

POSITIVE EDGE COMPARATION SEBAGAI SENSOR PENDETEKSI PHASA PELANGGAN TEGANGAN RENDAH

Anang Dasa Novfowan¹⁾, Mochammad Mieftah²⁾, dan Imam Saukani³⁾
^{1,2,3} Prodi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Ged. AG, Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang

¹⁾anang.dasa@polinema.ac.id

²⁾moch.mieftah@polinema.ac.id

³⁾mam_im@yahoo.com

Abstrak

Penyeimbangan beban dilakukan untuk mengurangi losses (rugi-rugi) pada trafo distribusi, dan verifikasi fasa pelanggan dengan pendeteksian fasa menjadi kunci keberhasilan pada prosesnya. Metode pembacaan fasa dilakukan dengan menghitung selisih waktu antara perpotongan gelombang dengan titik nol dari suatu fasa kemudian membandingkan dengan fasa yang lain. Pendeteksian fasa pelanggan membutuhkan peralatan dengan sensor fasa yang tepat dan akurat yaitu dengan menggunakan metode *Positive Edge Comparison*, Arduino dan Transciever LoRa. Hasil pengambilan data dengan pengujian pada laboratorium menunjukkan bahwa toleransi beda fasa dengan simpangan maksimum sebesar $\pm 18^\circ$ dan jarak terjauh untuk mendapatkan data fasa yang tepat adalah 50m pada posisi *Line of Sight*. semakin jauh jarak pendeteksian maka simpangan sudut fasa semakin besar.

Kata kunci : Penyeimbangan beban, *Zero Crossing Detector*, Sudut Fasa.

1. PENDAHULUAN

Beberapa tahun terakhir ini pertumbuhan jumlah pelanggan listrik PLN meningkat cukup tinggi, berdasarkan Data Statistik PLN 2020 jumlah pelanggan PLN sebanyak 79.000.033 pelanggan, dan dari jumlah tersebut adalah pelanggan Rumah Tangga (R) yaitu sebanyak 72.606.681 pelanggan (atau 91,91%). Dan sebagian besar pelanggan Rumah Tangga di Indonesia masuk pada golongan pelanggan Rumah Tangga Kecil yang disupply dengan listrik satu fasa.

Dengan jumlah sambungan pelanggan yang demikian besar dan karakteristik pembebanan untuk masing- masing pelanggan yang sangat variatif, sehingga banyak menyebabkan ketidakseimbangan beban trafo distribusi yang ditunjukkan dengan mengalirnya arus pada netral Trafo yang mengakibatkan terjadinya losses (rugi-rugi) dan penurunan efisiensi trafo.

Untuk mengurangi kerugian-kerugian yang ditimbulkan akibat dari ketidakseimbangan beban, sangat perlu dilakukan langkah alternatif penurunan losses dengan penyeimbangan (pemerataan) beban disisi jaringan tegangan rendah.

Penyeimbangan beban trafo distribusi sudah biasa dilakukan oleh Petugas Lapangan, akan tetapi pelaksanaannya membutuhkan waktu yang cukup lama dan berulang-ulang, kadang sampai 4-5 kali untuk mendapatkan hasil yang sesuai. Hal ini lebih dikarenakan data fasa pelanggan yang kurang valid.

Untuk mendukung peningkatan pelayanan pelanggan, maka dalam penelitian ini ditekankan kembali langkah/ urutan kerja

penyeimbangan beban yaitu dengan mem-*verifikasi* fasa pelanggan, yang membutuhkan peralatan pendeteksi fasa pelanggan dengan metode sensing yang tepat dan akurat. Maka penelitian ini mengambil judul "*Positive Edge Comparison sebagai Sensor Pendeteksi Fasa Pelanggan Tegangan Rendah*".

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1. Arduino Uno

Arduino uno adalah sebuah board mikrokontroler yang berbasis ATmega328. Arduino uno memiliki 14 pin input atau output yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM, 6 analog input, sebuah crystal osilator 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset. Arduino uno mampu men-support mikrokontroler; dapat dikoneksikan dengan komputer menggunakan kabel USB dan bisa disuplai dengan sebuah adaptor AC ke DC atau menggunakan baterai untuk memulainya.



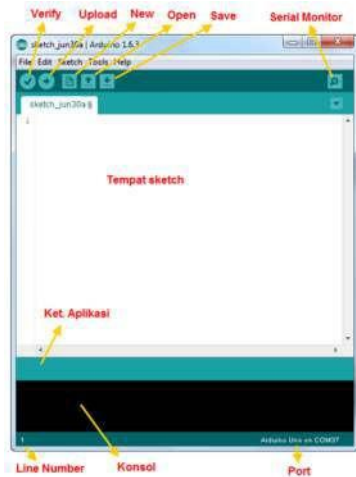
Gambar 1. Board Arduino Uno

Adapun ringkasan spesifikasi Arduino uno adalah sebagai berikut:

