

# Perancangan *Prototype Zelio Smart Relay* pada Modifikasi PLTS *On Grid* untuk Kontinuitas Suplai Daya di Kampus II ITN Malang

IRRINE BUDI SULISTIAWATI<sup>1</sup>, WIDODO PUDJI MULYANTO<sup>2</sup>, RIRIN KATARINA MATURBONG<sup>3</sup>, SUGENG PRIYANTO<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup>Teknik Elektro S1 Institut Teknologi Nasional Malang,

<sup>4</sup>Teknik Elektro S2 Institut Teknologi Nasional Malang

Email: [irrine@lecturer.itn.ac.id](mailto:irrine@lecturer.itn.ac.id)

*Received* 24 Agustus 2023 | *Revised* 27 September 2023 | *Accepted* 13 Oktober 2023

## ABSTRAK

*Penggunaan PV (Photovoltaics) sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) banyak digunakan di Indonesia. Mode pengoperasian PLTS dikenal dengan on grid dan off grid dimana PLTS on grid adalah kondisi dimana sistem selalu terhubung dengan jaringan PLN, sedangkan PLTS off grid kondisi dimana sistem mampu beroperasi sendiri ketika jaringan PLN terputus. Penelitian ini melakukan pembuatan prototype dengan cara menambahkan smart relay Zelio sebagai perangkat utamanya, dan dengan menambahkan relay sebagai pengganti Motorized Molded Case Circuit Breaker (MCCB) hasil simulasi membuktikan grid tetap dalam kondisi bertegangan setelah 20 detik dari terputusnya suplai PLN.*

**Kata kunci:** *motorized mccb, plc, pembangkit listrik tenaga surya*

## ABSTRACT

*The use of PV (Photovoltaics) as a Solar Power Plant (PLTS) is widely used in Indonesia. PLTS operating modes are known as on grid and off grid, where PLTS on grid is a condition where the system is always connected to the PLN network, while PLTS off grid is a condition where the system is able to operate itself when the PLN network is disconnected. This research made a prototype by adding a smart relay Zelio as the main device, and by adding a relay as a replacement for the Motorized Molded Case Circuit Breaker (MCCB), the simulation results proved that the grid fulfilled voltage after 20 seconds of the PLN supply disconnected.*

**Keywords:** *motorized mccb, plc, solar power plant*

## 1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan di Indonesia memiliki potensi signifikan dan sangat besar untuk ikut berkontribusi pada pemanfaatan energi ramah lingkungan. Hal ini tidak mengherankan mengingat Indonesia memiliki ukuran negara serta karakteristik geografis yang berlimpah **(Langer, dkk, 2021)**. Selain itu letak Indonesia di sepanjang garis khatulistiwa yang menyediakan radiasi matahari yang melimpah **(Kadang, dkk, 2021)** menjadikan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sebagai energi terbarukan yang potensial. PLTS adalah pembangkit yang memanfaatkan tenaga surya sebagai sumber energi yang kemudian diubah menjadi energi listrik. Secara garis besar, terdapat dua jenis PLTS, yaitu PLTS terinterkoneksi (*On Grid*) dan PLTS terpusat (*Off Grid*). Pembangkit listrik tenaga surya *on-grid* adalah sistem pembangkit listrik tenaga surya yang terhubung dengan jaringan listrik PLN **(Fuaddin dkk, 2021)**. Dalam sistem ini, jaringan listrik PLN berperan sebagai penyalur atau penghubung arus listrik yang berasal dari panel surya yang dialirkan pada beban **(Herwandi, 2021)**. Pada siang hari, penggunaan listrik dapat memanfaatkan energi listrik dari sinar matahari dan pada malam hari karena tidak ada produksi listrik dari solar panel, maka dapat menggunakan arus listrik yang berasal dari PLN **(Nukrah, 2019)**. PLTS *Off-Grid* (Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya *Off-Grid*) adalah sistem pembangkit listrik alternatif untuk daerah terpencil atau pedesaan yang tidak terjangkau oleh jaringan listrik PLN **(Nugroho TS, dkk, 2022)**. PLTS *off grid* tidak terhubung ke jaringan karena mempunyai penyimpanan energi sendiri yaitu baterai. Saat ini pembangkit listrik tenaga surya sedang dikembangkan di Indonesia sebagai bagian dari upaya pemerintah untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan beralih ke sumber energi terbarukan **(Bayu H, dkk, 2021)**. Dapat kita lihat banyak yang menggunakan PLTS baik penggunaan skala kecil untuk pribadi atau penggunaan dalam skala yang besar. Pemerintah telah menetapkan target untuk mencapai 23% penggunaan energi terbarukan pada tahun 2025, dan PLTS merupakan salah satu komponen kunci dalam mencapai tujuan tersebut **(Bayu H, dkk, 2021)**. Pengembangan teknologi panel surya sangat penting untuk mendukung pengembangan PLTS **(Neli Lestari, dkk, 2021)** mengingat PLTS berpotensi menjadi sumber energi berkelanjutan di Indonesia.

