

RANCANG BANGUN PROTOTIPE SISTEM ATS-AMF BERBASIS MIKROKONTROLER DI PERUMDA AIR MINUM TIRTA SANJIWANI UNIT PRODUKSI BLANGSINGA

I Gusti Putu Eka Pratama¹, Cokorde Gede Indra Partha², I Wayan Arta Wijaya²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana
Kampus Bukit, Jl Raya Kampus Unud Jimbaran, Kuta Selatan, Badung, Bali 80631

guseka2001@gmail.com, cokindra@unud.ac.id, artawijaya@unud.ac.id

ABSTRAK

Kontinuitas pasokan energi listrik dari pembangkit menuju konsumen tidak selalu dapat dipastikan karena berbagai faktor seperti pemadaman terencana, kegagalan dalam distribusi, dan dampak dari bencana alam. Perusahaan Umum Daerah (Perumda) Air Minum Tirta Sanjiwani menggunakan generator set sebagai sumber listrik cadangan untuk menjamin ketersediaan pasokan air kepada konsumen. Unit Produksi Blangsinga Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani menghadapi tantangan dalam mengalihkan pasokan listrik antara PLN dan genset, terutama dalam operasi yang memerlukan keberlangsungan tanpa henti. Sistem otomatis seperti ATS (*Automatic Transfer Switch*) dan AMF (*Automatic Main Failure*) diperlukan untuk mengatasi ketidakstabilan pasokan listrik dari PLN. Fungsi ATS adalah untuk melakukan peralihan dari PLN ke sumber listrik cadangan (genset) ketika terjadi gangguan atau pemadaman pada PLN. AMF bertugas mendeteksi kegagalan pada PLN dan menginisiasi genset serta mengalihkan beban ke sumber daya cadangan ketika terjadi kegagalan pada pasokan listrik utama. Prototipe sistem ATS-AMF dirancang dengan memanfaatkan sensor tegangan, sensor frekuensi, sensor arus, serta relai untuk memastikan kinerja yang optimal dan responsif terhadap kondisi lingkungan dan keadaan pasokan listrik.

Kata kunci : Kontinuitas Energi Listrik, ATS, AMF, Mikrokontroler

ABSTRACT

The continuity of electricity supply from generators to consumers cannot always be guaranteed due to various factors such as planned outages, distribution failures, and the impacts of natural disasters. The Regional Public Water Company (Perumda) Tirta Sanjiwani has adopted generators as Backup Power Sources to ensure the availability of water supply to consumers. However, the Blangsinga Production Unit of Perumda Tirta Sanjiwani faces challenges in switching electricity supply between PLN and the generator set (genset), especially in operations requiring uninterrupted continuity. To overcome the instability of the electricity supply from PLN, the use of automatic systems such as ATS (Automatic Transfer Switch) and AMF (Automatic Main Failure) is necessary. The function of ATS is to switch from PLN to the backup power source (genset) when there is a disturbance or outage in PLN. AMF is responsible for detecting failures in PLN and initiating the genset as well as transferring the load to the backup power source when there is a failure in the main power supply. The ATS-AMF system prototype is designed using voltage sensors, frequency sensors, current sensors, and relays to ensure optimal performance and responsiveness to environmental conditions and power supply conditions.

Key Words : Continuity of Electrical Energy, ATS, AMF, Microcontroller

1. PENDAHULUAN

Kegagalan pasokan listrik dapat disebabkan oleh pemadaman terjadwal, kegagalan distribusi, atau bencana alam[1]. Penurunan tegangan, perubahan frekuensi, dan hilangnya fase adalah masalah umum dalam listrik PLN[2]. Perusahaan Air Minum Tirta Sanjiwani memiliki 57 unit produksi dan mengandalkan generator set sebagai backup saat pemadaman listrik PLN sehingga memastikan pasokan air terus berjalan.

Unit Produksi Blangsinga menyuplai air kepada 402 pelanggan dengan listrik PLN sebagai sumber utama dan genset 25 kW sebagai sumber listrik cadangan. Saat terjadi gangguan, peralihan antara PLN dan genset bisa dilakukan secara manual atau otomatis[3]. Perumda Tirta Sanjiwani Kabupaten Gianyar Unit Produksi Blangsinga saat ini masih menggunakan sistem peralihan manual, yang dinilai tidak cocok untuk pengoperasian kontinu, karena memerlukan operator yang harus selalu *standby* di lokasi saat terjadi pemadaman dan menjadi masalah serius jika pemadaman terjadi di luar waktu jaga operator.

