{out} + \text{rugi-rugi} \quad (2.11)$$

Keterangan:

η = efisiensi transformator

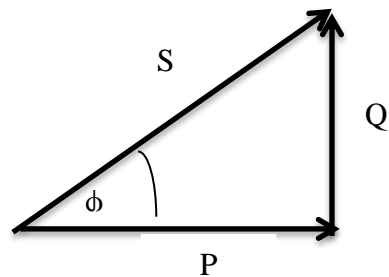
P_{out} = daya keluar (watt)

P_{in} = daya masuk (watt)

2.1.14 Daya Pada Arus Bolak - Balik

Daya listrik merupakan laju energi listrik yang terjadi pada suatu rangkaian listrik. Perubahan arus dan tegangan yang terjadi pada masukan daya dapat mempengaruhi besarnya nilai daya listrik yang dikeluarkan. Tidak semua daya yang dihasilkan dapat dimanfaatkan sebagai daya aktif. Daya aktif merupakan daya yang benar-benar dibutuhkan oleh peralatan listrik untuk melakukan suatu usaha. Terdapat juga daya reaktif yang merupakan bagian yang tidak memberikan manfaat secara langsung [15]. Daya reaktif ini biasanya disebabkan oleh beban yang bersifat induktif seperti motor-motor listrik

Hubungan dari ketiga macam daya tersebut kita kenal sebagai “segitiga daya”, seperti pada Gambar 2.2



Gambar 2.2 Segitiga Daya

Dari Gambar 2.2 persamaan masing-masing daya adalah

$$P = V.I \cos \phi \quad (2.12)$$

$$S = V.I \quad (2.13)$$

$$Q = V.I \sin \phi \quad (2.14)$$

$$\text{Atau } S = \sqrt{P^2 + Q^2} \quad (2.15)$$

Keterangan :

S = daya semu (VA)

P = daya aktif (Watt)

Q = daya reaktif (VAR)

I = Arus (Ampere)

2.1.15 Waktu Beban Puncak

PLN menggunakan dua istilah untuk membedakan dua istilah untuk membedakan waktu pemakaian listrik para pelanggannya, yaitu waktu beban puncak (WBP) dan luar beban puncak (LWBP[16]. WBP merupakan waktu

pemakaian listrik dikerjakan secara bersamaan oleh mayoritas masing-masing pelanggan PLN di dalam kediamannya.

Beban puncak terjadi ketika kebutuhan listrik konsumen menanjak ke titik yang paling tinggi di satu waktu tertentu, baik dalam rentang waktu jam, hari, minggu, bulan, hingga tahun. Batas rentang waktu yang termasuk kategori WBP umumnya berlangsung antara pukul 18.00 – 22.00 [17]. Data beban puncak listrik adalah data beban pemakaian energi listrik maksimal yang tercatat berdasarkan waktu. Sedangkan LWBP merupakan pemakaian listrik kebalikan dari waktu beban puncak. Pada prakteknya, pemakaian listrik di saat WBP tidak selalu pasti berlangsung selama pukul 17.00 - 22.00. Kondisi pemakaian listrik WBP pasti akan terjadi dalam jeda waktu antara pukul 18.00 - 22.00.

2.1.16 Faktor Beban

Faktor beban adalah perbandingan antara beban rata-rata terhadap beban puncak yang diukur dalam suatu periode tertentu. Perhitungan faktor beban dalam periode waktu tertentu biasanya dipakai perhitungan harian, bulanan atau tahunan. Faktor beban harian dipengaruhi oleh karakteristik dari daerah beban, keadaan cuaca dan kondisi hari libur/tidak. Beban rata – rata dan beban puncak dinyatakan dalam kilowatt (kW), kilovolt (KV) – amper (A), dan lain-lain, tetapi satuannya harus sama. Beban puncak yang dimaksud disini yaitu beban puncak sesaat atau beban puncak rata-rata dalam interval tertentu. Definisi dari faktor beban dapat dituliskan dalam persamaan :

$$\mathbf{Faktor\ beban\ (Fb) = \frac{\text{beban rata-rata dalam periode tertentu}}{P\ \text{beban puncak dalam periode tertentu}}} \quad (2.16)$$

$$\mathbf{Faktor\ beban\ (Fb) = \frac{P\ \text{rata rata}}{P\ \text{Puncak}}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

T = periode waktu per harian/bulan/tahun

P rata rata = beban rata –rata dalam periode T (watt)

P puncak = beban puncak yang terjadi pada selang waktu tertentu (watt)

2.1.17 Teknologi LoRa

Perkembangan teknologi akan semakin canggih dari waktu ke waktu, termasuk perkembangan teknologi komunikasi sangat berkembang pesat. Beberapa jenis komunikasi yang tersedia maka komunikasi seluler paling umum digunakan namun memiliki kelemahan ketika tidak terjangkau jaringan seluler. Teknologi LoRa memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis komunikasi lainnya seperti seluler, Bluetooth maupun WiFi. Bluetooth adalah teknologi nirkabel berdaya rendah, kecepatan transfer lebih lambat dan jangkauan lebih pendek yang menggunakan radio jarak pendek yang menyediakan cara untuk menghubungkan perangkat terdekat satu sama lain sebagian besar menggunakan area lokal dalam jarak 10 meter[18]. Kemampuan komunikasi jarak jauh seperti seluler, namun berdaya rendah seperti Bluetooth, menyebabkan penggunaanya sangat cocok untuk perangkat sensor yang dioperasikan tahunan dengan sumber daya baterai dan pada cakupan area yang luas.[19] Teknologi LoRa dapat diimplementasikan keberbagai peralatan IoT (*internet of things*) seperti pelacakan aset, pembaca meteran yang cerdas, solusi parkir cerdas, Setiap teknologi

memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Salah satu teknologi yang memungkinkan komunikasi dua arah berbiaya rendah adalah teknologi *LoRa*. Teknologi *LoRa* dapat digunakan untuk mentransfer data secara berkala [20]. Sesuai namanya *LoRa* adalah *protocol* jarak jauh yang dapat mentransmisikan data jarak jauh [21]. *LoRa* merupakan jaringan *wireless*. Jaringan *wireless* adalah teknologi komunikasi yang menggunakan gelombang radio yang berjalan dalam ruang hampa (tanpa media) [22]. Pada saat ini peran *wireless* adalah menggantikan komunikasi yang awalnya menggunakan teknologi kabel [23]. Kelebihan *wireless* membuatnya menjadi teknologi baru yang terus dikembangkan. Saat ini terdapat beberapa cara yaitu melalui gelombang radio (*Radio Frequency*), sinar inframerah (*Infrared*), *bluetooth*, gelombang mikro (*Microwave*), dan gelombang cahaya (*Lightwave Transmission*). Jaringan *wireless* memiliki keunggulan dan kelemahan dibandingkan dengan jaringan kabel. Keunggulan jaringan *wireless* yaitu mobilitas, mudah proses instalasinya, fleksibilitas tempat, efisiensi biaya, jangkauan luas.

LoRa adalah teknologi komunikasi data nirkabel digital yang dikembangkan oleh Cycleo Grenoble, Prancis dan diakuisisi oleh Semtech pada tahun 2012 [24]. *LoRa* merupakan *protocol* komunikasi nirkabel jarak jauh yang bersaing dengan jaringan *Low-Power Wide Area Network* (LPWAN) lainnya seperti *narrowband IoT* (NB IoT) [25]. *LoRa* memiliki kelebihan dibandingkan dengan jenis komunikasi lainnya seperti *seluler*, *bluetooth* maupun *WiFi*. Kemampuan komunikasi jarak jauh seperti *seluler*, namun berdaya rendah seperti *bluetooth*, menyebabkan penggunaannya sangat cocok untuk perangkat sensor yang

dioperasikan tahunan dengan sumber daya baterai dan pada cakupan area yang luas [6]. *LoRa* mempunyai keterbatasan kecepatan transmisi data yaitu antara 0.3 kbps hingga 50 kbps. Walaupun begitu tidak akan menjadi masalah selama data yang dikirimkan berukuran kecil. Aplikasi seperti ini cocok digunakan untuk berbagai macam jaringan sensor nirkabel *Wireless Sensor Network* (WSN)

LoRa merupakan suatu proses perubahan suatu gelombang periodik tertentu sehingga menjadikan suatu sinyal yang mampu membawa suatu informasi. Gelombang periodik adalah merupakan gerak gelombang yang secara teratur. Perubahan gelombang ini teratur dan berulang-ulang yang mempunyai sumber berupa gangguan yang bertahap atau secara bertahap yang berupa getaran. Proses perubahan suatu gelombang periodik itu disebut modulasi. Modulasi yang dihasilkan pada *LoRa* menggunakan modulasi *chirp spread spectrum*[19]. Dimana *spektrum* ini memiliki karakteristik daya rendah yang sama dengan modulasi juga bisa menggunakan *Phase Shift Keying* (PSK) yang memungkinkan data ditransfer melalui jangkauan puluhan kilometer [26]. *LoRa* menggunakan frekuensi yang berbeda – beda pada masing-masing yang dimiliki negara atau daerah, seperti di negara bagian Asia mempunyai frekuensi yang digunakan yaitu 433 mega hertz (Mhz). Lalu di negara bagian Eropa mempunyai frekuensi yang digunakan yaitu 868 Mhz. Kemudian di negara Amerika Utara mempunyai frekuensi yang digunakan yaitu 915 Mhz[7]. Dibandingkan dengan jaringan seluler pada umumnya, *LoRa* merupakan jaringan yang mencakup lebih luas. Selain itu juga mudah dipasangkan pada kebutuhan yang kita perlukan. Kebutuhan itu seperti pada alat elektronika lainnya yang pemasangannya

menggunakan *wireless*. Namun ketika dibandingkan dengan teknologi tersebut, *LoRa* memiliki jangkauan yang sangat panjang, yakni melebihi jarak 10 km[27] [25], walaupun dengan konsekuensi data rate yang rendah . Pengaplikasian dari *LoRa* ini bermacam macam dari berbagai bidang, khususnya dibidang IoT, *LoRa* digunakan dalam komunikasi *Machine to Machine* (M2M)[24], contohnya untuk pengembangan *Smart City*[28], dengan adanya *LoRa* sensor-sensor dapat berinteraksi langsung dengan manusia atau mesin di mana saja dan kapan saja. Dalam bidang otomotif kita dapat mengetahui status dan lokasi kendaraan kita secara *real time*, dalam bidang peternakan, kita dapat mengetahui kondisi hewan secara *real time*, dan masih banyak lagi contoh kasus pengaplikasian dari LoRa.