- a. Mikrokontroler : ATMEGA328b.
- b. Tegangan Operasi : 5V
- c. Tegangan Input (recommended) : 7 - 12 V
- d. Tegangan Input (limit) : 6-20 V
- e. Pin digital I/O : 14 (6 pin PWM)
- f. Pin Analog input : 6
- g. Arus DC per pin I/O : 40 mA
- h. Arus DC untuk pin 3.3 V : 150 mA
- i. Flash Memory : 32 KB
- j. EEPROM : 1 KB
- k. SRAM : 2 KB
- l. Kecepatan Pewaktuan : 16 Mhz

2.2. Arduino IDE (Integrated Development Environment)

Untuk memprogram board Arduino, kita butuh aplikasi IDE (Integrated Development Environment) bawaan dari Arduino. Aplikasi ini berguna untuk membuat, membuka, dan mengedit source code Arduino (Sketches, para programmer menyebut source code arduino dengan istilah "sketches"). Selanjutnya, jika kita menyebut source code yang ditulis untuk Arduino, kita sebut "sketch" juga ya :). Sketch merupakan source code yang berisi logika dan algoritma yang akan diupload ke dalam IC mikrokontroler (Arduino).



Gambar 2. Interface Arduino IDE

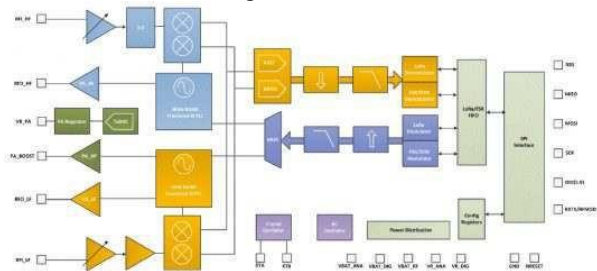
Tampilan software Arduino IDE (Intergrated Development Environment) terlihat pada gambar 2 yang digunakan untuk membuat kode program dilengkapi dengan fitur pada toolbar memiliki fungsi yang dapat membantu dalam menghubungkan program dengan mikrokontroler arduino. Program yang dibuat dengan arduino IDE disebut dengan sketches. File sketches yang dibuat selanjutnya akan disimpan dengan menggunakan format .ino. Berbagai fitur yang dapat digunakan dalam membuat kode program seperti copy, paste, cut, searching dan replace text. Sketches yang sudah dibuat akan diperiksa dan menampilkan pesan error saat proses exporting. Pesan error juga memberikan informasi letak dari kesalahan pada sketches. Arduino IDE juga dilengkapi dengan pilihan jenis mikrokontroler yang digunakan nantinya. Fitur-fitur lainnya seperti verify, upload, new, open, save dan serial monitor memiliki fungsinya masing-masing.

2.3. LoRa SX1278

LoRa, akronim dari long range, merupakan produk modul teknologi konektivitas nirkabel yang utamanya ditujukan untuk sistem IoT. Modul LoRa dipatenkan dan diproduksi tunggal oleh Semtech Corporation. Meskipun secara produksi tertutup, namun pengembangan dan implementasinya berstandar terbuka dan standarisasi protokolnya dikeluarkan oleh asosiasi LoRa Alliance.

Ada banyak klaim keunggulan teknologi LoRa, sebagai solusi jaringan area luas yang menjanjikan jarak jangkauan dengan konsumsi daya yang sangat rendah dan sekuritas lebih aman, dengan ribuan perangkat node yang dapat terhubung dalam jaringan sehingga sangat sesuai untuk Internet of Things.

Transceiver LORA SX1278 merupakan sebuah modem LORA yang menyediakan jangkauan penyebaran spektrum ultra long dan memiliki interferensi tinggi untuk meminimalkan konsumsi daya. Menggunakan teknik modulasi LORA yang dipatenkan Semtech, SX1278 dapat mencapai sensitivitas lebih dari -148 dBm menggunakan bahan kristal dengan biaya rendah dan bill of material. Sensitivitas tinggi yang dikombinasikan dengan penguat daya +20 dBm terintegrasi menghasilkan link budget yang menjadikannya optimal untuk aplikasi apa pun yang membutuhkan jarak jangkau yang jauh. LORA memberikan keuntungan yang signifikan dalam pemblokiran dan selektivitas atas teknik modulasi konvensional, memecahkan masalah jarak jangkau, gangguan kekebalan dan konsumsi energi. Perangkat ini juga mendukung mode (G)FSK untuk sistem termasuk WMBus, IEEE802.15.4g.