Sistem *backup* daya otomatis diperlukan untuk mengatasi ketidakkontinuan suplai listrik dari PLN. Sistem backup daya listrik otomatis menggunakan ATS dan AMF untuk memindahkan suplai dari PLN ke genset saat gangguan terjadi. ATS mengalihkan suplai saat gangguan, sementara AMF berfungsi mendeteksi gangguan dan mengaktifkan genset. Mikrokontroler menjadi inti sistem untuk kontrol otomatis dan fleksibilitas. Sensor tegangan, frekuensi, dan arus terintegrasi untuk mendeteksi gangguan, dengan relai sebagai pemutus sirkuit.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kualitas Daya Listrik

Kualitas daya listrik adalah kriteria utama yang harus dipenuhi oleh sebuah sistem agar mampu menyediakan pasokan listrik kepada konsumen dengan keandalan

yang memadai, sehingga memastikan bahwa peralatan listrik yang ditenagai dapat beroperasi sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan tanpa gangguan berkelanjutan[4].

2.2 Automatic Transfer Switch (ATS)

Automatic Transfer Switch (ATS) adalah sistem yang secara otomatis mentransfer pasokan daya listrik dari sumber utama ke sumber cadangan saat terjadi gangguan terhadap sumber listrik utama. Sistem ini melakukan pemantauan terhadap kualitas sumber daya listrik utama. Jika terjadi pemadaman atau gangguan, ATS akan mengalihkan sumber daya ke sumber cadangan[5].

2.3 Automatic Main Failure (AMF)

Automatic Main Failure (AMF) mendeteksi kegagalan pada sumber listrik utama dan secara otomatis mengaktifkan sumber listrik cadangan, seperti genset. Tujuannya adalah memastikan pasokan listrik tetap stabil untuk beban terhubung selama gangguan terjadi. AMF berfungsi menghidupkan genset saat terjadi pemadaman atau kegagalan pada sumber listrik utama, seperti penurunan tegangan atau frekuensi di bawah ambang batas yang ditetapkan.[6].

2.4 Arduino Mega 2560

Arduino adalah papan elektronik open source dengan mikrokontroler AVR sebagai komponen utamanya. Mikrokontroler memungkinkan program untuk mengontrol *input*, proses, dan *output*. Arduino Mega 2560 menggunakan *chip* ATmega2560 dan dilengkapi dengan 54 pin I/O digital (15 PWM), 16 pin *input* analog, dan 4 pin UART. Fiturnya meliputi osilator 16 MHz, port USB, jack listrik, header ICSP, dan tombol reset[7].

2.5 Sensor ZMPT101B

Sensor ZMPT101B adalah komponen yang digunakan untuk mengukur tegangan dan frekuensi listrik AC. Sensor ZMPT101B mampu menangani tegangan input hingga 250 V AC. Tegangan *output*

dari kumparan sekunder memiliki *offset* setengah dari tegangan catu daya (VCC). *Offset* ini disesuaikan agar sinyal menjadi bipolar dan dapat diukur oleh mikrokontroler. Pergeseran setengah VCC dihilangkan untuk mendapatkan sinyal AC murni saat diolah oleh mikrokontroler. Selanjutnya, dilakukan proses *scaling* untuk mengonversi nilai tegangan sesuai dengan skala yang diinginkan. Sensor ZMPT101B juga dapat melakukan pengukuran RMS dengan cara mengambil sampel, merata-ratakannya, dan menghitung akar kuadrat dari nilai rata-rata tersebut.

2.6 Sensor ACS712-30A

Sensor Arus ACS712-30A menggunakan Prinsip *Hall Effect*, sebuah mekanisme yang memungkinkannya mengukur arus listrik bolak-balik atau arus searah. Prinsip ini memanfaatkan perpindahan elektron yang dipengaruhi oleh medan magnet untuk menghasilkan tegangan keluaran yang dapat diukur. Sensor ini dapat dengan akurat mengukur arus AC maupun DC dengan kapasitas pengukuran hingga 30A [8].