Di pulau Jawa tepatnya di kampus ITN Malang memiliki PLTS *on grid* dengan kapasitas 500 *kilowatt peak* (KWp). PLTS di ITN Malang menggunakan sistem *on grid* tanpa baterai yang terhubung ke penyulang PLN Karangploso. PLTS ini tidak hanya dimanfaatkan untuk lingkungan kampus saja, namun juga disalurkan ke PLN dengan bentuk perjanjian kerja sama sistem ekspor-impor **(PT. PLN, 2014)**. Dari sistem yang digunakan ini beberapa keuntungan yang diperoleh dari sistem PLTS tersambung ke grid adalah sebagai berikut: 1) Biaya investasi dan perawatan berkurang karena tidak memerlukan baterai **(Pradeep, dkk, 2015)**, 2) Pada saat daya dari PLTS lebih besar daripada beban, kelebihan daya bisa disalurkan/dijual ke PLN yang akan mengurangi tagihan rekening listrik **(Hernanz dkk, 2010)**, 3) Lebih ramah lingkungan karena mengurangi sampah elektronik yang memerlukan perlakuan khusus dalam pembuangannya karena kurang ramah terhadap lingkungan **(Teknotrek, 2012)**, 4) Pengurangan penambahan jaringan ke konsumen (transmisi dan distribusi) **(Mahmud, dkk, 2012)**. Namun, kelemahan dari PLTS yang terhubung ke grid adalah ketika jaringan listrik dari PLN padam, maka PLTS ikut padam juga. Hal ini karena regulasi atau peraturan dalam keputusan direksi PLN tentang Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi dimana disebutkan bahwa dalam waktu 2 detik sejak jaringan terputus, pembangkit harus sudah diputuskan dari jaringan **(PT. PLN, 2014)**. Tujuan lainnya adalah untuk menghindari adanya gangguan-gangguan yang akan terjadi jika pembangkit tetap terhubung. Dalam kondisi jaringan listrik padam, untuk kegiatan operasional kampus dilakukan dengan menyalakan *emergency genset* berbahan bakar diesel yang

memerlukan 40 hingga 50 liter per jamnya. Tentu saja hal ini memerlukan biaya tersendiri dan menimbulkan dampak energi tidak ramah lingkungan.