Gambar 3. Blok Diagram SX1278



Gambar 4. Bentuk fisik LoRa RA 02 SX 1278

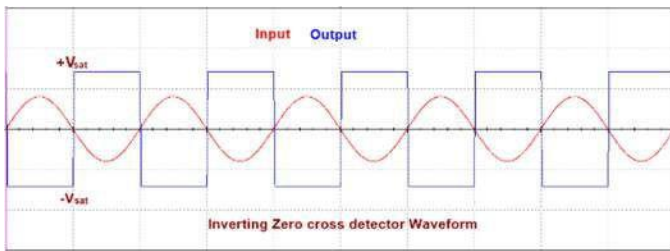
Berikut merupakan spesifikasi dari LORA SX1278 :

- a) 168 dB link budget
- b) +20 dBm RF output
- c) Tegangan suplai : 1.8 - 3.6 V.
- d) Range frekuensi 433 MHz.
- e) SPI data interface.
- f) Modulasi : FSK/GFSK/MSK/LORA

- g) Daya 100 mW.
- h) Bandwith 7.8 – 500 KHz.

2.4. Zero Crossing

Zero crossing detector berfungsi untuk mendeteksi perpotongan gelombang sinus pada tegangan AC dengan zero point tegangan AC tersebut. Dengan menggunakan rangkaian zero crossing detector ini, kita dapat mendeteksi zero point sekaligus mengubah suatu sinyal sinusoidal (sine wave) menjadi sinyal kotak (square wave). Perpotongan titik nol yang terdeteksi adalah pada saat peralihan dari siklus positif menuju siklus negatif dan peralihan dari siklus negatif menuju siklus positif. Rangkaian Zero crossing dapat dibuat dengan menggunakan komponen utama diode dan optocoupler.



Gambar 5. Bentuk Gelombang Zero Crossing Detector

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. PELAKSANAAN DAN DIAGRAM ALIR.

Design Instalasi Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang. Mulai dari studi letaratur, perancangan, dan percobaan rangkaian.

Dalam bagan alir yang dapat dijelaskan sebagai berikut :

Sensor yang akan digunakan adalah Zero Crossing Detector, karena ada beberapa alternatif rangkaian maka akan dilakukan analisa untuk menentukan rangkaian yang paling tepat.

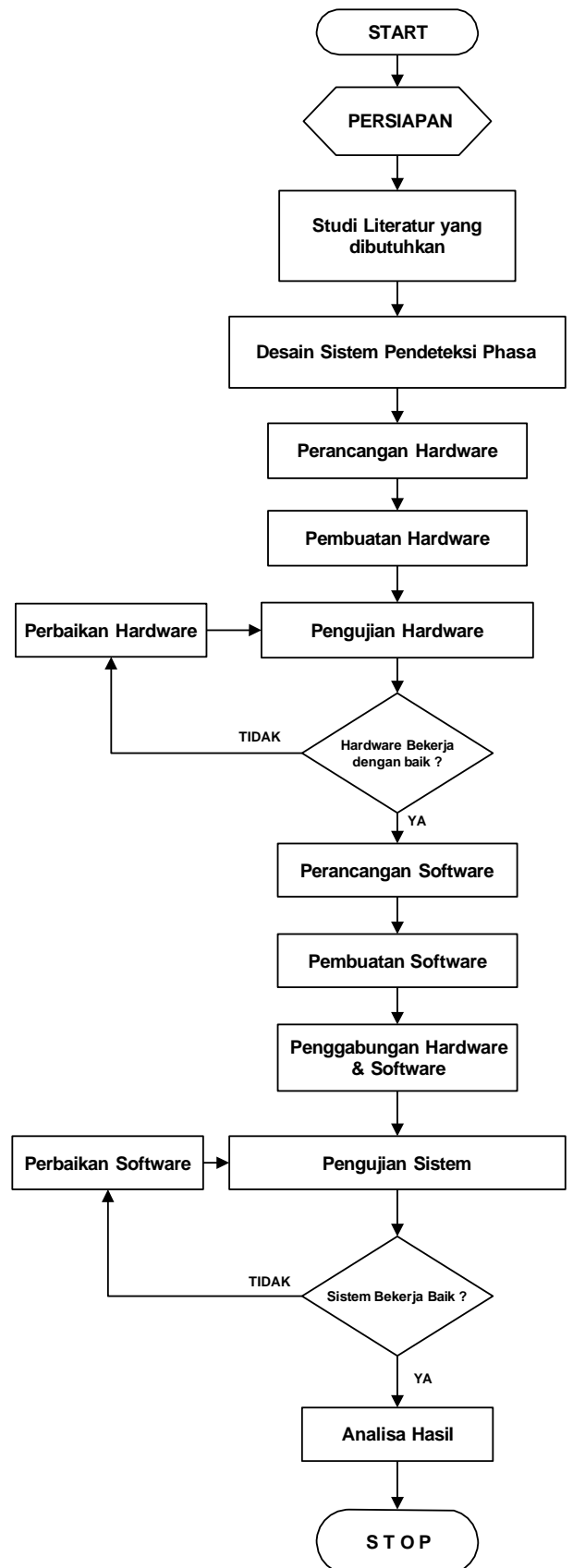
2. Master (Transmitter)

Master atau Trnasmmitter adalah peralatan yang menentukan dan mengirimkan kode fasa referensi ke perangkat Slave (Receiver)

3. Slave (Receiver)

Slave atau Receiver adalah peralatan yang men- sensing fasa pelanggan tegangan rendah dan membandingkan fasa referensi yang diterima dari perangkat Master, dan menentukan fasa pelanggan.