2.7 Relai

Relai Modul Arduino adalah komponen elektromagnetik yang bertindak sebagai saklar elektronik untuk mengontrol arus listrik sesuai dengan sinyal dari Arduino. Saklar elektromagnetik pada Relai Modul Arduino memiliki dua kondisi utama, yaitu terbuka dan tertutup. Ketika kontak relai tertutup, arus listrik dapat mengalir melalui relai dan mengaktifkan perangkat yang terhubung. Sebaliknya, ketika kontak relai terbuka, arus terputus dan tidak dapat menghidupkan perangkat yang terhubung melalui relai.

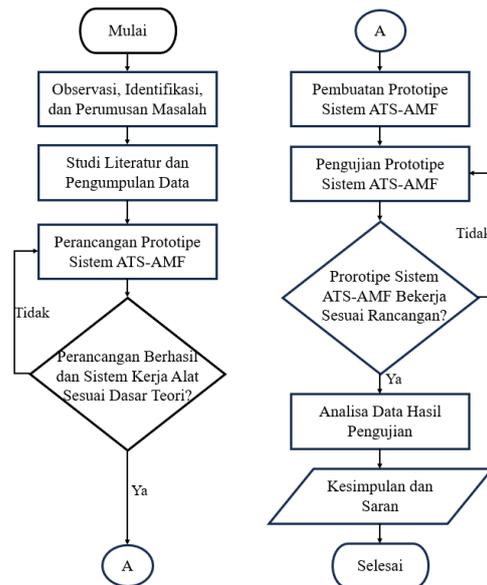
2.8 LCD I2C 20x4

LCD I2C 20x4 adalah modul *Liquid Crystal Display* (LCD) yang digunakan untuk menampilkan informasi teks dengan format 20 karakter per baris dan 4 baris secara simultan. Modul ini menggunakan protokol komunikasi I2C (Inter-Integrated Circuit)

untuk menyederhanakan koneksi dan penggunaan dengan mikrokontroler seperti Arduino. Modul LCD I2C 20x4 terdiri dari empat baris yang masing-masing dapat menampilkan hingga 20 karakter teks. Protokol I2C memungkinkan komunikasi antara mikrokontroler dan modul LCD menggunakan hanya dua kabel, yaitu SDA (*Serial Data Line*) dan SCL (*Serial Clock Line*).

3. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian mencakup identifikasi masalah, perencanaan, pembuatan, dan pengujian sistem dilakukan beberapa tempat, yaitu Perumda Tirta Sanjiwani Kabupaten Gianyar Unit Produksi Blangsinga sebagai tempat acuan yang belum tersedia sistem ATS-AMF dan Laboratorium Konversi Energi Program Studi Teknik Elektro Universitas Udayana sebagai tempat pengujian prototipe sistem ATS-AMF. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan terhitung dari Bulan Juli 2023 sampai dengan Desember 2023. Analisis Data dapat dilihat pada Gambar 1 :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Penelitian ini direncanakan dalam enam tahap utama sebagai berikut:

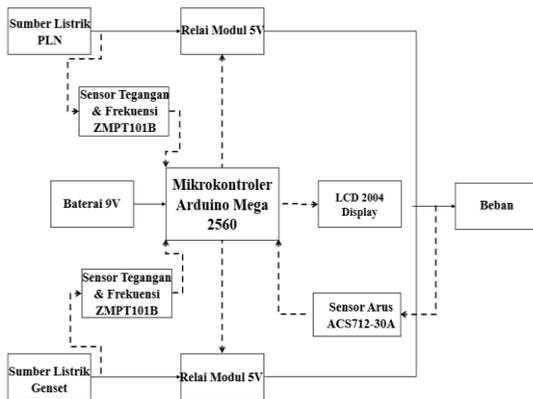
1. Mengumpulkan data spesifikasi yang diperlukan untuk Sistem ATS_AMF.
2. Menyiapkan peralatan dan bahan yang diperlukan.