2.1.18 Arduino

Arduino adalah *board* berbasis *mikrokontroler* atau sering disebut papan rangkaian elektronika yang didalamnya terdapat komponen utama yaitu sebuah *chip mikrokontoler* yang dapat diprogram menggunakan software Arduino. Arduino banyak digunakan dalam pemograman *mikrokontroler*, karena mudah digunakan[29]. Arduino pada awalnya dikembangkan di Ivrea, Italia[30]. Arduino merupakan papan sirkuit dengan chip yang dapat diprogram untuk melakukan banyak hal seperti mengirim informasi dari program computer ke *mikrokontroler* arduino dan akhirnya ke sirkuit untuk menjalankan perintah tertentu. *Mikrokontroler* merupakan sistem komputer yang seluruh atau sebagian besar elemennya dikemas dalam satu *chip intergrated circuit* (IC) sehingga sering juga disebut *single chip microcomputer*, yang masuk dalam kategori *embedded*

computer[7]. Suatu kontroler digunakan untuk mengontrol suatu proses atau aspek-aspek dari lingkungan. Mikrokontroler juga dikenal dengan *mikroprocessor central procesing unit* (CPU) yang dikombinasikan dengan I/O dan *memori read only memory* (ROM) dan *random acces memory* (RAM). Berbeda dengan mikrokomputer yang memiliki bagian-bagian tersebut secara terpisah, *mikrokontroler* mengkombinasikan bagian tersebut dalam tingkat chip. Jadi dapat disimpulkan bahwa arduino adalah kit elektronik atau papan rangkaian elektronik *open source* yang didalamnya terdapat komponen utamanya itu sebuah *chip mikrokontroller* dengan jenis *automatic voltage regulator* (AVR)[31]. *Mikrokontroller* itu sendiri adalah *chip* atau *Integrated Circiut* (IC) yang bisa diprogram menggunakan komputer. Tujuan menanamkan program pada *mikrokontroller* adalah agar rangkaian elektronik dapat membaca input, memproses input tersebut dan kemudian menghasilkan output seperti yang diinginkan. Jadi *mikrokontroller* bertugas sebagai otak yang mengendalikan *input*, proses, dan *output* sesuai yang diinginkan sebuah rangkaian elektronik.

2.1.19 Jenis - Jenis Arduino

Ada beberapa jenis arduino sebagai berikut:

- a. Arduino Uno merupakan sebuah *board* minimum sistem mikrokontroler yang bersifat *open source*. Di dalam rangkaian board arduino terdapat *mikrokontroler* AVR seri ATmega 328 yang merupakan produk dari Atmel. Memiliki 14 pin *input/output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output pulse width modulation (PWM), 6 analog *input*, *crystal* osilator 16 MHz, koneksi universal serial bus (USB), *jack power*, kepala in-circuit serial

programming (ICSP), dan tombol reset. Arduino mampu men-*support* mikrokontroler dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB. Jenis ini paling banyak digunakan terutama untuk pemula. Versi terakhir dari Arduino Uno adalah Revisi 3 (R3).

- b. Arduino Nano adalah salah satu board mikrokontroler yang berukuran kecil, lengkap dan mendukung penggunaan breadboard. Arduino Nano diciptakan dengan basis *mikrokontroler* ATmega328 (untuk Arduino Nano versi 3.x) atau Atmega 16 (untuk Arduino versi 2x). Arduino Nano kurang lebih memiliki fungsi yang sama dengan Arduino Duemilanove, tetapi dalam paket yang berbeda. Arduino Nano tidak menyertakan colokan direct current (DC) berjenis *Barrel Jack*, dan dihubungkan ke komputer menggunakan *port* USB Mini-B. Arduino Nano dirancang dan diproduksi oleh perusahaan Graviteth.
- c. Arduino Due adalah tidak menggunakan ATMEGA, melainkan dengan chip yang lebih tinggi ARM Cortex CPU. Memiliki 54 I/O pin digital dan 12 pin input analog. Untuk pemogramannya menggunakan *micro* USB, terdapat pada beberapa handphone.
- d. Arduino Mega. Mirip dengan Arduino Uno, sama-sama menggunakan USB tipe A to B untuk pemogramannya. Tetapi Arduino Mega, menggunakan *chip* yang lebih tinggi ATMEGA 2560. Dan tentu saja untuk Pin I/O Digital dan pin input analognya lebih banyak dari Uno.
- e. Arduino Leonardo adalah saudara kembar dari Uno. Dari mulai jumlah pin I/O digital dan pin *input* analognya sama. Hanya pada Leonardo menggunakan mikro USB untuk pemogramannya.

f. Arduino Lilypad merupakan produk Lilypad sebenarnya ada beberapa macam seperti: Lilypad Arduino USB, Lilypad Arduino Main Board, Lilypad Arduino Simple, dan Lilypad Arduino Simple Snap. Pada pembahasan poin ini saya hanya membahas sedikit tentang Lilypad Arduino Main Board. Bentuknya yang melingkar membuat Lilypad dapat dipakai untuk membuat proyek unik. Seperti membuat amor iron man misalkan. Hanya versi lamanya menggunakan ATMEGA168, tapi masih cukup untuk membuat satu proyek keren. Dengan 14 pin Input/Ooutput (I/O) digital, dan 6 pin input analognya.

2.1.20 Sistem Monitoring

Monitoring adalah proses rutin pengumpulan data dan pengukuran atas objektif program. Memantau perubahan yang fokus pada proses dan keluaran. Monitoring akan memberikan informasi tentang status dan kecenderungan bahwa pengukuran dan evaluasi yang disediakan berulang kali dari waktu ke waktu, pemantauan umumnya dilakukan untuk tujuan tertentu. Monitoring merupakan proses pengumpulan dan analisis informasi berdasarkan indikator yang ditetapkan secara sistematis dan kontinu tentang kegiatan/ program sehingga dapat dilakukan tindakan koreksi untuk penyempurnaan program/ kegiatan itu selanjutnya. Sistem monitoring pada penelitian ini dilakukan untuk pengukuran daya dan suhu kabel sehingga dapat dilakukan tindakan menganalisis hasil dari pengukuran tersebut.

2.2. Kajian Penelitian yang Relevan

Penelitian ini membahas desain alat *monitoring* beban gardu distribusi. Alat ini dibuat bekerja secara *real time* untuk mengurangi potensi kesalahan, serta

dapat memonitoring beban gardu setiap jam yang sebelumnya dilakukan oleh manusia yang hanya memonitoring beban gardu enam bulan sekali. Dalam penelitian ini agar alat dapat bekerja secara real time meliputi pengukuran arus , daya, dan suhu menggunakan sensor. Penelitian mengenai suatu alat yang mampu memonitoring beban pada gardu distribusi selama 24 jam secara realtime pernah dilakukan M.L Pattiaapon, A. Soeleman dan Muhammad Faisal Darmawan[32] pada tahun 2019 tentang” Desain Alat *Monitoring* Beban Gardu Distribusi Secara *Real Time* Menggunakan Metode Perancangan Produk di PT PLN (Persero) Rayon Baguala” dalam penelitian ini hasil yang diperoleh adalah monitoring beban gardu, alat monitoring dapat bekerja secara *real time*, menampilkan pengukuran arus rata-rata, tegangan tegangan rata-rata, beban hingga persentase beban secara kontiniu terhadap waktu yang dicuplik setiap 1 jam menggunakan GUI MATLAB.

Dadang Eko Suprpto dkk[33] pada tahun 2019 membahas tentang :Monitoring Temperature Transformator Distribusi 220 Volt dengan Arduino berbasis IoT untuk memonitoring transformator temperatur tranformator di mana saja dan kapan saja dengan syarat mendapatkan koneksi internet dan menggunakan sensor temperature DS18B20 sebagai input data. Sedangkan untuk otak atau prosesor menggunakan mikrokontroler Arduino UNO dan untuk output ada beberapa komponen seperti buzzer sebagai alarm, *liquid crystal display* (LCD) 16x2 untuk menampilkan data. Hasil yang diperoleh bahwa alat ini dapat mengirim data hasil pembacaan sensor ke web melalui internet.

Rui Li, Xiao-ya Shang dkk[34] pada tahun 2019 melalui penelitian tentang” *Application of LoRa Tecnology in Smart Distribution Grid* “ membahas mengenai teknologi *LoRa* dalam jaringan distribusi pintar secara regional dapat menjamin pertukaran data dan keandalan kualitas transmisi. Pada jalur 10 Kv di kota Shuizang di kota Zhaoqing mengalami gangguan tipe kabel yang berada di blind zone komunikasi publik mengakibatkan tidak dapat dikirim ke server jaringan distribusi. Teknologi *LoRa* digunakan untuk mengatasi masalah ini.

Penelitian mengenai suatu alat yang mampu memonitoring arus, tegangan dan daya, dilakukan oleh Noer Soedjarwanto dan Gigih Forda Nama[13] pada tahun 2019 tentang” *Monitoring Arus, Tegangan dan Daya pada Transformator Distribusi 20 KV menggunakan Teknologi Internet of Things*”. Pada penelitian ini digunakan sensor tegangan dan sensor arus untuk mengukur arus dan tegangan dari jarak jauh dengan menggunakan teknologi IoT. Sensor tegangan, arus ,dan daya digunakan untuk mengukur besaran tegangan dan arus dari setiap fasa transformator distribusi. Hasil yang diperoleh pengujian alat mampu bekerja untuk memonitoring besaran – besaran listrik transformator distribusi dan mengirim data ke jaringan IoT dan dapat dimonitor dari jarak jauh melalui perangkat laptop atau *handphone*.

Lia Fisilia dan Chairul G.Irianto[35] pada tahun 2017 melakukan penelitian tentang “Perancangan *Prototipe Real Time Monitoring Beban Transformator Distribusi 20 KV Berbasis Mikrokontroler*”. Pada Penelitian ini mengolah data hasil pengukuran dari transformator berdasarkan parameter arus, beban dan suhu dapat digunakan mikrokontroler kemudian dikirim melalui *short message servive*

(SMS) dan ditampilkan melalui *liquid crystal display* (LCD). Penggunaan SMS dapat digunakan sebagai peringatan pada kondisi transformator ketika melebihi keadaan nominalnya. Hasil yang diperoleh bahwa peringatan beban lebih ditunjukkan dengan terkirimnya SMS.