Untuk menjelaskan proses pelaksanaan dibuatlah metodologi seperti pada Gambar 6.

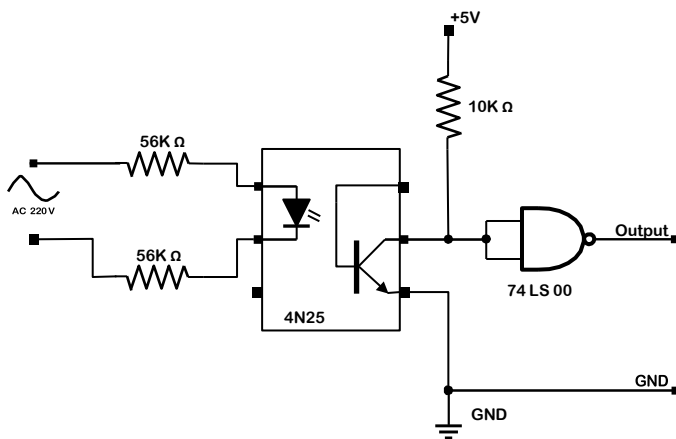


Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

3.2. PERANCANGAN

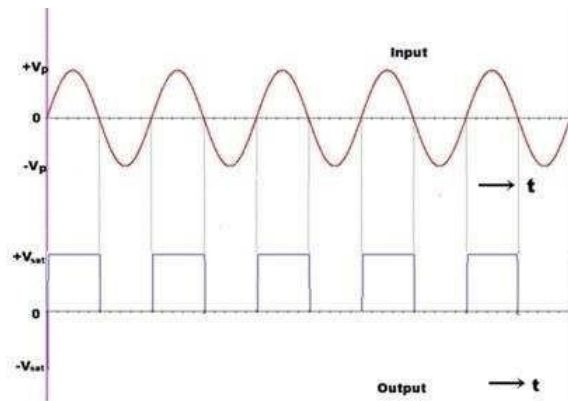
3.2.1. RANGKAIAN ZERO CROSSING DETECTOR SEBAGAI SENSOR

Zero Crossing adalah suatu keadaan dimana suatu fungsi menyentuh titik nol / saat dimana suatu fungsi berpindah dari siklus positif ke siklus negatif. Untuk mendeteksi zero crossing maka diperlukan rangkaian zero crossing detector. Rangkaian zero crossing detector bisa digunakan untuk menghitung frekuensi gelombang listrik, atau mendeteksi titik 0 untuk waktu penyulutan triac. Rangkaian Zero crossing dapat dibuat dengan menggunakan komponen utama diode dan optocoupler. Dengan tegangan input adalah 220Vac yang diturunkan menggunakan resistor hingga mencapai batas aman optocoupler, Kemudian optocoupler digunakan untuk mendeteksi titik 0. Ketika keadaan gelombang mencapai titik 0 (zero crossing) maka output nya bernilai 1 (HIGH). Karena ketika terjadi zero crossing optocoupler non aktif sehingga arus mengalir dari resistor pull up langsung menuju output. Karena transistor dalam optocoupler dalam kondisi terbuka. Sedangkan ketika kondisi amplitudo gelombang lebih dari 0 (kondisi diluar zero crossing) maka led dalam optocoupler akan menyala sehingga mengakibatkan transistor dalam optocoupler aktif (kondisi tertutup) sehingga arus mengalir dari collector ke emitor kemudian ke ground. Sehingga output bernilai 0 (LOW). Untuk pengaplikasian zero crossing dengan mikrokontroler misalnya pada arduino, biasanya signal zero crossing ini di masukan ke dalam pin input digital. Sehingga ketika terjadi zero crossing sehingga output sensor berubah dari logika "0" ke logika "1" (*positive Edge*) maka microcontroller akan langsung menjalankan sub program misal mengirim data atau menghitung frekuensi untuk mendeteksi fasa.



Gambar7. Rangkaian Zero Crossing Detector

Pada rangkaian diatas output dari sensor dan transducer, yang berupa rangkaian Zero Crossing Detector, dihubungkan ke salah satu input digital dari Arduino (A0).



Gambar 8. Bentuk Gelombang hasil Sensing

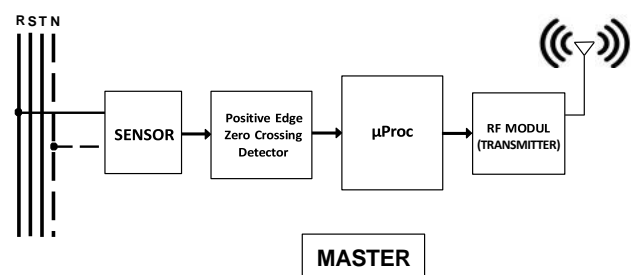
Pada saat gelombang sinus dari tegangan input bergerak naik dan berpotongan dengan garis nol (zero crossing) maka V_{out} dari rangkaian zero crossing detector berubah dari 0 Volt ke +5 Volt, dengan kata lain output NAND Gate berubah dari logika "0" ke logika "1", dan saat gelombang sinus bergerak dari titik maksimum turun hingga menyentuh garis nol volt, maka output dari zero crossing detector berubah dari logika "1" ke logika "0", begitu seterusnya.