3. Merancang dan membuat prototipe Sistem ATS-AMF.
4. Melakukan pengujian terhadap Sistem ATS-AMF.
5. Mengumpulkan dan menganalisis data hasil uji dari Sistem ATS-AMF.
6. Membandingkan Prototipe Sistem ATS-AMF dengan spesifikasi implementasi riil.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancangan Perangkat Keras Prototipe Sistem ATS-AMF

Rancangan perangkat keras prototipe sistem ATS-AMF ditunjukkan pada Gambar 2 berikut.



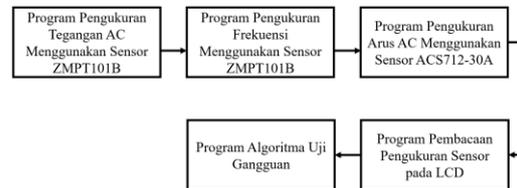
Gambar 2. Blok Diagram Perangkat Keras Sistem ATS-AMF

Sistem ATS-AMF menggunakan sensor tegangan dan frekuensi ZMPT101B untuk membaca nilai tegangan dan frekuensi masing-masing fase pada PLN maupun genset. Jika terdapat gangguan tegangan maupun frekuensi pada sumber listrik utama Mikrokontroler Arduino Mega 2560 akan memberi perintah untuk membuka relai PLN sehingga tidak ada arus yang mengalir dan menutup relai genset sehingga genset yang akan mensuplai beban. Ketika frekuensi dan tegangan PLN sudah normal kembali, Mikrokontroler Arduino Mega 2560 akan memberi perintah untuk membuka relay genset dan menutup relai PLN sehingga beban akan disuplai oleh listrik PLN. Sistem ATS-AMF juga dilengkapi dengan sensor Arus ACS712-30A untuk membaca nilai arus pada beban untuk dapat

dihitung daya yang bekerja pada beban. Sistem ATS-AMF juga dilengkapi dengan LCD untuk memudahkan pemantauan.

4.2 Rancangan Perangkat Lunak Prototipe Sistem ATS-AMF

Rancangan perangkat lunak prototipe sistem ATS-AMF ditunjukkan pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3. Blok Diagram Perangkat Lunak Sistem ATS-AMF

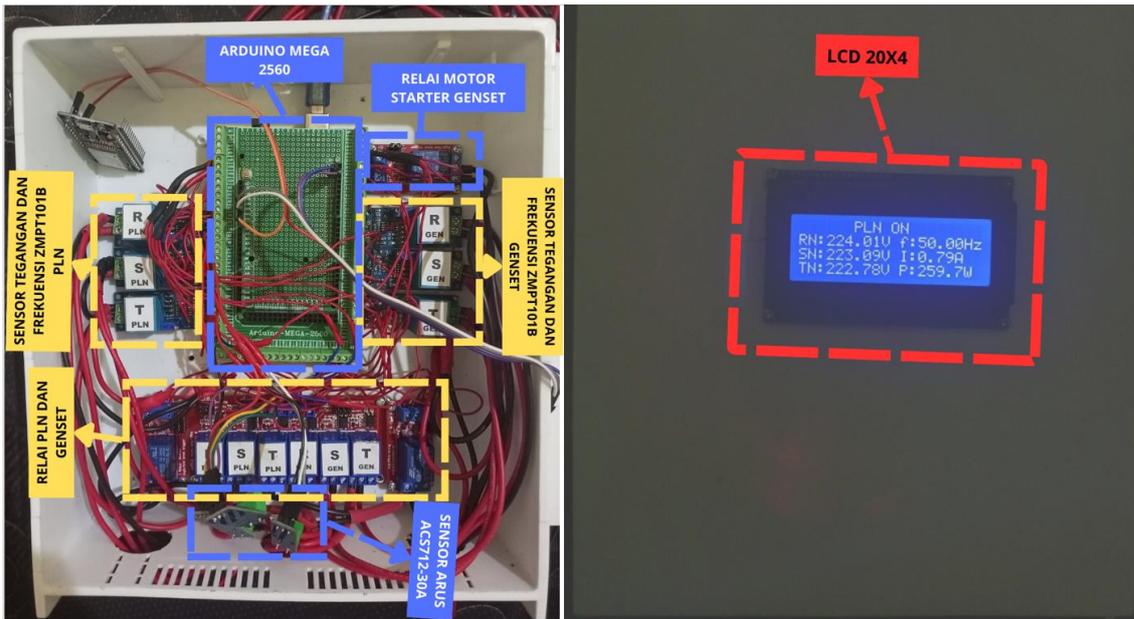
Inisialisasi dilakukan untuk mengatur pin-pin sensor tegangan, frekuensi, dan arus, serta melakukan pengaturan pin relai dan pustaka (*library*) LCD. Relai dideklarasikan sebagai output dan LCD diinisialisasi. Waktu pencatatan dimulai untuk pengukuran pada sensor.