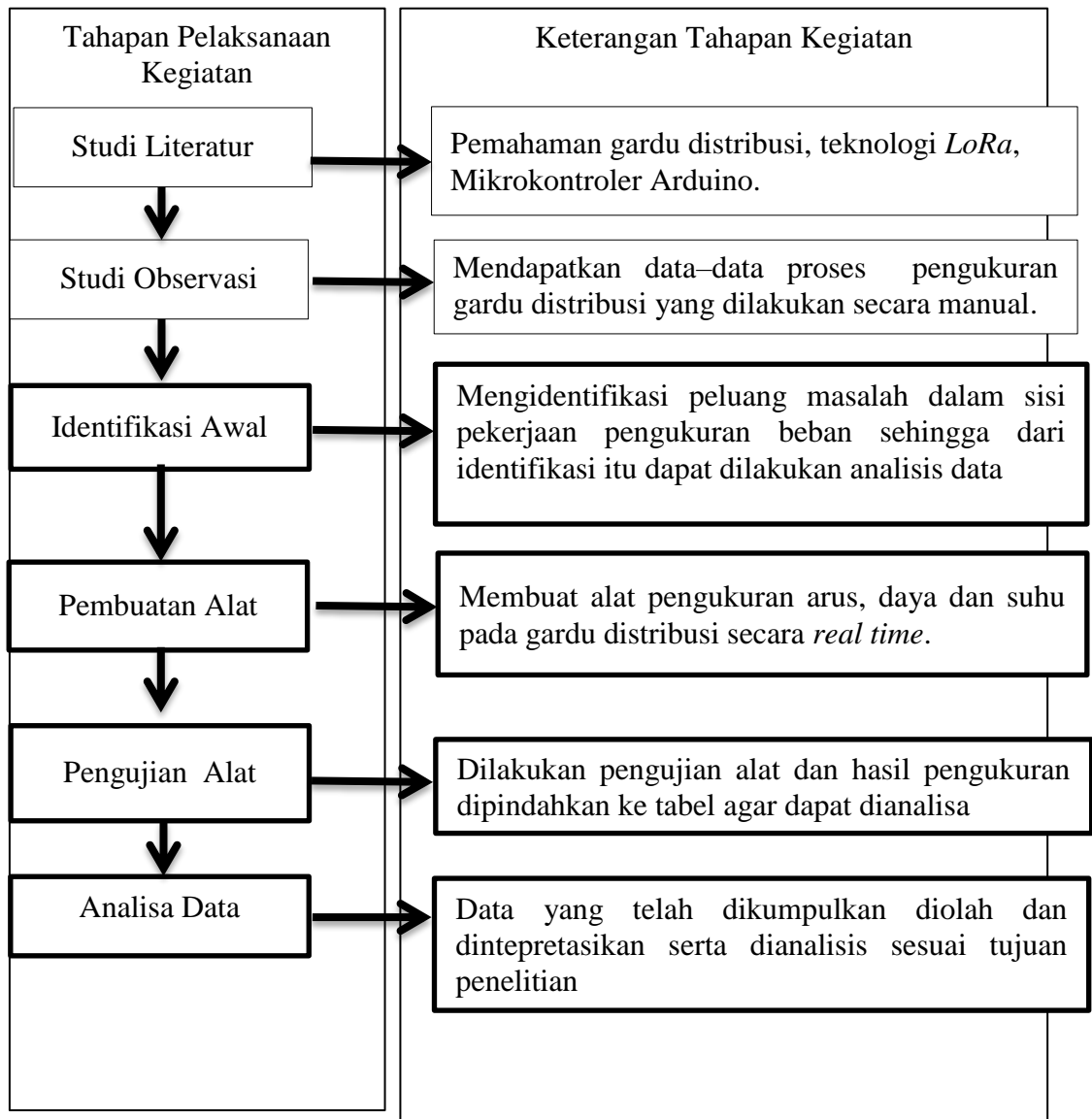
Peneliti dalam tugas akhir ini akan membahas mengenai pemanfaatan teknologi *LoRa* untuk menganalisa daya dan suhu pada gardu distribusi menggunakan sensor daya dan sensor suhu. Pemantauan data-data dapat dilakukan secara *real time* dan dicuplik setiap satu jam selama 24 jam yang biasanya dilakukan oleh manusia setiap dalam satu tahun sekali. Hasil yang diperoleh pengujian alat mampu bekerja untuk mengukur daya dan suhu kabel pada gardu distribusi dan mengirim data dari jarak jauh melalui perangkat laptop dan pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari dan beban yang paling tinggi berada pada fasa T. Pemakaian beban yang meningkat juga akan mempengaruhi keadaan suhu kabel.

2.3. Kerangka Berfikir

Sistem pencatatan data – data gardu distribusi selama ini masih dilakukan secara manual. Pengukuran arus tegangan dan suhu pada gardu distribusi yang biasanya dilakukan oleh manusia dan hanya dilakukan tiga bulan sekali berpotensi terjadinya kesalahan pengukuran sehingga kurang efektif dan membutuhkan waktu yang lama dibanding apabila sistem terintegrasi satu sama lain, juga resiko kecelakaan kerja yang bisa saja terjadi pada saat pengukuran dilakukan di gardu distribusi yang ada. Pengukuran yang dilakukan berdasarkan terjadinya waktu beban puncak yaitu antara pukul 18.00 – 22.00 WIB. Tetapi bisa

saja setiap gardu distribusi terkadang mempunyai waktu beban puncak berbeda – beda. Ada pada siang hari, sore hari, malam hari bahkan dini hari. Proses pembacaan dengan amperemeter ini kurang akurat, memakan waktu dan biaya padahal data-data ini sangat membantu petugas dalam melakukan pengontrolan gardu distribusi yang ada. Pemantauan tidak terekam setiap saat sehingga hasil fluktuasi beban pada transformator tidak terlihat. Pengecekan suhu kabel pada gardu distribusi pun hampir tidak pernah dilakukan walaupun secara manual, sehingga diperlukan alat yang dapat memantau secara *continue* dan *realtime*.

Dengan melihat keadaan ini maka dalam penelitian ini dirancang alat pengukuran dan penyimpanan data yang berfungsi untuk memonitoring gardu distribusi selama 24 jam secara real time. Kerangka berfikir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3



Gambar 2.3. Kerangka Berfikir

BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini, telah disusun serangkaian metode penelitian untuk mencapai tujuan yang telah ditetapkan. Penelitian ini mengaplikasikan sebuah alat untuk mengukur daya dan suhu pada gardu distribusi yang dinamakan dengan teknologi *LoRa* tanpa kabel dan memiliki keunggulan dibanding jika menggunakan cara konvensional karena data yang diperoleh *real time* dan tidak memerlukan waktu yang lama dalam pengukuran. Teknologi *LoRa* ini dapat mengirim data tanpa menggunakan internet. Pembahasan metodologi penelitian dalam penulisan tesis ini meliputi sebagai berikut :

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penulisan tesis ini, telah dilakukan penelitian yang dilakukan di lokasi gardu distribusi BR 391 beralamat di jalan Wijaya Kusuma Pasar IV kecamatan Medan Selayang kota Medan, dimana waktu penelitian dilakukan mulai 30 April 2021 sampai November 2021. Lokasi gardu distribusi dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Sumber: Gardu Distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kesuma Medan

Gambar 3.1 Gardu Distribusi BR 391

3.2 Bentuk dan Strategi Penelitian

Penulisan tesis ini pada penelitian ini metode penelitian yang dilakukan pada tesis ini adalah penelitian kualitatif dengan menggunakan pendekatan induktif yang berbasis pada data (*grounded data*). Jenis penelitian penelitian kualitatif merupakan analisis penelitian berdasarkan data pengukuran kuantitatif.

3.3 Sumber Data Penelitian

Data pada penelitian ini didapat merupakan

1. Data primer yang langsung diukur di lapangan yaitu gardu distribusi BR 391 beralamat di Jalan Wijaya Kusuma, Kecamatan Medan Selayang, kota Medan, Provinsi Sumatera Utara. Data yang diambil pada penelitian ini yaitu , daya dan suhu kabel pada gardu distribusi.
2. Data sekunder diambil dari pencatatan secara manual yang dilakukan oleh PLN.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Tahapan penelitian ini, peneliti mengumpulkan melakukan teknik pengumpulan data sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi Literatur merupakan referensi teori dari buku-buku, jurnal penelitian sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian sebagai bahan rujukan dalam pembahasan hasil penelitian seperti mencari pengertian gardu distribusi, transformator dan teknologi *Lora*.

2. Surat

Menyurati kepada PLN UP3 Medan terkait izin pemasangan rangkaian LoRa di gardu distribusi distribusi BR 391 jalan Wijaya Kusuma Pasar IV Medan.

3.5 Teknik Analisa Data

Pada penelitian ini, dalam teknik analisa data diperlukan sebagai langkah menyatukan dan menyimpulkan data penelitian. Tahapan analisa data sebagai berikut :

1. Tahapan pengambilan data, dalam penelitian ini , peneliti melakukan observasi untuk letak rencana penempatan alat pengukuran daya dan suhu dari gardu distribusi yang telah ditentukan. Mengambil data yang diukur secara manual oleh petugas pencatatan bagian gardu distribusi PT PLN UP3 Medan.
2. Tahapan yang dilakukan peneliti menentukan spesifikasi komponen-komponen penyusun alat pengukuran beban gardu distribusi secara *real time* serta mengadakan pengujian alat untuk membuktikan apakah hasil pembuatan sudah sesuai dengan tujuan semula agar memiliki keakuratan sensor dan kecepatan pengiriman data.
3. Tahapan pada evaluasi, peneliti menganalisa dan mengevaluasi dari hasil pengukuran daya dan suhu dari alat yang ditempatkan pada gardu distribusi tersebut.

3.5.1 Pembuatan Hardware

Untuk pembuatan *hardware* pada penelitian ini terdiri dari beberapa komponen yakni diantaranya

1. Arduino Mega 2560 merupakan papan pengembangan mikrokontroler berbasis Arduino dengan menggunakan chip ATmega 2560. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah *PWM*), 16 pin analog input, 4 pin UART (*serial port hardware*). *Arduino Mega 2560* sudah dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. Board ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan

untuk sebuah mikrokontroler[36]. Arduino Mega 2560 yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 3.2**



(Sumber www.Tweaking4All.com)

Gambar 3.2. Arduino Mega 2560

2. LoRa Ra-02 SX1278

LoRa SX1278 Ra-02) adalah sebuah modul komunikasi jarak jauh yang dihasilkan menggunakan modulasi FM. Ra-02 adalah *transceiver* yang bekerja pada frekuensi 433 MHz. Perangkat ini bisa berfungsi sebagai pemancar (transmitter) atau sebagai penerima, dalam penelitian ini Ra-02 akan digunakan sebagai pemancar saja (Tx) dan penerima saja (Rx) seperti pada Gambar 3.3



(Sumber www.Tweaking4All.com)

Gambar 3.3 LoRa Ra-02 SX1278

3. Sensor arus Pzem-004t adalah *hardware* berfungsi untuk mengukur parameter tegangan AC, arus, daya aktif [3] seperti pada Gambar 3.4



(Sumber www.Tweaking4All.com)

Gambar 3.4 Sensor Arus Pzem-004t

4. Sensor suhu DS18B20.

DS18B20 adalah sensor suhu digital. Sensor ini mampu membaca suhu dengan ketelitian 9 hingga 12-bit, rentang -55°C hingga 125°C dengan ketelitian ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$) seperti pada Gambar 3.5. Setiap sensor yang diproduksi memiliki kode unik sebesar 64-Bit yang disematkan pada masing-masing chip, sehingga memungkinkan penggunaan sensor dalam jumlah besar hanya melalui satu kabel saja (*single wire data bus/1-wire protocol*).