Karena tegangan input berbentuk gelombang sinus dengan frekuensi 50 Hz atau T (periode) sebesar 20ms, maka output zero crossing detector akan berlogika "1" atau t on selama 10ms.

Menggunakan sensor zero crossing detector dengan metode positive edge detection sebagai pemicu pengiriman data relatif akurat untuk pendeteksian fasa,

3.2.2. UNIT MASTER (TRANSMITTER)

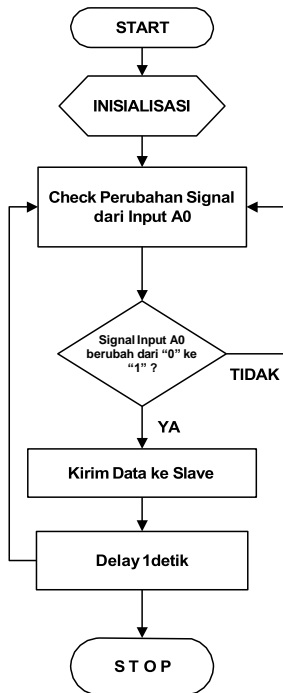
Unit master adalah peralatan yang berfungsi menetapkan fasa referensi (Fasa R) pada panel utama atau gardu distribusi yang akan dipakai sebagai acuan pendeteksian fasa pada jaringan dibawahnya. Peralatan ini terdiri dari sensor tegangan, zero crossing detector, dan processor yang menerima signal Positive Edge dari Zero Crossing dan mentransmisikan signal tersebut ke SLAVE melalui media radio frekuensi.



Gambar 9. Blok Diagram Unit

Pada saat gelombang sinus dari tegangan input (fasa referensi) bergerak naik dan berpotongan dengan garis nol (zero crossing) maka V_{out} dari rangkaian zero crossing detector berubah dari logika "0" ke logika "1", dimana output zero crossing detector ini terhubung dengan salah satu input digital (A0) dari prosesor. Saat input A0 dari prosesor mendeteksi adanya perubahan dari

logika “0” ke logika “1” atau biasa disebut “*Positive Edge*”, maka saat itulah prosesor akan mengirimkan data melalui modul radio frekuensi (modul LoRa) ke unit SLAVE.



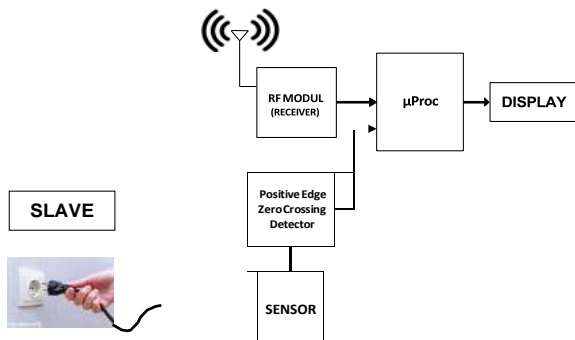
Gambar 10. Flow Chart software unit MASTER

Setelah melakukan satu kali (1x) pengiriman data, maka software akan menunda selama 1 detik, setelah itu unit MASTER akan menunggu adanya perubahan signal pada output zero crossing detector dari logika “0” ke logika “1”.

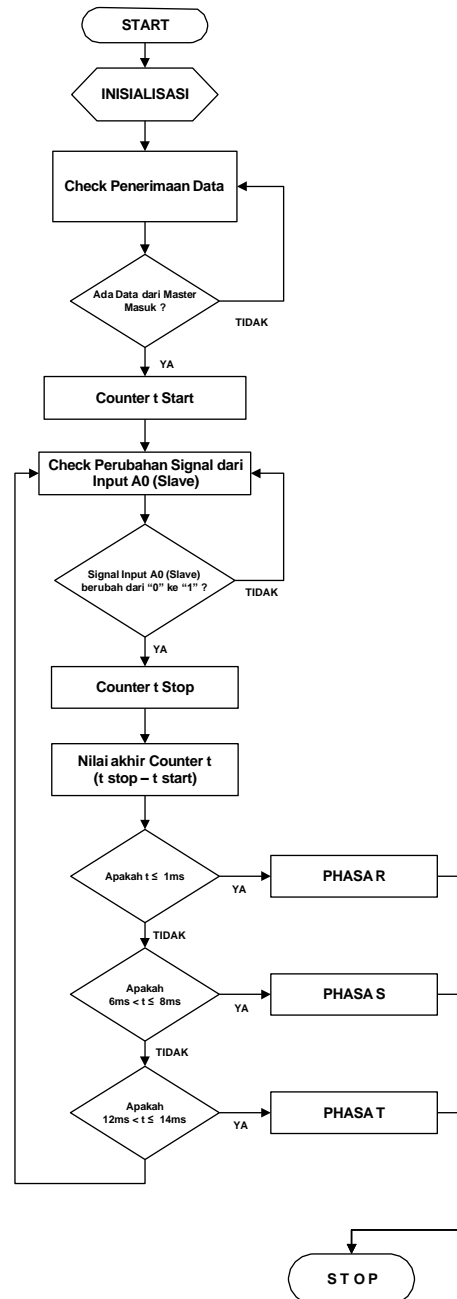
Penundaan 1 detik dilakukan untuk kerancuan periode pendeteksian gelombang per 20ms dengan periode pengiriman data.