Fungsi-fungsi dibuat untuk mengukur tegangan pada masing-masing fase PLN dan Genset, frekuensi pada masing-masing fase PLN dan Genset, serta arus pada masing-masing fase RST. Terdapat pula fungsi untuk membaca pengukuran sensor tegangan, frekuensi, dan arus yang ditampilkan pada LCD. Pada fungsi void loop, terjadi pemanggilan fungsi pengukuran sensor tegangan, frekuensi, dan arus

Sistem diuji gangguan dimana jika PLN dalam keadaan normal, relai PLN diaktifkan dan relai genset dinonaktifkan. Jika terdeteksi kegagalan pada PLN, genset dihidupkan; namun jika PLN kembali normal, relai PLN dinonaktifkan dan relai PLN diaktifkan. Jika terjadi gangguan pada genset juga, maka kedua sumber listrik dinonaktifkan dan notifikasi gangguan ditampilkan pada LCD.

4.3 Realisasi Prototipe Sistem ATS-AMF

Pada Gambar 4 menunjukkan realisasi prototipe sistem ATS-AMF berbasis mikrokontroler secara keseluruhan.



Gambar 4. Realisasi Prototipe Sistem ATS-AMF Berbasis Mikrokontroler

Prototipe sistem ATS-AMF berbasis mikrokontroler ini melibatkan beberapa komponen utama. Pertama, sensor tegangan dan frekuensi ZMPT101B digunakan untuk mengukur tegangan listrik AC hingga 250V. Sistem ini menggunakan 6 buah sensor ZMPT101B untuk mengukur tegangan dan frekuensi dari masing-masing fase dari sumber PLN dan genset. Kedua, sensor arus ACS712-30A digunakan untuk mengukur arus listrik hingga 30A. Sistem ATS-AMF menggunakan 3 buah sensor ACS712-30A untuk mengukur arus listrik pada beban fase RST. Ketiga, relai berfungsi sebagai saklar untuk sumber listrik PLN dan genset. Sistem ini memanfaatkan 9 buah aktuator relai yang terdiri dari 4 relai untuk fase RST dan N pada sumber listrik PLN, 4 relai untuk fase RST dan N pada sumber listrik genset, dan sebuah relai untuk motor starter genset. Terakhir, LCD 20x4 digunakan sebagai alat monitoring sistem secara offline, memudahkan operator untuk memantau data sistem seperti tegangan, frekuensi, arus, dan daya listrik PLN dan genset. LCD ini dilengkapi dengan I2C interface untuk menyederhanakan koneksi dan penggunaan dengan mikrokontroler.

4.4 Pengujian Unjuk Kerja Prototipe Sistem ATS-AMF Berbasis Mikrokontroler

Pada Tabel 1 dapat dilihat bahwa Hasil pengujian kinerja sistem ATS-AMF menunjukkan respons dan kondisi sistem dalam berbagai skenario pasokan daya listrik dari PLN dan genset. Setiap situasi, baik terkait dengan tegangan maupun frekuensi, memiliki batas tertentu, dan respons sistem bergantung pada pemantauan kondisi tersebut.

Kondisi normal terjadi ketika tegangan dan frekuensi sumber daya PLN berada dalam rentang yang diizinkan (198 V hingga 231 V untuk tegangan, dan 49,5 Hz hingga 50,5 Hz untuk frekuensi). Pada kondisi ini, sistem dianggap normal (PLN Normal). Beban akan disuplai oleh PLN dan relai R, S, T, dan N PLN akan aktif, sementara relai motor starter genset dimatikan. LCD akan menampilkan status "PLN ON" dan mengukur tegangan, frekuensi, arus, dan daya.