(Sumber www.Tweaking4All.com)

Gambar 3.5. Sensor suhu DS18B20

5. LCD 16 x 2

Kegunaan liquid crystal display yang selanjutnya akan disingkat LCD banyak sekali dalam perancangan suatu sistem dengan menggunakan mikrokontroler. LCD dapat berfungsi untuk menampilkan suatu nilai hasil sensor, menampilkan teks, atau menampilkan menu pada aplikasi mikrokontroler. Tipe untuk menampilkan data keluaran real time. Pada penelitian ini, LCD yang digunakan adalah LCD 16x2 yang artinya lebar display 2 baris 16 kolom dengan 16 Pin konektor seperti pada Gambar 3.6



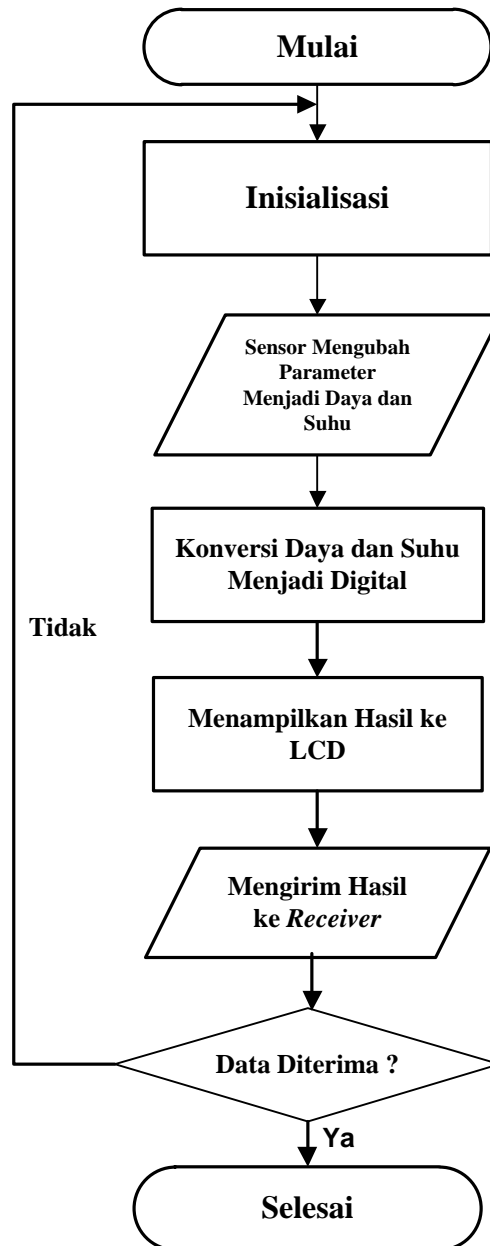
Sumber: Gardu Distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kesuma Medan

Gambar 3.6 LCD 16 x 2

LCD merupakan komponen elektronika yang berfungsi untuk menampilkan suatu data dapat berupa karakter, huruf, simbol maupun grafik. Pada Gambar 3.6 terlihat tampilan suatu nilai hasil pembacaan data tegangan, arus, daya bahkan frekuensi pada phasa S terlihat di LCD.

3.6. Diagram Alir

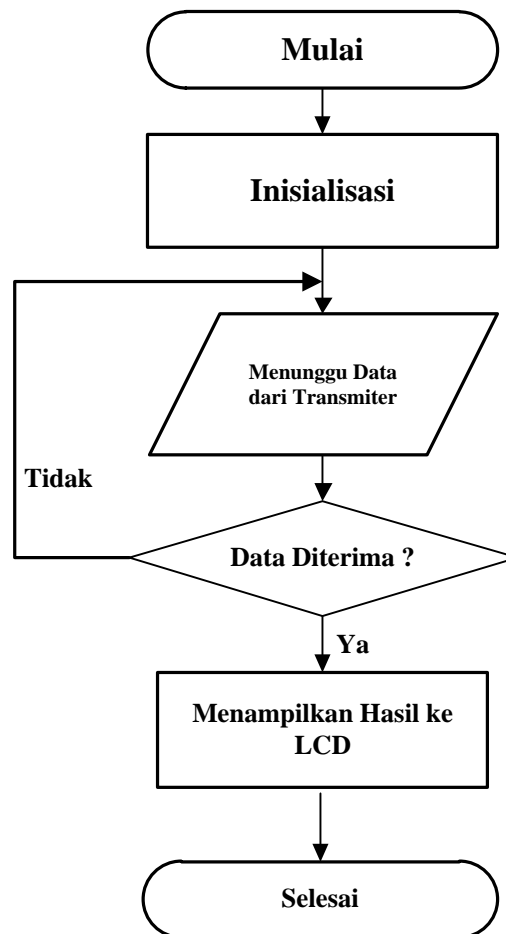
Berikut adalah diagram alir yang menggambar kerangka penelitian secara matematis yang disusun menjadi dasar penelitian ini yang ditunjukkan pada Gambar 3.7 yang merupakan bagian *flowchart transmitter* dan Gambar 3.8 merupakan bagian *flowchart receiver* dan Gambar 3.11 merupakan diagram alir penelitian.



Gambar 3.7. Flowchart Transmitter

Flowchart pada **Gambar 3.7** merupakan bagian alat pada *transmitter* dimulai dari inisialisasi kemudian sensor yang telah dirangkai pada *mikrokontroler* akan memproses parameter daya dan suhu untuk setiap fasa pada kabel trafo dan dikonversi menjadi digital. Daya dan suhu yang terbaca akan

ditampilkan di LCD dan kemudian hasil pembacaan akan dikirim melalui receiver.

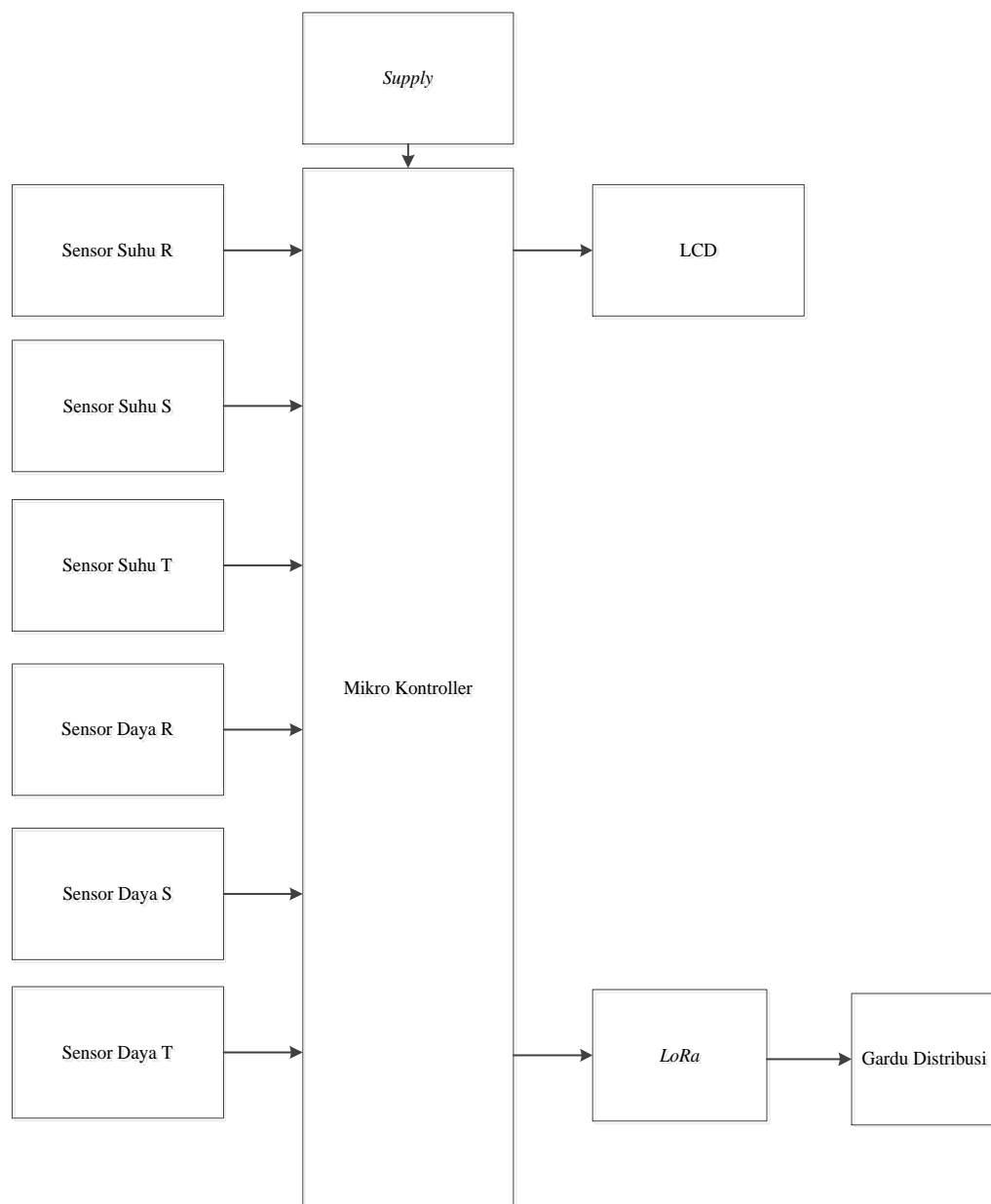


Gambar 3.8. Flowchart Receiver

Flowchart pada **Gambar 3.8** merupakan bagian alat pada *receiver* dimulai dari inisialisasi, kemudian data yang diterima dari *transmitter* akan di proses di mikrokontroler pada alat di *receiver* dan hasilnya akan ditampilkan pada LCD atau dapat juga dihubungkan pada komputer.

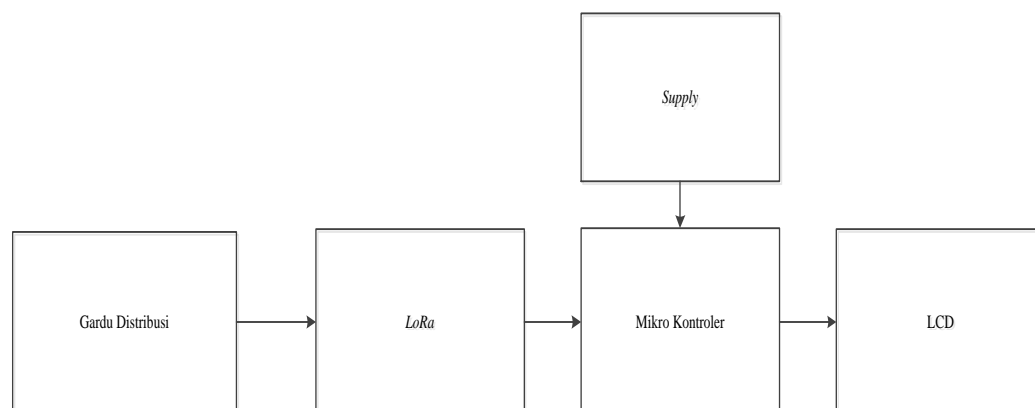
3.6.1. Diagram Blok

Berikut adalah diagram blok suatu pembuatan alat yang mana di dalamnya terdapat inti dari pembuatan modul alat pengukuran gardu distribusi. Gambar 3.9 merupakan diagram blok di bagian *transmitter* dan Gambar 3.13 merupakan blok diagram di bagian *receiver*.