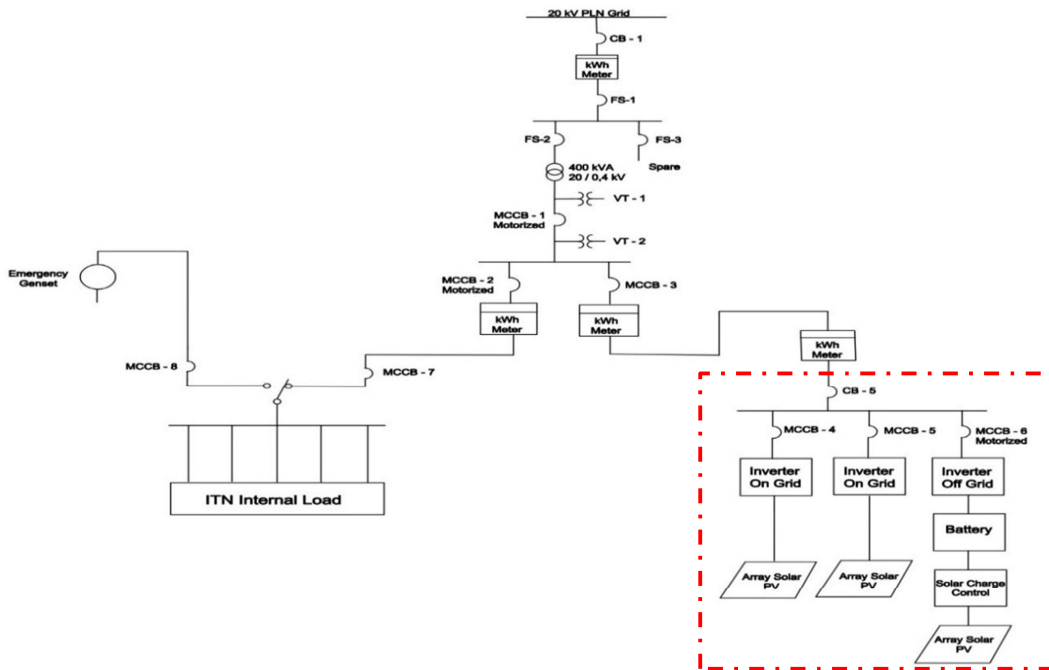
Mengingat kapasitas PLTS yang terpasang di ITN Malang memiliki yang ada cukup besar, maka perlu dilakukan modifikasi pada sistem PLTS *on grid* agar tetap beroperasi saat terjadi pemadaman listrik PLN. Penelitian disini melakukan modifikasi yaitu menggunakan PLTS *off grid* untuk memberikan tegangan referensi ke inverter PLTS *on grid*. Inverter dapat beroperasi jika mendapat tegangan referensi. Oleh karena itu, pada modifikasi ini diperlukan PLTS *off grid* untuk mengganti peran jaringan PLN yang akan memberi tegangan referensi ke PLTS *on grid*. Agar sistem kelistrikan aman dimana tidak ada aliran listrik yang terhubung dengan jaringan PLN ketika PLTS *on grid* digunakan, maka ditambahkan perangkat *Motorized Molded Case Circuit Breaker* (MCCB) yang berfungsi sebagai pengaman atau sistem proteksi ketika terputus dan tersambung dengan jaringan PLN. *Motorized* MCCB adalah jenis pemutus sirkuit yang dapat dioperasikan dari jarak jauh dengan mekanisme motor. Dalam sistem distribusi daya ac, pemutus sirkuit MCCB biasanya digunakan untuk memberikan perlindungan hubung singkat dan kelebihan beban (**Feng, dkk, 2021**). Pengaman ini memiliki kemampuan pemutusan yang dapat diatur sesuai dengan yang diinginkan. Pada perancangan prototype penggunaan *Motorized* MCCB dialihkan dengan menambahkan smart relay sebagai pengontrol relay.

*Programmable Logic Controller* atau dikenal dengan PLC didefinisikan sebagai miniatur komputer industri yang berisi perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan untuk melakukan fungsi kontrol (**PLC Handbook Practical Guide to Programmable Logic Controllers, n.d.**). PLC dapat menerima data melalui inputnya dan mengirim instruksi pengoperasian melalui outputnya. PLC yang digunakan yaitu Zelio SR2B121BD yang dibuat oleh *Schneider Electric*. *Zelio Soft 2* adalah aplikasi perangkat lunak yang digunakan untuk memprogram dan mensimulasikan program kontrol untuk relay dan *Programmable Logic Controllers* (**Michalik, dkk, 2016**). Ini adalah bahasa pemrograman *ladder diagram* yang memungkinkan pengguna untuk membuat dan menyimpan instruksi internal untuk menjalankan fungsi digital seperti menghitung, mengatur waktu, mengurutkan, aritmatika, dan fungsi logika (**Rusli, 2018**). *Zelio Soft 2* digunakan dalam berbagai aplikasi, salah satunya adalah simulasi gerbang logika dimana digunakan untuk membuat model gerbang logika dan mensimulasikan operasinya menggunakan PLC Zelio (**Wibowo, 2015**).