Ketika terjadi under voltage pada PLN (tegangan di bawah 198 V), sistem beralih ke mode PLN gangguan, dimana relai R, S, T, dan N PLN dimatikan, sementara relai motor starter genset diaktifkan. Relai R, S, T, dan N genset akan aktif jika sumber Genset dalam kondisi normal (198 V hingga 231 V untuk tegangan, dan 49,5 Hz hingga 50,5 Hz untuk

frekuensi). LCD akan menampilkan "GENSET ON" dan mengukur tegangan, frekuensi, arus, dan daya.

Pada gangguan lain pada PLN seperti over voltage, under frequency, over frequency, atau hilangnya salah satu fase R, S, atau T, sistem akan beralih pasokan listrik dari PLN ke Genset jika sumber Genset

dalam kondisi normal. Namun, jika Genset juga mengalami gangguan, maka kedua sumber akan dimatikan dan LCD akan menampilkan "SYSTEM GANGGUAN". Ketika PLN kembali normal, relai PLN akan diaktifkan secara otomatis dan beban akan disuplai oleh PLN kembali.

Tabel 1. Pengujian Unjuk Kerja Prototipe Sistem ATS-AMF

Besar Tegangan	Besar Frekuensi	Kondisi Sistem	Respon Sistem
- $198 V \geq V_{in} RN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN PLN \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T PLN \leq 50.5 Hz$	- PLN Normal - Beban disuplai oleh PLN	- Relai R, S, T, dan N PLN menyala - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "PLN ON" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN PLN \leq 198 V$ - $V_{in} SN PLN \leq 198 V$ - $V_{in} TN PLN \leq 198 V$	- $49.5 Hz \geq f R PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T PLN \leq 50.5 Hz$	- Under voltage sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Over voltage sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN PLN \geq 231 V$ - $V_{in} SN PLN \geq 231 V$ - $V_{in} TN PLN \geq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T PLN \leq 50.5 Hz$	- Over voltage sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Under Frequency sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN PLN \leq 231 V$	- $f R PLN \leq 49.5 Hz$ - $f S PLN \leq 49.5 Hz$ - $f T PLN \leq 49.5 Hz$	- Under Frequency sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Over Frequency sumber PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN PLN Hilang$ - $198 V \geq V_{in} SN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN PLN \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T PLN \leq 50.5 Hz$	- Hilangnya Fase R pada PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Hilangnya Fase S pada PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN PLN Hilang$ - $198 V \geq V_{in} SN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN PLN \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S PLN \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T PLN \leq 50.5 Hz$	- Hilangnya Fase S pada PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Hilangnya Fase T pada PLN - PLN Gangguan - Genset Normal - Beban disuplai oleh Genset	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset menyala - Relai motor starter Genset menyala - Display "GENSET ON" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Under voltage Sumber PLN - Under voltage Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN Genset \leq 198 V$ - $V_{in} SN Genset \leq 198 V$ - $V_{in} TN Genset \leq 198 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Over voltage Sumber PLN - Over voltage Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN PLN \geq 231 V$ - $V_{in} SN PLN \geq 231 V$ - $V_{in} TN PLN \geq 231 V$	- $49.5 Hz \geq f R Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f S Genset \leq 50.5 Hz$ - $49.5 Hz \geq f T Genset \leq 50.5 Hz$	- Under Frequency Sumber PLN - Under Frequency Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN PLN \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN PLN \leq 231 V$	- $f R PLN \leq 49.5 Hz$ - $f S PLN \leq 49.5 Hz$ - $f T PLN \leq 49.5 Hz$	- Under Frequency Sumber PLN - Under Frequency Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD
- $198 V \geq V_{in} RN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} SN Genset \leq 231 V$ - $198 V \geq V_{in} TN Genset \leq 231 V$	- $f R Genset \leq 49.5 Hz$ - $f S Genset \leq 49.5 Hz$ - $f T Genset \leq 49.5 Hz$	- Over Frequency Sumber PLN - Over Frequency Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD
- $V_{in} RN Genset \geq 231 V$ - $V_{in} SN Genset \geq 231 V$ - $V_{in} TN Genset \geq 231 V$	- $f R Genset \geq 50.5 Hz$ - $f S Genset \geq 50.5 Hz$ - $f T Genset \geq 50.5 Hz$	- Over Frequency Sumber PLN - Over Frequency Sumber Genset - PLN Gangguan - Genset Gangguan - Tidak ada yang mensuplai beban	- Relai R, S, T, dan N PLN mati - Relai R, S, T, dan N Genset mati - Relai motor starter Genset mati - Display "SYSTEM GANGGUAN" dinyalakan pada LCD