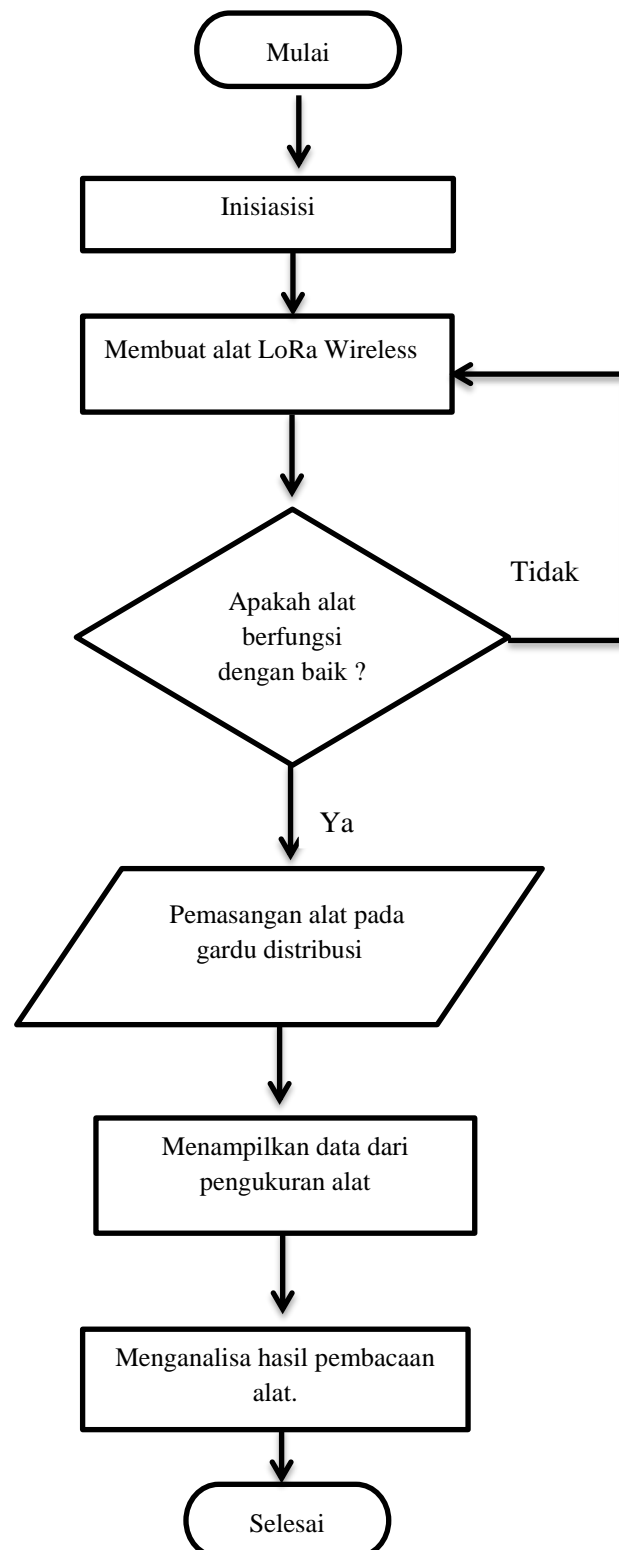
Gambar 3.9. Diagram Blok Transmitter

Berdasarkan **Gambar 3.9** sistem alat yang dibuat terdiri dari adaptor 12 Volt, sensor daya PZEM-004T, sensor suhu DS18B20, mikrokontroler arduino AT Mega 2560, LCD 16x2 dan LoRa 02 SX 1278. Penggunaan adaptor 12 Volt sebagai *supply* berfungsi sebagai sumber daya mikrokontroler untuk menjalankan semua komponen yang digunakan. Sensor daya Pzem-004t yang berfungsi untuk membaca daya. Sensor PZEM-004T cukup mudah digunakan karena output nya langsung bisa dibaca langsung secara digital. Sensor suhu digunakan untuk mengukur suhu kabel pada gardu distribusi. Sensor sensor ini masing- masing dihubungkan ke arduino, dimana arduino telah diprogram untuk dapat mengendalikan proses input berupa sensor – sensor yang telah dirangkai untuk dapat menghasilkan input berupa data daya dan arus. Arduino lalu mengirim data tersebut untuk ditampilkan ke LCD 16x2, selain itu arduino juga meneruskan data ke LoRa yang akan mengirim atau mentransfer data ke *LoRa* di *receiver*



Gambar 3.10. Diagram Blok Receiver

Gambar 3.10 diagram blok *receiver*, sistem alat yang dibuat terdiri dari adaptor 12 volt, penggunaan adaptor dalam penelitian ini berfungsi sebagai sumber daya mikrokontroler Arduino Uno, sedangkan *LoRa* 02 SX 1278 sebagai penerima data dari Lora yang terdapat pada transmitter. Data yang diterima oleh *LoRa* kemudian oleh arduino uno akan memproses inputan data untuk dibaca pada LCD dan juga komputer.



Gambar 3.11. Diagram Alir Penelitian

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Hasil Penelitian

Data pada penelitian ini diambil dari data dari gardu distribusi BR 391 di jalan Wijaya Kusuma Pasar IV Medan. Adapun data yang diambil adalah daya dan suhu kabel pada saat beban puncak. Untuk pengambilan data daya dan suhu digunakan tiga sensor yaitu sensor arus, sensor daya dan sensor suhu, yang dipasang pada box panel perlengkapan hubung bagi tegangan rendah (PHB-TR).



Sumber: Gardu Distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kesuma Medan

Gambar 4.1. Gambar Box Panel (PHB-TR)

Penempatan alat pengukuran ini di desain dengan ukuran yang pas, sehingga tidak perlu merubah atau mempengaruhi kinerja gardu distribusi tersebut.

4.2 Temuan Penelitian

Pada tahap ini didapat hasil pembacaan data berupa tampilan daya setiap fasa, dan suhu kabel yang dapat dilihat melalui komputer. Pengukuran berlangsung selama 24 jam setiap harinya, dan pengambilan data dicuplik setiap 1 jam. Hasil pengukuran masing-masing dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.3.

Tabel 4.1 Pengukuran Daya Pada Beban Puncak

Hari	Waktu	Phasa R Watt	Phasa S Watt	Phasa T Watt
1	18:09:00	16.064,00	12.637,80	19.908,70
	19:09:00	18.692,20	12.298,70	20.374,60
	20:09:00	16.025,00	12.405,20	20.756,80
	21:09:00	15.166,90	12.853,20	20.535,50
	22:09:00	14.374,20	11.143,00	20.363,00
2	18:09:00	17.057,20	12.569,10	19.199,60
	19:09:00	17.872,00	13.540,80	21.913,60
	20:09:00	16.299,40	13.392,00	20.813,60
	21:09:00	15.382,60	12.486,50	21.834,80
	22:09:00	15.259,00	12.598,00	20.161,90
3	18:09:00	13.871,30	12.454,80	19.928,80
	19:09:00	13.738,00	11.848,40	21.641,80
	20:09:00	13.738,00	11.244,30	19.932,10
	21:09:00	13.619,60	11.492,80	20.986,00
	22:09:00	14.001,00	11.452,70	20.916,90
4	18:09:00	12.203,90	11.652,50	18.247,80
	19:09:00	16.871,80	13.193,40	21.936,80
	20:09:00	15.787,10	12.769,50	20.912,60
	21:09:00	14.984,20	13.909,70	19.571,10
	22:09:00	14.755,30	11.095,10	19.268,60

Hari	Waktu	Phasa R Watt	Phasa S Watt	Phasa T Watt
5	18:09:00	15.091,70	12.766,40	20.213,30
	19:09:00	14.866,00	13.345,40	19.502,50
	20:09:00	12.888,00	12.148,50	19.390,90
	21:09:00	14.839,40	12.670,40	19.460,80
	22:09:00	15.363,70	11.138,60	19.528,80
6	18:09:00	18.992,40	13.085,00	20.170,40
	19:09:00	19.134,00	13.858,80	21.079,20
	20:09:00	16.892,30	13.679,60	21.194,50
	21:09:00	15.301,20	13.812,50	21.032,20
	22:09:00	15.363,70	14.138,60	19.508,80
7	18:09:00	17.587,40	12.687,60	20.178,40
	19:09:00	15.053,50	13.947,00	19.191,90
	20:09:00	15.321,00	12.261,10	18.795,70
	21:09:00	14.983,10	12.732,60	16.588,40
	22:09:00	13.673,00	12.196,80	17.069,90

4.3. Pembahasan

Penelitian ini membahas tentang hasil analisis daya dan suhu kabel setelah diperoleh dari data-data beban puncak dengan menggunakan alat yang dinamakan teknologi *LoRa*.

4.3.1 Analisa Daya Menggunakan Data Beban Puncak

Analisa daya rata rata pada hari 1 sampai hari ke 7 adalah sebagai berikut:

Phasa R

Pukul 18.09 :

$$\frac{16064,00+17057,20+13871,30+12203,90+15091,70+18992,40+17587,40}{7}$$

$$= 15.695.41 \text{ watt}$$

Pukul 19.09 :

$$\frac{18692,00+17872,00+13.871,80+16871,80+14866,00+19134,00+19.053,50}{7}$$

$$= 16.603,92 \text{ watt}$$

Pukul 20.09 :

$$\frac{16025,00+16299,4+13738,00+15787,10+12866,00+16892,30+15321,00}{7}$$

$$= 12.984,82 \text{ watt}$$

Pukul 21.09 :

$$\frac{15166,90+15382,60+13619,60+14984,20+14839,40+15301,20+14983,10}{7}$$

$$= 14.896,71 \text{ watt}$$

Pukul 22.09:

$$\frac{14374,20+15259,00+14001,00+12755,30+13363,70+15563,70+13673,00}{7}$$

$$= 14.684,27 \text{ watt}$$

Phasa S

Pukul 18.09 :

$$\frac{12637,80+12.569,10+12.454,80+11.652,50+12.766,40+13.000,00+12.686,60}{7}$$

$$= 12.550,45 \text{ watt}$$

Pukul 19.09 :

$$\frac{12298,70+11540,80+11848,40+13193,40+13345,40+13.858,80+13.947,00}{7}$$

$$= 12.861,79 \text{ watt}$$

Pukul 20.09 :

$$\frac{12405,20+13390+11244,30+12769,50+12148,50+13.676,60+12261,10}{7}$$

$$= 12.568,85 \text{ watt}$$

Pukul 21.09 :

$$\frac{12853,20+12486,50+11492,80+11909,70+12670,40+13812,50+12732,60}{7}$$

$$= 12.851,1 \text{ watt}$$

Pukul 22.09

$$: \frac{1143,00+11598,00+11452,70+11095,10+11138,60+14138,60+12198,80}{7}$$

$$= 11.823,54 \text{ watt}$$

Phasa T

Pukul 18.09 :

$$\frac{19908,70+19199,60+19928,80+18247,80+20213,30+20170,40+20178,40}{7}$$

$$= 19692,42 \text{ watt}$$

Pukul 19.09 :

$$\frac{20374,60+21913,60+21641,80+21936,80+19502,50+21079,20+19191,90}{7}$$

$$= 17.671,94 \text{ watt}$$

Pukul 20.09 :

$$\frac{20756,8+20813,6+19932,10+20912,60+19390,90+12194,50+18795,70}{7}$$

$$= 17.269,085 \text{ watt}$$

Pukul 21.09 :

$$\frac{20535,5+21834,80+20986,00+16345,80+19571,10+21032,20+16588,40}{7}$$

$$= 17.067,61,64 \text{ watt}$$

Pukul 22.09

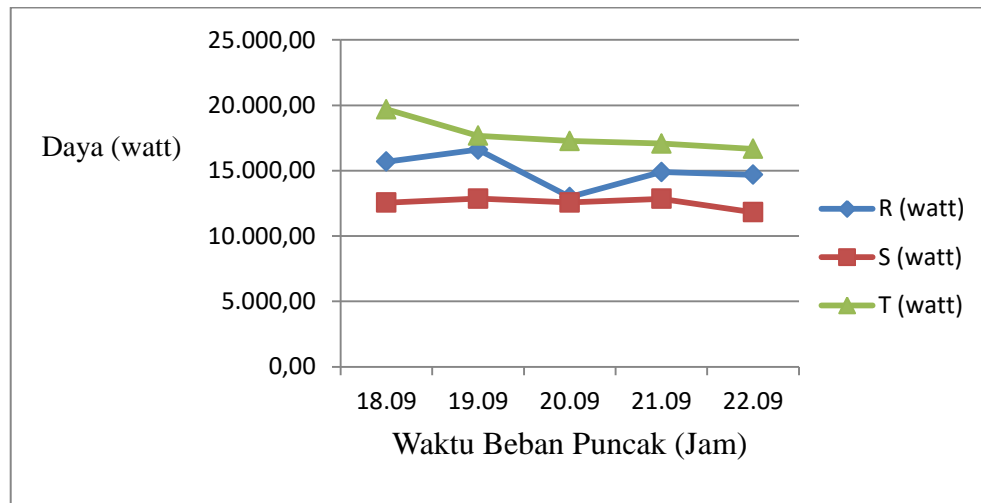
$$: \frac{20363,00+20161,9+20916,90+19268,60+19528,80+19508,80+17069,90}{7}$$

$$= 16.665,14 \text{ watt}$$

Dari perhitungan rata-rata daya yang terukur selama 7 hari dapat dilihat hasilnya keseluruhan pada Tabel 4.2