3.2.3. UNIT SLAVE (RECEIVER)

Unit Slave adalah peralatan yang dibawa mobile ke lokasi yang akan dideteksi phasanya. Peralatan ini menerima signal phasa referensi dari Master yang dikirim melalui radio frekuensi dan menerima signal Positive Edge dari phasa yang dideteksi, dan processor yang menghitung selisih dari phasa referensi dan phasa hasil deteksi, kemudian hasilnya ditampilkan pada display.

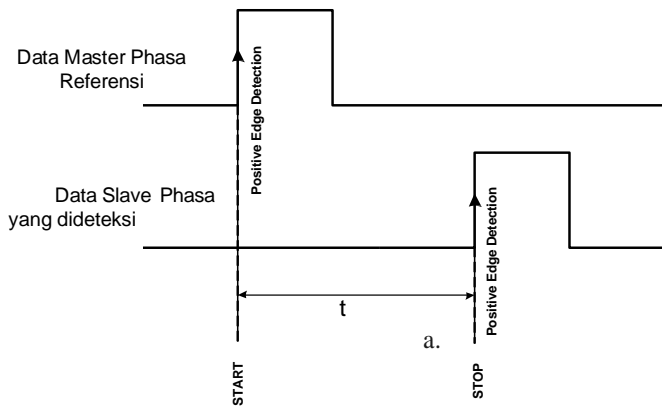


Gambar 11. Blok Diagram unit SLAVE



Gambar 12. Flow Chart software unit SLAVE

Saat unit SLAVE digunakan untuk mendeteksi phasa salah satu pelanggan, dengan cara mencolokkan steker (Plug) ke stop kontak pada instalasi milik pelanggan, slave akan menunggu kiriman data dari master. Jika Slave menerima data dari Master, maka counter pada slave akan mulai (start) menghitung. Dan processor memonitor perubahan status signal keluaran dari zero crossing detector yang ada pada slave.



Gambar 13. Positive Edge detection untuk counter

Pada saat gelombang sinus dari tegangan input (fasa yang dideteksi) bergerak naik dan berpotongan dengan garis nol (zero crossing) maka V_{out} dari rangkaian zero crossing detector berubah dari logika “0” ke logika “1”, maka counter akan berhenti (stop) menghitung. Dan hasil counter (t) direcord dalam satuan millisecond yang mewakili sudut fasa dan dibandingkan dengan parameter standar fasa.

Phasa R (referensi)	= 0°	= 0 ms
Phasa S	= 120°	= 6,6 ms
Phasa T	= 240°	= 13,2 ms

Dengan pertimbangan akurasi pengiriman data dan zero crossing detector, maka pada unit Slave diberikan toleransi sekitar $\pm 18^\circ$ atau setara ± 1 ms. Maka penentuan fasa dilakukan menggunakan range waktu sebagai berikut :

Tabel 1. Batas Simpangan Waktu per Fasa

Range Waktu (ms)	Fasa Terdeteksi
$0\text{ms} < t \leq 1\text{ms}$ dan $19\text{ms} < t \leq 20\text{ms}$	Phasa R
$6\text{ms} < t \leq 8\text{ms}$	Phasa S
$12\text{ms} < t \leq 14\text{ms}$	Phasa T

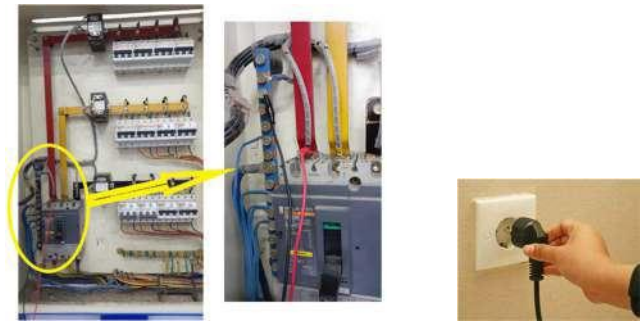
Sebagai contoh Jika hasil pendeteksian menunjukkan nilai $t = 6,2$ ms maka unit Slave akan menampilkan bahwa pada Stop Kontak yang dideteksi masuk ke Phasa S.