4.5 Analisis Perbandingan Prototipe Sistem ATS-AMF dengan Spesifikasi Implementasi Riil

Hasil rancang bangun prototipe sistem ATS-AMF memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- a. Tegangan fase-netral : 231 V
- b. Arus : 30 A
- c. Frekuensi : 50 Hz
- d. Rating arus relai : 10 A

Perhitungan tegangan fase-fase (VLL) pada sistem tiga fase dapat menggunakan rumus:

$$V_{LL} = \sqrt{3} \times V_{LN}$$

Dimana :

V_{LL} = Tegangan Fase ke Fase (*Line to Line*)

V_{LN} = Tegangan Fase ke Netral (*Line to Neutral*)

Tegangan Fase ke Fase dari prototipe diatas adalah :

$$V_{LL} = \sqrt{3} \times 231 V$$

$$V_{LL} = 400,3 V$$

Perhitungan daya listrik tiga fase dapat menggunakan rumus :

$$P = (\sqrt{3} \times V \times I \times \cos \varphi)$$

Dimana :

P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

I = Arus (I)

$\cos \varphi$ = Faktor Daya

Kapasitas dari protipe sistem ATS-AMF tersebut sebagai berikut :

$$P = (\sqrt{3} \times 400,3 V \times 10 A \times 0.85)$$

$$P = 5.893,4 W$$

$$P \approx 5,9 kW$$

Kapasitas Prototipe sistem ATS-AMF adalah 5,9 kW, sementara motor pompa di Unit Produksi Blangsinga memiliki kapasitas 11 kW. Diperlukan penyesuaian pada prototipe agar mampu menggerakkan beban motor pompa.

4.5.1 Perubahan Relai

Pemilihan relai dalam sistem ATS-AMF berbasis mikrokontroler memiliki peran penting, terutama saat menggerakkan beban motor listrik yang membutuhkan arus tinggi saat starting. Relai dengan rating arus yang tinggi sangat dibutuhkan karena pada saat starting, arus yang dibutuhkan bisa mencapai 5 kali lipat atau lebih dari arus

nominal motor. Relai dengan rating yang tepat akan mampu menangani lonjakan arus ini tanpa mengalami kegagalan atau kerusakan.

Perhitungan kebutuhan rating arus pada relai dapat dilakukan dengan menghitung arus nominal pada motor pompa tersebut. Perhitungan arus nominal pada motor listrik tiga fase dapat menggunakan rumus berikut:

$$I_{nominal} = \frac{P}{\sqrt{3} \times V_{nominal} \times \cos \varphi}$$

Dimana :

$I_{nominal}$ = Arus nominal motor (I)

P = Daya (W)

$V_{nominal}$ = Tegangan nominal motor (V)

Diketahui motor pompa pada mitra memiliki daya 11 kW dan tegangan nominal 380 V, maka arus nominal motor pompa tersebut adalah :

$$I_{nominal} = \frac{11.000 W}{\sqrt{3} \times 380 V \times 0,85}$$

$$I_{nominal} = 19,66 A$$

Karena arus starting pada motor listrik adalah lima kali dari arus nominalnya, maka:

$$I_{starting} = 5 \times 19,66 A$$

$$I_{starting} = 98,3 A$$

Maka relai yang dipilih harus memiliki rating arus nominal yang lebih tinggi dari 98,3 A untuk memastikan dapat menangani lonjakan arus saat *starting* motor dengan aman dan efektif. Relai yang dapat digunakan adalah *Solid State Relay* dengan rating arus 100 A.