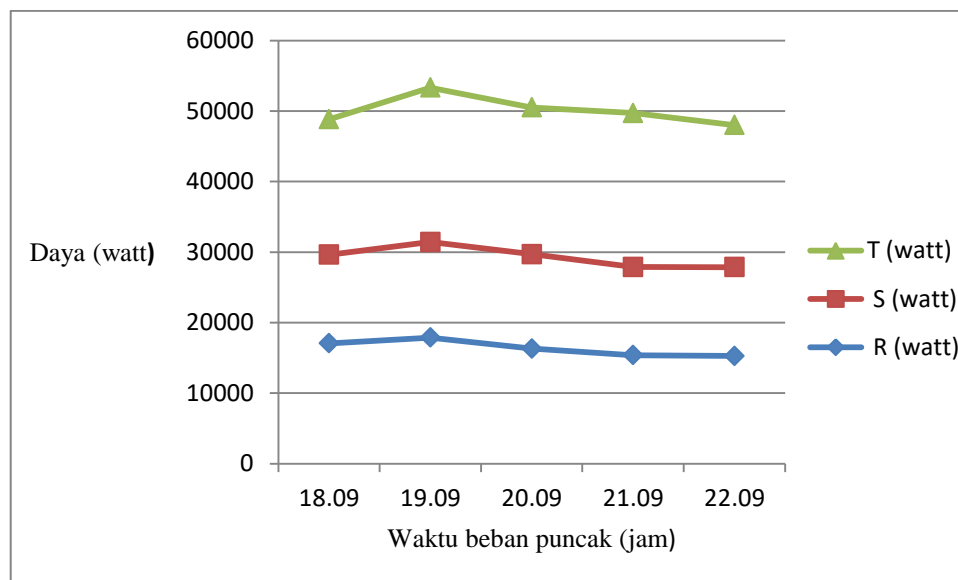
Tabel 4.2. Perhitungan Daya Rata-rata per Phasa

No	Jam (WIB)	Daya Rata-rata per Phasa		
		R (watt)	S (watt)	T (watt)
1	18.09	15.695,41	12.550,31	19.692,42
2	19.09	16.603,92	12.861,79	17.671,94
3	20.09	12.984,82	12.568,85	17.269,08
4	21.09	14.896,71	12.851,10	17.067,61
5	22.09	14.684,27	11.823,54	16.665,14



Gambar 4.2. Grafik Data Pengukuran Daya Rata –Rata Satu Minggu

Dari Tabel 4.2 dan grafik pada gambar 4.2 diketahui bahwa pemakaian daya tertinggi dihitung dalam 7 hari rata-rata antar pukul 18.09-20.09 wib.



Gambar 4.3. Grafik Data Pengukuran Daya Beban Puncak Harian

. Grafik 4.3 bila dilihat dalam pemakaian perhari maka pemakaian daya tertinggi rata rata terjadi pada pukul 19. 00 WIB.

Hasil pengukuran suhu kabel pada gardu distribusi dalam 7 hari dapat dilihat pada

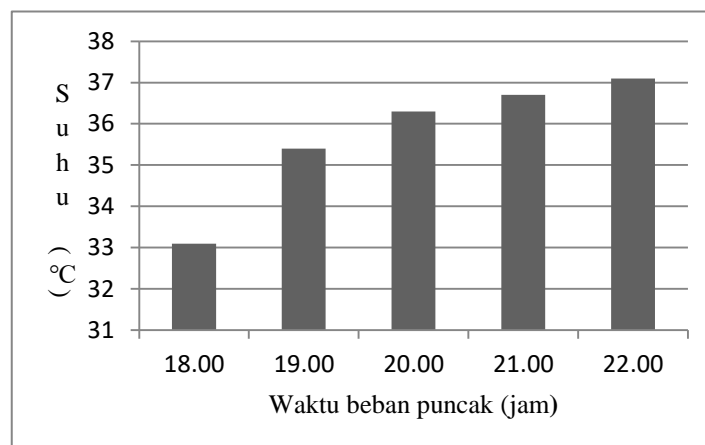
Tabel 4.3.

Tabel 4.3. Pengukuran Suhu Kabel Pada Beban Puncak

Hari	Waktu (WIB)	Suhu phasa R($^{\circ}$ C)	Suhu phasa S ($^{\circ}$ C)	Suhu phasa T($^{\circ}$ C)
1	18:09:00	32,0	31,3	38,9
	19:09:00	33,8	30,9	39,2
	20:09:00	33,4	31,3	39,4
	21:09:00	32,8	31,6	38,7
	22:09:00	37,6	31,9	37,4
2	18:09:00	32,7	31,2	40,8
	19:09:00	32,6	32,4	37,4
	20:09:00	35,5	32,3	37,1
	21:09:00	37,6	32,4	37,0
	22:09:00	38,2	32,5	37,0
3	18:09:00	32,6	32,3	38,3
	19:09:00	34,5	32,8	37,9
	20:09:00	34,5	32,1	37,9
	21:09:00	37,1	32,4	37,9
	22:09:00	37,3	32,3	38,0
4	18:09:00	33,5	31,3	39,9
	19:09:00	33,9	32,0	40,3
	20:09:00	36,5	31,5	39,0
	21:09:00	36,0	32,9	38,9
	22:09:00	36,5	33,1	37,6
5	18:09:00	35,4	31,5	41,5
	19:09:00	34,6	32,2	38,3
	20:09:00	34,6	31,9	38,3
	21:09:00	34,6	32,6	38,3
	22:09:00	38,2	33,2	37,0
6	18:09:00	34,0	31,9	39,4
	19:09:00	34,1	32,8	36,1
	20:09:00	35,9	32,6	36,1
	21:09:00	37,5	32,8	36,0
	22:09:00	38,2	32,2	37,0
7	18:09:00	33,1	32,6	41,5
	19:09:00	35,4	32,9	38,8
	20:09:00	36,3	32,1	40,5
	21:09:00	36,7	31,4	39,1
	22:09:00	37,1	33,4	39,5

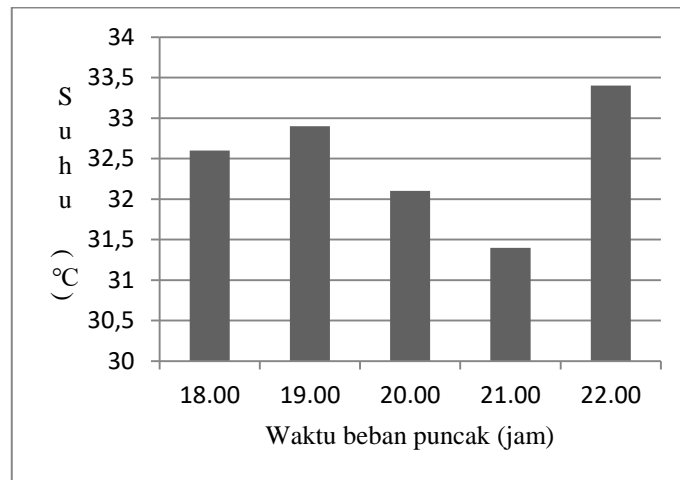
4.3.2. Analisa Suhu Kabel Menggunakan Data Beban Puncak

Ketika diberikan beban pada transformator akan dialiri oleh arus, dengan berselang waktu pada penelitian ini didapatkan kenaikan suhu kabel gardu distribusi yang dapat dilihat pada Tabel 4.3. Suhu kabel dapat dikatakan baik apabila memiliki temperatur dibawah 40°C yang dapat dilihat pada grafik yang menunjukkan keadaan kabel pada gardu distribusi pada masing masing fase.



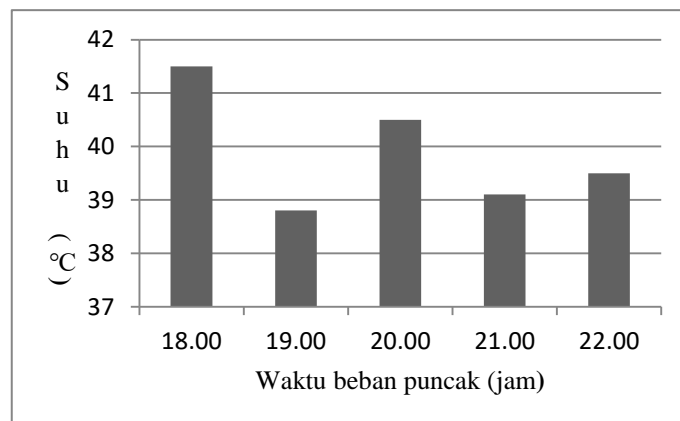
Gambar 4.4. Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phase R

Grafik 4.4 dapat dilihat bahwa kondisi suhu kabel pada phase R dalam keadaan baik karena suhu kabel masih kurang dari 40°C . Pada phase R kenaikan suhu kabel terjadi selang waktu pukul 21.09 -22.09 WIB. Kenaikan suhu kabel biasanya akan signifikan ketika beban yang meningkat.



Gambar 4.5. Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phasa S

Grafik 4.5 menunjukkan bahwa kondisi suhu kabel pada phasa S juga dalam keadaan baik karena suhu kabel juga masih kurang dari 40°C. Pada grafik dapat dilihat bahwa kenaikan suhu kabel berfluktuasi tetapi nilai tertinggi berada pada pukul 22.09.00 WIB



Gambar 4.6 Grafik Data Pengukuran Suhu Kabel Phasa T

Grafik 4.6 menunjukkan bahwa pada phasa T terdapat suhu kabel yang melebihi 40°C. Ini terjadi karena Hal ini terjadi karena pemakaian beban lebih banyak terjadi pada malam hari beban yang paling tinggi berada pada phasa T.

Pemakaian beban yang meningkat juga akan mempengaruhi keadaan suhu kabel pada gardu distribusi.