4. PENGUJIAN ALAT

4.1. METODE PENGUJIAN ALAT

Pengujian peralatan detector fasa ini dilakukan didalam ruangan Laboratorium Desain Instalasi, pengambilan data difokuskan pada validitas pendeteksian dalam lingkup beban dalam satu sub-Panel dengan sumber listrik 3-fasa. Dan jarak pengujian tidak lebih dari 10 m.

Unit Master diletakkan pada Sub-Panel dan pada modul sensor kabel warna merah disambungkan ke Busbar fasa R (busbar warna merah), dan kabel warna hitam disambungkan ke terminal Netral. Sambungan unit master ini dipakai sebagai Phasa Referensi. Wiring diagram untuk pemasangan unit Master ini telah ditunjukkan pada Gambar 9. Blok Diagram Unit Master.



Gambar 14 a. Sambungan unit Master pada Sub-Panel
b. Pendeteksian fasa pada meja kerja

Gambar 14 (b) menunjukkan, UNIT SLAVE dibawa mobile oleh operator dari meja 1 ke yang lain dalam ruangan yang sama, dengan cara mencolokkan steker yang telah terhubung pada modul sensor pada unit slave ke salah satu stop kontak yang dideteksi. Wiring diagram pada pengujian ini telah ditunjukkan pada gambar 11. Blok Diagram unit SLAVE.

4.2. HASIL PENGUJIAN ALAT

Penganmbilan data pada pengujian peralatan dilakukan sebanyak 5 data per titik dengan jarak yang bervariasi. Dan data hasil percobaan dapat ditunjukkan pada table dibawah ini.

Tabel 2. Data Hasil Percobaan

No	Lokasi	Percobaan ke	Jarak (m)	t (ms)	Fasa Terdeteksi
1	Meja 01	1	8	0,8	Phasa R
2		2	8	0,7	Phasa R
3		3	8	0,8	Phasa R
4		4	8	19,2	Phasa R
5		5	8	0,4	Phasa R
6	Meja 03	1	6	13,2	Phasa T
7		2	6	12,8	Phasa T
8		3	6	12,4	Phasa T
9		4	6	12,4	Phasa T
10		5	6	13,5	Phasa T
11	Meja 05	1	3	13,2	Phasa T
12		2	3	13,4	Phasa T
13		3	3	13,4	Phasa T
14		4	3	13,2	Phasa T
15		5	3	13,1	Phasa T
16	T1	1	50	6,4	Phasa S
17		2	50	6,2	Phasa S
18		3	50	7,8	Phasa S
19		4	50	5,4	Tidak Terdeteksi
20		5	50	7,6	Phasa S
21	T2	1	100	2,3	Tidak Terdeteksi
22		2	100	4,1	Tidak Terdeteksi
23		3	100	16,6	Tidak Terdeteksi
24		4	100	19,3	Phasa R
25		5	100	10,2	Tidak Terdeteksi

Dari hasil percobaan dapat dianalisa berdasarkan jarak, untuk pendeteksian fasa pada suplay daya meja 1 dengan jarak dengan sub-panel ± 8 m terdeteksi sebagai Phasa R secara teori berarti gelombang sinus pada suplay daya di meja 1 se-fasa

dengan fasa referensi atau beda fasa = 0° seharusnya nilai $t = 0$ ms. Akan tetapi pada hasil percobaan terdapat simpangan, jika dihitung simpangan rata-rata sebesar 0,7 ms atau jika dikonversikan dalam sudut fasa sebesar $12,6^\circ$. Untuk pendeteksian yang dilakukan pada suplay daya meja 3 yang lokasinya berjarak ± 6 m dari sub-Panel, data hasil percobaan terdapat simpangan rata-rata sebesar 0,42 ms atau jika dikonversikan dalam sudut fasa sebesar $7,6^\circ$. Dan untuk pendeteksian yang dilakukan pada suplay daya meja 5 yang lokasinya berjarak ± 3 m dari sub-Panel, data hasil percobaan terdapat simpangan rata-rata sebesar 0,26 ms atau jika dikonversikan dalam sudut fasa sebesar $4,7^\circ$.



Gambar 15. Contoh Tampilan Hasil Pendeteksian Fasa

Dengan memperhatikan metode *positive edge detection* pada sensor dan komunikasi data dengan media radio frekuensi melalui modul LoRa, untuk pendeteksian fasa ini diberikan toleransi simpangan sebesar 1ms atau maksimum beda fasa sebesar $\pm 18^\circ$.

Untuk pengujian pada jarak 50m LoS (Line of Sight) menunjukkan hasil yang mulai menyimpang, dari 5 kali percobaan, terdapat 1 data fasa tidak terdeteksi. Dan pada pengujian dengan 100m LoS menunjukkan dari 5 kali percobaan 4 diantaranya menunjukkan hasil fasa tidak terdeteksi. Berdasarkan penelitian sebelumnya [15] [16], hal ini disebabkan karena adanya *delay* saat pengiriman data dari Unit Master (Tx) ke Unit Slave (Rx). Semakin jauh jarak transmisi dari pengirim dan penerima, maka akan semakin tinggi nilai rata-rata *delay* yang dihasilkan. [15] [16].