4.5.2 Perubahan Sensor Arus

Penggunaan sensor arus dengan kemampuan pembacaan yang lebih tinggi sangat penting untuk mengukur lonjakan arus saat starting motor listrik dengan akurasi yang lebih baik. Hal ini memungkinkan sistem merespons perubahan arus dengan tepat, termasuk mengambil langkah-langkah perlindungan yang diperlukan. Dengan mengganti komponen relai dengan menggunakan sensor arus ACS758, prototipe sistem ATS-AMF dapat menggerakkan motor pompa dengan kapasitas hingga 100 A. Prototipe sistem ATS AMF akan memiliki kapasitas untuk menggerakkan motor pompa sebesar:

$$P = (\sqrt{3} \times 400,3 V \times 19,66 A \times 0.85)$$

$$P = 11.586 \text{ W}$$

$$P \approx 11,5 \text{ kW}$$

Prototipe sistem ATS-AMF juga mampu menangani lonjakan arus saat starting motor pompa sebesar 98,3 A. Analisis menunjukkan kapasitas baru ini memadai untuk menggerakkan motor pompa 11 kW di Unit Produksi Blangsinga. Penyesuaian ini diharapkan dapat memberikan solusi yang efisien dan andal bagi mitra dalam memenuhi kebutuhan listriknya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa dari hasil Perancangan dan pengujian unjuk kerja prototipe sistem ATS-AMF berbasis mikrokontroler, dapat disimpulkan :

1. Prototipe sistem ATS-AMF berbasis mikrokontroler telah berhasil dikembangkan dengan kinerja yang memuaskan dalam memantau dan menanggapi kondisi listrik dari PLN dan genset. Sistem mampu beroperasi dalam berbagai skenario uji gangguan, termasuk *under voltage*, *over voltage*, *under frequency*, *over frequency*, dan kehilangan salah satu fase pada PLN atau genset. Kemampuan sistem untuk merespons terhadap gangguan tersebut memungkinkan peralihan otomatis antara PLN dan genset, yang menjaga keberlangsungan pasokan listrik.
2. Prototipe sistem ATS-AMF dapat meningkatkan kapasitas daya dan kemampuan merespons gangguan listrik di Perumda Air Minum Tirta Sanjiwani Unit Produksi Blangsinga dengan menyesuaikan komponen relai dan sensor arus, sehingga memungkinkan pengoperasian pada kondisi riil.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Hadi Susanto, U. Teknologi Yogyakarta Jl Ringroad Utara Jombor Sleman Yogyakarta, and J. Sutopo, "Sistem Automatic Transfer Switch Berbasis Arduino," 2019.
- [2] R. Sudjoko and Hartono, "Rancang Bangun Sistem Proteksi Generator Sinkron 3 Fasa Terhadap Arus

Beban lebih dan Drop Tegangan Berbasis Mikrokontroler Arduino," 2018.

- [3] D. Supriadi, "Kendali Automatic Transfer Switch (ATS)-Automatic Main Failure (AMF) pada 2 Generator Set (Genset) Paralel Berbasis PLC," *Jurnal TEDC*, vol. 13, no. 3, pp. 248–255, 2019.
- [4] F. Ronilaya, "Penilaian Kualitas Daya Sistem Kelistrikan PT Sai-Pasuruan," 2007.
- [5] E. Susanto, "Automatic Transfer Switch (Suatu Tinjauan)," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 5, pp. 18–21, 2013, Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/nju/index.php/jte/article/view/3549>
- [6] D. Ajit, P. Mohsin, and K. Vijaykumar, "Design and Development of Automatic Mains Failure Panel for Diesel Generator," *International Journal of Engineering Research and General Science*, vol. 4, no. 2, pp. 358–464, 2016, [Online]. Available: www.ijergs.org
- [7] F. Tawurisi, G. M. C. Mangindaan, and S. Silimang, "Rancang Bangun Sistem Kendali Automatic Transfer Switch Perusahaan Listrik Negara – Generator Set," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 8, no. 3, pp. 143–152, 2019, Accessed: Jun. 28, 2023. [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/elekdankom/article/view/26651>
- [8] A. Anantama, A. Apriyantina, S. Samsugi, and F. Rossi, "Alat Pantau Jumlah Pemakaian Daya Listrik pada Alat Elektronik Berbasis Arduino Uno," 2020.