Secara keseluruhan alat ini bekerja sesuai dengan fungsinya yaitu membaca suhu pada kabel di gardu distribusi dan membandingkannya dengan batas yang ditentukan. Manfaat dari pengaplikasian alat ini adalah untuk menjaga dan menghindari kerusakan akibat panas berlebihan pada kabel. Panas berlebihan pada umumnya disebabkan oleh beban yang sangat besar dan melampaui batas arus yang diperbolehkan. Oleh sebab itu panas akan terjadi pada kabel penghantar jika arus tersebut melebihi batas kemampuan kabel. Alat ini juga bekerja sebagai pendeteksi panas kabel distribusi untuk mencegah terbakarnya atau kerusakan kabel distribusi dan mencegah kebakaran instalasi listrik. Seperti diketahui, saat terjadi lonjakan arus lebih pada salah satu kabel akan membuat kabel panas dan meleleh sehingga terjadi kerusakan. Nilai suhu akan dikirimkan terlebih dahulu untuk ditampilkan ke LCD lalu setelah terbaca ada yang melebihi dari 40°C. Data pada Tabel 3.1 merupakan rekomendasi nilai suhu yang digunakan dalam penentuan derajat suhu kabel trafo.

Tabel 4.4 Rekomendasi Thermovisi dari PLN

No	Suhu °C	Rekomendasi
1	<10	Kondisi normal, pengukuran berikutnya dilakukan sesuai jadwal
2	10-25	Perlu dilakukan pengukuran satu bulan lagi
3	25-40	Perlu direncanakan perbaikan
4	40-70	Perlu dilakukan perbaikan segera
5	>70	Kondisi darurat

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembacaan alat dan pembahasan yang dilakukan pada penelitian ini, maka penulis mengambil beberapa kesimpulan bahwa:

1. Pengaplikasian suatu alat yang dinamakan *LoRa* dapat dilakukan mempermudah analisa pengukuran beban puncak di gardu distribusi BR 391 Jalan Wijaya Kusuma Medan.
2. Analisa daya dan suhu di gardu distribusi BR 391 pada beban puncak dapat dilakukan dengan menggunakan teknologi *LoRa*

5.2. Saran

Hasil penelitian ini untuk dapat dikembangkan lebih lanjut ,maka saran yang dapat diberikan berkaitan penelitian ini adalah:

1. Untuk pengembangan tesis ini perlu dikembangkan dengan menambahkan parameter lainnya seperti pemantauan kondisi transformator untuk memprediksi umur transformator.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Nimpa and H. Sutejo, "Pengembangan Sistem Informasi Pengukuran Gardu Distribusi PLN Berbasis Android," *Konferensi Nasional Sistem Informasi 2018*, pp. 310–315, 2018.
- [2] C. Dai, Y. Gan, L. Zhuo, X. Hu, Y. Wang, and Y. Liao, "Intelligent Ammeter Reading Recognition Method Based on Deep Learning," *Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference (ITAIC 2019)*, no. Itaic, pp. 25–29, 2019.
- [3] R. A. Sandi, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Transformator Daya Secara Wireless Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi*, vol. 3, no. 3, pp. 296–304, 2020.
- [4] D. Kaprál, P. Bracíník, M. Roch, and M. Höger, "Optimization of the Distribution Network Operation Based on Data from Distribution Substations," *IEEE*, pp. 2–7, 2018.
- [5] K. H. S. K. A. A. Widarsono, "Jurnal Rancang Bangun Sistem Monitoring Arus dan Tegangan 3 Fasa Dengan Metode SMS Gateway," *Jurnal Techno Bahari*, vol. 5, no. 1, pp. 9–14, 2018.
- [6] U. Noreen, A. Bounceur, and L. Clavier, "A study of LoRa Low Power and Wide Area Network Technology," *Proceedings - 3rd International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing, ATSIP 2017*, no. May, 2017, doi: 10.1109/ATSIP.2017.8075570.
- [7] I. P. Sari and T. Hariyanto, "Sistem Pengiriman Data Antar Mesin Menggunakan Modul Radio LoRa HC-12 pada Prototipe Smart Water Meter Berbasis Mikrokontroler," *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, pp. 26–27, 2020.
- [8] G. P. N. Pahiyanti, "Energi dan Kelistrikan," *Jurnal Ilmiah*, vol. 8, no. 1, 2016.
- [9] P. Pasra, Nurmiati; Ruswandi, "Pelaksanaan Manajemen Pemeliharaan Gardu Distribusi," *Jurnal Sutet*, vol. 6, no. 2, 2016.
- [10] S. S. Desouky and A. Z. El-dein, "Analysis of the Electric Field Distribution within MV Cable Joint in the Presence of Defects in Cable Insulation," *International Journal of Applied Energy Systems*, vol. 1, no. 1, pp. 35–44, 2019.
- [11] D. Iskandar and P. I. Santosa, "Sistem Informasi Gardu Induk dan Gardu Distribusi berbasis Web," *JNTETI*, vol. 2, no. 2, pp. 2–6, 2013.

- [12] A. S. Gianto *et al.*, “Perhitungan Penurunan Umur Transformator Akibat Pengaruh Suhu Lingkungan,” *JETri*, vol. 13, no. 1, pp. 15–37, 2015.
- [13] N. Soedjarwanto and G. Nama, Forda, “Monitoring Arus , Tegangan dan Daya pada Transformator Distribusi 20 KV Menggunakan Teknologi Internet of Things,” *Jurnal EECCIS*, vol. 13, no. 3, pp. 128–133, 2019.
- [14] A. S. Muzar and S. Mahdi, “Analisis Pengaruh Suhu Akibat Pembebanan Terhadap Susut Umur Transformator Daya,” vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2018.
- [15] W. N. Agustianingsih, F. Kurniawan, and P. Setiawan, “Analisis Ketepatan Pengukur Daya dan Faktor Daya Listrik Berbasis Arduino Uno R3 328P,” *AVITEC*, vol. 3, no. 1, pp. 15–27, 2021.
- [16] T. Afriansyah, Bakhtiar, Bini, “Studi Pengaruh Beban Puncak Terhadap Susut Umur Transformator di PT PLN (Persero) Rayon Daya,” *Jurnal Teknologi Elekterika*, vol. 16, no. 2, pp. 80–87.
- [17] R. A. Firmansyah, T. Suheta, and D. Antoni, “Perancangan Alat Monitoring dan Penyimpan Data Pada Panel Hubung Tegangan Rendah di Trafo Gardu Distribusi Berbasis Mikrokontroler,” *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III 2015 Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya*, vol. 1, no. 1, pp. 127–132, 2015.
- [18] O. Abdelatty, X. Chen, A. Alghaihab, and D. Wentzloff, “Bluetooth Communication Leveraging Ultra-Low Power Radio Design,” *Journal of Sensor and Actuator Networks*, vol. 10, pp. 2–17, 2021.
- [19] A. R. Batong, P. Murdiyat, and A. H. Kurniawan, “Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik di Politeknik Negeri Samarinda,” *PoliGrid*, vol. 1, no. 2, pp. 16–26, 2020.
- [20] G. N. P. A. e. al Kazakov, “Radio Monitoring of Wireless Networks Using LoRa Data Transmission Technology,” *IEEE*, vol. 20, pp. 3–7, 2020.
- [21] S. Devalal and Karthikeyan. A., “LoRa Technology-An Overview,” *2018 Second International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology (ICECA)*, no. Iceca, pp. 284–290, 2018.
- [22] M. F. Duskarnaen, F. Nurfalaha, and U. N. Jakarta, “Analisis , Perancangan , dan Implementasi Jaringan Wireless Point to Point Antara Kampus A dan Kampus B Universitas Negeri Jakarta,” *Jurnal Pinter*, vol. 1, no. 2, pp. 134–141, 2017.
- [23] D. Satria and T. Hidayat, “Implementation of Wireless Sensor Network (WSN) on Garbage Transport Warning Information System Using GSM

- Module,” *Jurnal of Physics : Conference Series*, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1175/1/012054.
- [24] T. A. Smith, “Evaluation of LoRa and LoRa Wan for Wireless Sensor Networks,” *IEEE*, no. August, pp. 5–7, 2016.
- [25] L. Kolobe, B. Sigweni, and C. K. Lebekwe, “Systematic Literature Survey : Applications of LoRa Communication,” *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, vol. 10, no. 3, pp. 3176–3183, 2020, doi: 10.11591/ijece.v10i3.pp3176-3183.
- [26] A. Lavric, “LoRa (Long-Range) High-Density Sensors for Internet of Things,” *Jurnal of Sensors*, p. 9, 2019.
- [27] Y. Triwidyastuti, “Performance Analysis of Point-to-Point LoRa End Device Communication,” *Lontar Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 140–149, 2019.
- [28] A. D. Prajanti, B. Wahyuaji, F. B. Rukmana, R. Harwahyu, and R. F. Sari, “Performance Analysis of LoRa WAN Technology for Optimum Deployment of Jakarta Smart City,” *2018 2nd International Conference on Informatics and Computational Sciences, ICICoS 2018*, pp. 54–59, 2019, doi: 10.1109/ICICOS.2018.8621803.
- [29] Y. A. Badamasi, “The Working Principle Of An Arduino .,” *IEEE*, 2014.
- [30] R. Soler-costa, “Arduino Advances in Web of Science . A Scientific Mapping of Literary Production,” vol. 8, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3008572.
- [31] Abdul-M and H. F. Abbas, “Systematic Evaluation of Arduino Open Source for Automation and Control of Chemical Processes,” *Platinum Open Access Journal*, vol. 10, no. 2, pp. 2258–2271, 2021.
- [32] M. L. Pattiapon, “Desain Alat Monitoring Beban Gardu Distribusi Secara Real Time Menggunakan Metode Perancangan Produk di PT . PLN (Persero),” *Arika*, vol. 13, no. 2, 2019.
- [33] D. Lestari, J. T. Elektro, U. N. Malang, K. Malang, and J. T. Indonesia, “Monitoring Temperatur Trafo Distribusi 220V Dengan Arduino Berbasis IoT,” *Jurnal Inovtek Polbeng*, vol. 9, no. 1, pp. 155–161, 2019.
- [34] R. Li *et al.*, “Applications of LoRa Technology in Smart Distribution Grid,” *IEEE 4th Advanced Information Technologi, Electronic and Automation Control Conference*, pp. 1554–1557, 2019.

- [35] L. Frisila, “Perancangan Prototipe Real Time Monitoring Berbasis Mikrokontroler,” *JETri*, vol. 15, no. 1, pp. 55–64, 2017.
- [36] M. A. Al-jawaherry, “Arduino-Based Electronic Voting Machine,” *Triktrit Journal Of Pure Sscience*, vol. 23, no. 10, pp. 102–109, 2018.