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian peralatan pendeteksi fasa pelanggan tegangan rendah, dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan metode *positive edge comparison* pada Zero crossing detector sebagai sensor fasa dan modul RF LoRa sebagai modul telekomunikasi :

1. Akurasi pendeteksian fasa sangat dipengaruhi oleh jarak pendeteksian (master – Slave), semakin jauh jarak pendeteksian maka simpangan sudut fasa semakin besar.
2. untuk pendeteksian jarak pendek terdapat toleransi simpangan sebesar 1ms atau maksimum beda fasa sebesar $\pm 18^\circ$.
3. Jarak terjauh untuk mendapatkan data fasa yang tepat adalah 50m pada posisi Line of Sight.

REFERENSI

- [1] Arilaga, J. (2003). *Power System harmonics*. New York: CRC Press.
- [2] Boylestad Robert L. "Introductory Circuit Analysis" Pearson Education, Tenth Addition, 4
- [3] Gonen Turan, "Electric Power Distribution Engineering", Third Edition, CRC Press, USA, 2014.
- [4] Mehta, K. (2005). *Principle of Power System*. S Chand; 3rd Revised edition.
- [5] Herman Dwi Surjono, Ph.D. (2011). *Elektronika Analog*. Jember: Penerbit Cerdas Ulet Kreatif ISBN : 987-602-98174-1-6.
- [6] Tooley Michael (2002). *Electronic Circuits : Fundamentals and Applications*; 2nd Edition. Oxford : Newnes
- [7] Horowitz, P & Hill, W. (1994). *The Art Of Electronics - 2nd Edition*. Cambridge : Cambridge University Press, ISBN 0-521 -37095-7
- [8] Widodo Budiharto Prof. Dr. Ir.(2020). *Menguasai Pemrograman Arduino dan Robot*, CV Pusat e-Technology, Januari 2020.
- [9] Dzikri P A, Agus G P, Atik N.(2019). *Rancang Bangun alat perbaikan faktor daya listrik satu fasa berbasis mikrokontroler*. Universitas Telkom. e-Proceeding of Applied Science : Vol.5, No.3. ISSN : 2442-5826.
- [10] A A Gde Ekayana dan A A Ratna Rakasiwi (2018). *Rancang Bangun Pengaman Power Supply Berbasis Zero Crossing Detector Pada Laboratorium Komputer*. STIKOM Indonesia, Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Vol. 15, No. 1, P-ISSN : 0216-3241 ; E-ISSN : 2541-0652.
- [11] Sulaeman, Kartika Dewi, Fitriaty Pangerang.(2017). *Implementasi Zero Crossing Pada Sistem Kendali Perangkat Rumah Cerdas Menggunakan Smartphone Android*. Politeknik Negeri Ujung Pandang, Prosiding Seminar Hasil Penelitian (SNP2M) 2017 (pp.33-38).
- [12] Setya Ardhi (2016). *Pengendalian Sinkronisasi Generator Dengan Sumber Pembangkit Listrik Secara Otomasi Berbasis Mikrokontroler*. Sekolah Tinggi Teknik Surabaya. DINAMIKA TEKNOLOGI Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa Oktober 2015 Vol. 7; No. 1. ISSN : 1907-7327.
- [13] Ayub Reza Batong , Prihadi Murdiyati , Abdul Hamid Kurniawan (2020). *Analisis Kelayakan LoRa Untuk Jaringan Komunikasi Sistem Monitoring Listrik Di Politeknik Negeri Samarinda*. PoliGrid Vol. 1; No. 2 Desember 2020 . ISSN : 2723-4428. eISSN : 2723-4436.
- [14] Ervin Mey Hermawan dan Saidah.(2021). *Implementasi Sinkronisasi Jaringan dengan Inverter Berbasis SPWM Menggunakan Zero Crossing Detector*. Jurnal CYCLOTRON, Vol 4 No. 1, P-ISSN2614-5499, E-ISSN2614-5164.
- [15] Arifah Ramadhani , Angga Rusdinar , Azam Zamhuri Fuadi (2021). *Data Komunikasi Secara Real Time Menggunakan LONG RANGE (LoRa) Berbasis Internet Of Things Untuk Pembuatan Weather Station*. Universitas Telkom, Bandung, e-Proceeding of Engineering : Vol.8, No.5 Oktober 2021. ISSN : 2355-9365.
- [16] Hanalde Andre , Bobby Arma Sugara , Baharuddin , Rudy Fernandez , Rizki Wahyu Pratama (2022). *Analisis Komunikasi Data Jaringan Nirkabel Berdaya Rendah Menggunakan Teknologi Long Range (LoRa) di Daerah Hijau Universitas Andalas*. Jurnal ECOTIPE, Vol. 9, No.1, April 2022. p-ISSN 2355-5068, e-ISSN 2622-4852.