Lampiran 1 Program lengkap

```
#include <SPI.h>

#include <LoRa.h>

//#include <SD.h>

//const int chipSelect = 38;

#include <PZEM004Tv30.h>

#define PZEM_SERIAL1 Serial1

#define PZEM_SERIAL2 Serial2

#define PZEM_SERIAL3 Serial3

PZEM004Tv30 pzem_r(PZEM_SERIAL1);

PZEM004Tv30 pzem_s(PZEM_SERIAL2);

PZEM004Tv30 pzem_t(PZEM_SERIAL3);

#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

unsigned long previousMillis = 0;

const long interval = 5;

int counter = 0;

void setup()
```

```
{  
  
  Serial.begin(9600);  
  
  Serial.println("LoRa Transmitter");  
  
  if (!LoRa.begin(433E6)) {  
  
    Serial.println("Starting LoRa failed!");  
  
    lcd.print("LoRa failed! ");  
  
    while (1);  
  
  }  
  
  
  
  // if (!SD.begin(chipSelect)) {  
  
  //   Serial.println("Card failed, or not present");  
  
  //   lcd.print("Card failed ");  
  
  //   delay(5000);  
  
  // }  
  
  
  
  lcd.begin();  
  
  lcd.backlight();  
  
  lcd.print("  WELCOME  ");  
  
  delay(2000);  
  
  lcd.clear();  
  
}
```

```
void loop(){  
  
    counter++;  
  
    if (counter > 30){counter = 0;}  
  
        float voltage_r = pzem_r.voltage();  
  
float current_r = pzem_r.current();  
  
float power_r = pzem_r.power();  
  
float energy_r = pzem_r.energy();  
  
float frequency_r = pzem_r.frequency();  
  
float pf_r = pzem_r.pf();  
  
  
float voltage_s = pzem_s.voltage();  
  
float current_s = pzem_s.current();  
  
float power_s = pzem_s.power();  
  
float energy_s = pzem_s.energy();  
  
float frequency_s = pzem_s.frequency();  
  
float pf_s = pzem_s.pf();  
  
  
float voltage_t = pzem_t.voltage();  
  
float current_t = pzem_t.current();  
  
float power_t = pzem_t.power();  
  
float energy_t = pzem_t.energy();  
  
float frequency_t = pzem_t.frequency();
```



```
float pf_t    = pzem_t.pf();

if (counter <= 10){

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("VR:");

    lcd.print(voltage_r,0);

    lcd.setCursor(8,0);

    lcd.print("PR:");

    lcd.print(power_t);

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("IR:");

    lcd.print(current_r);

    lcd.setCursor(8,1);

    lcd.print("FR:");

    lcd.print(frequency_t,1);

}

else if(counter > 10 && counter < 20){

    lcd.setCursor(0,0);

    lcd.print("VS:");
```

```
lcd.print(voltage_s,0);
```

```
lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print("PS:");
```

```
lcd.print(power_s);
```

```
lcd.setCursor(0,1);
```

```
lcd.print("IS:");
```

```
lcd.print(current_s);
```

```
lcd.setCursor(8,1);
```

```
lcd.print("FS:");
```

```
lcd.print(frequency_s,1);
```

```
}
```

```
else {
```

```
lcd.setCursor(0,0);
```

```
lcd.print("VT:");
```

```
lcd.print(voltage_t,0);
```

```
lcd.setCursor(8,0);
```

```
lcd.print("PT:");
```

```
lcd.print(power_t);
```

```

    lcd.setCursor(0,1);

    lcd.print("IT:");

    lcd.print(current_t);

    lcd.setCursor(8,1);

    lcd.print("FT:");

    lcd.print(frequency_t,1);

}

//Serial.println(pzem_r.readAddress(), HEX);

Serial.print("Voltage_r : "); Serial.print(voltage_r);    Serial.println("V");
Serial.print("Current_r : "); Serial.print(current_r);    Serial.println("A");
Serial.print("Power_r   : "); Serial.print(power_r);      Serial.println("W");
Serial.print("Energy_r  : "); Serial.print(energy_r,3);   Serial.println("kWh");
Serial.print("Frequency_r: "); Serial.print(frequency_r, 1); Serial.println("Hz");
Serial.print("PF_r     : "); Serial.println(pf_r);

Serial.println(); Serial.println();

//Serial.println(pzem_s.readAddress(), HEX);

Serial.print("Voltage_s : "); Serial.print(voltage_s);    Serial.println("V");
Serial.print("Current_s : "); Serial.print(current_s);    Serial.println("A");
Serial.print("Power_s   : "); Serial.print(power_s);      Serial.println("W");
Serial.print("Energy_s  : "); Serial.print(energy_s,3);   Serial.println("kWh");
Serial.print("Frequency_s: "); Serial.print(frequency_s, 1); Serial.println("Hz");
Serial.print("PF_s     : "); Serial.println(pf_s);

```

```

Serial.println(); Serial.println();

//Serial.println(pzem_t.readAddress(), HEX);

Serial.print("Voltage_t : "); Serial.print(voltage_t);   Serial.println("V");
Serial.print("Current_t : "); Serial.print(current_t);   Serial.println("A");
Serial.print("Power_t   : "); Serial.print(power_t);     Serial.println("W");
Serial.print("Energy_t  : "); Serial.print(energy_t,3);  Serial.println("kWh");
Serial.print("Frequency_t: "); Serial.print(frequency_t, 1); Serial.println("Hz");

Serial.print("PF_t     : "); Serial.println(pf_t);

Serial.println(); Serial.println();

    unsigned long currentMillis = millis()/1000;

if (currentMillis - previousMillis >= interval) {

    previousMillis = currentMillis;

    LoRa.beginPacket();

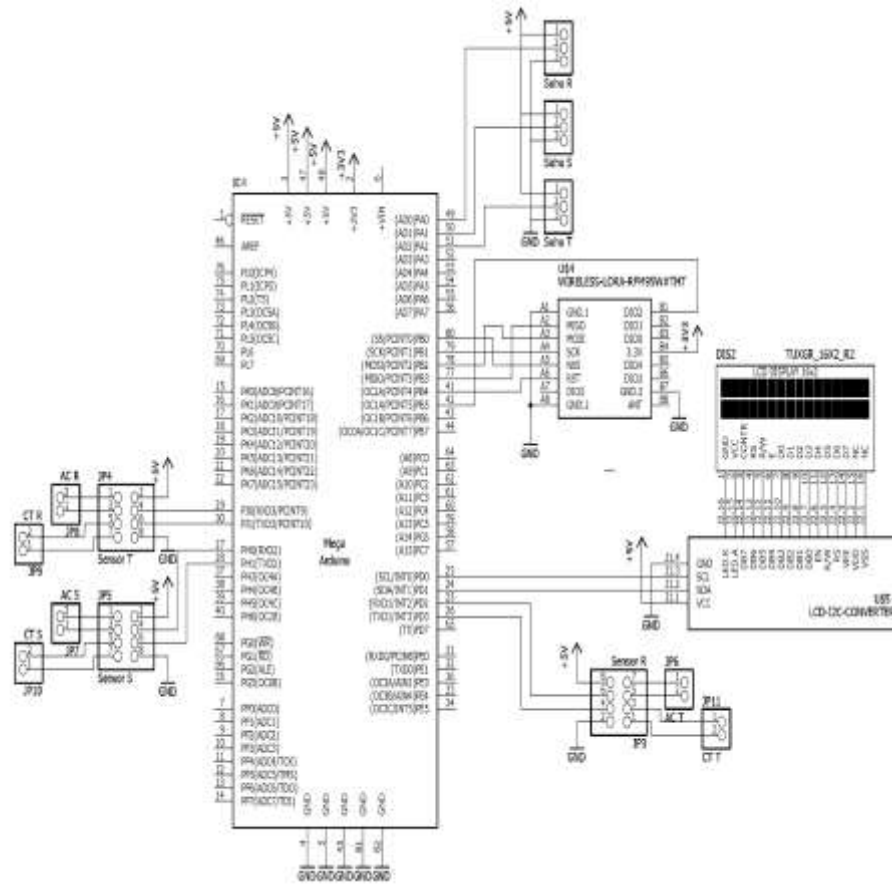
    LoRa.print("A");LoRa.print(voltage_r);  LoRa.print(",");
    LoRa.print("B");LoRa.print(current_r);  LoRa.print(",");
    LoRa.print("C");LoRa.print(power_r);   LoRa.print(",");
    LoRa.print("D");LoRa.print(frequency_r); LoRa.print(",");
    LoRa.print("E");LoRa.print(voltage_s);  LoRa.print(",");
    LoRa.print("F");LoRa.print(current_s);  LoRa.print(",");
    LoRa.print("G");LoRa.print(power_s);   LoRa.print(",");
    LoRa.print("H");LoRa.print(frequency_s); LoRa.print(",");
    LoRa.print("I");LoRa.print(voltage_t);  LoRa.print(",");

```

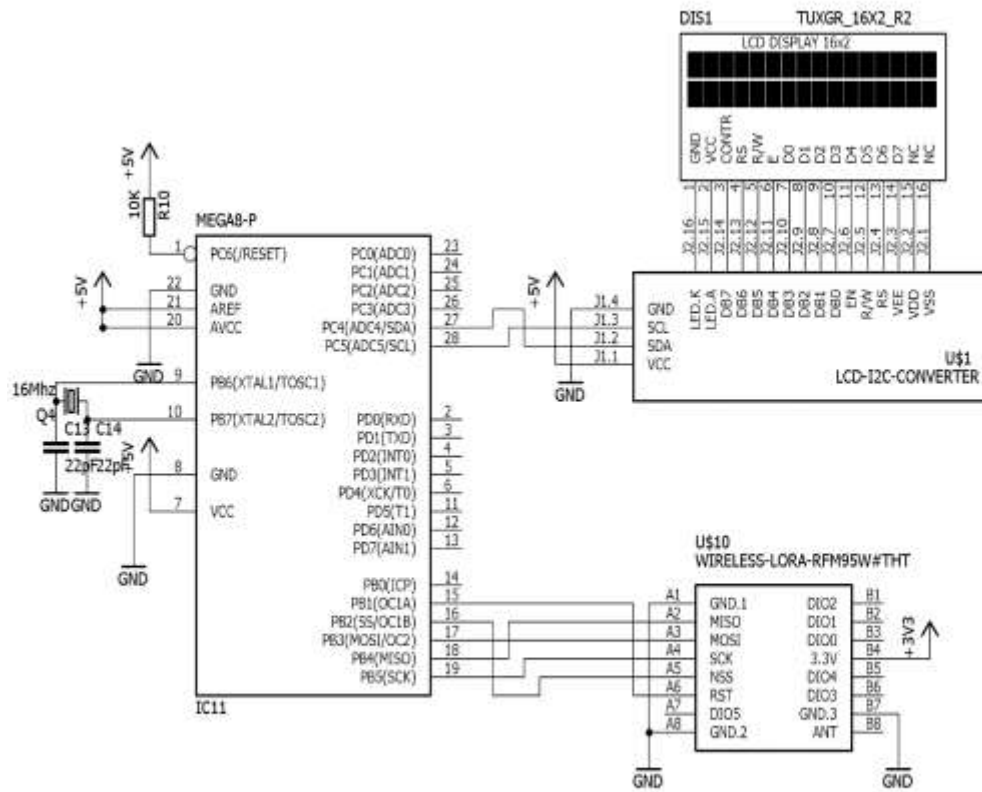
```
LoRa.print("J");LoRa.print(current_t); LoRa.print(",");  
LoRa.print("K");LoRa.print(power_t); LoRa.print(",");  
LoRa.print("L");LoRa.print(frequency_t); LoRa.print(",");  
LoRa.println(",");  
LoRa.endPacket();  
}  
  
delay(1000);  
}
```

Lampiran 2. Hasil Tampilan Pengukuran di LCD

Lampiran 3. Gambar Rangkaian Alat Transmitter



Lampiran 4 . Gambar Rangkaian Alat Receiver



Lampiran 5. Posisi Penempatan Alat pada Gardu Distribusi