## 2. METODE

### 2.1 Modifikasi PLTS *On Grid* ITN Malang

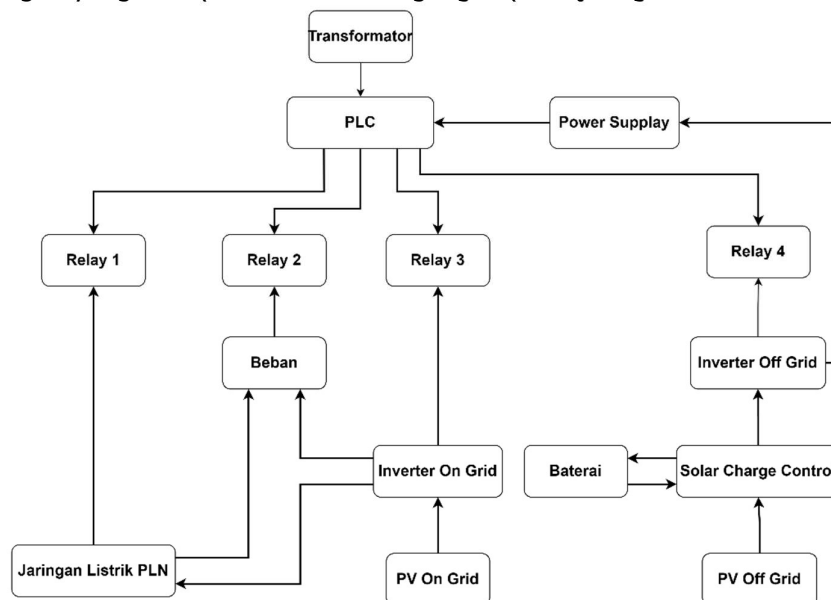
PLTS kampus II ITN Malang di dirikan pada tahun 2020 dengan daya terpasang sebesar 500 kWp. Modifikasi pada jaringan yaitu dengan menghubungkan PLTS *off grid* 4 kWp pada busbar yang tersambung dengan PLTS *on grid* 500 kWp. Penambahan PLTS *off grid* ini bertujuan untuk memberi tegangan referensi pada inverter PLTS *on grid* agar dapat beroperasi. Inverter jaringan hanya membutuhkan tegangan referensi untuk dapat beroperasi dan tidak memerlukan tegangan yang besar sehingga tegangan yang diberikan PLTS *off grid* cukup untuk menghidupkan inverter dari PLTS *on grid*. Agar sistem tetap aman maka ditambahkan sistem proteksi yaitu *Motorized* MCCB dimana MCCB ini dapat bekerja secara otomatis maupun manual dan VT (*Voltage Transformer*) sebagai sensor tegangan pada jaringan distribusi. Jadi, ketika ada tegangan pada jaringan distribusi, PLTS *off grid* tidak beroperasi, namun ketika tidak ada tegangan pada jaringan distribusi, PLTS *off grid* akan terhubung untuk menghidupkan PLTS *on grid*. Desain modifikasi dari sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 1 berikut ini:



**Gambar 1. Modifikasi PLTS On Grid ITN Malang**

## 2.2 Sistem Kontrol

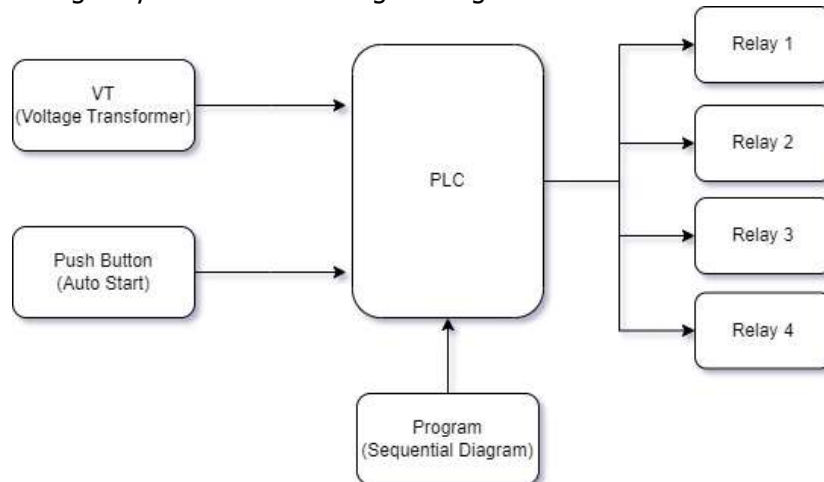
Untuk mengontrol PLTS *on grid* dan PLTS *off grid*, jaringan PLN dan beban digunakan relay sebagai pengganti *Motorized MCCB*, yang akan mengontrol inverter dari PLTS *off grid*, inverter PLTS *on grid*, jaringan dari PLN dan juga beban yang digunakan. Kemudian relay juga dikontrol dari PLC yang sudah diberi program dari *Zelio Soft 2*. PLC memperoleh suplay daya dari PLTS *off grid*. PLC beroperasi dengan mendapat input dari transformator yang difungsikan sebagai sensor tegangan yang mampu mendeteksi tegangan pada jaringan PLN ada atau tidak.



**Gambar 2. Blok Diagram Sistem Kontrol**

### 2.3 PLC

PLC memiliki 2 input yaitu *Voltage Transformator* dan *Push Button*, sedangkan output terdiri dari 4 *Motorized MCCB*. VT berfungsi untuk mendeteksi ada atau tidaknya tegangan dari jaringan PLN, sedangkan *push button* berfungsi sebagai tombol start awal.



**Gambar 3. Blok Diagram PLC**

### 2.4. Perancangan *Prototype* Sistem

Perancangan *prototype* ini membutuhkan PLC, *power supply*, *Motorized MCCB*, tetapi fungsi *Motorized MCCB* digantikan dengan komponen relay untuk mengurangi biaya penelitian.

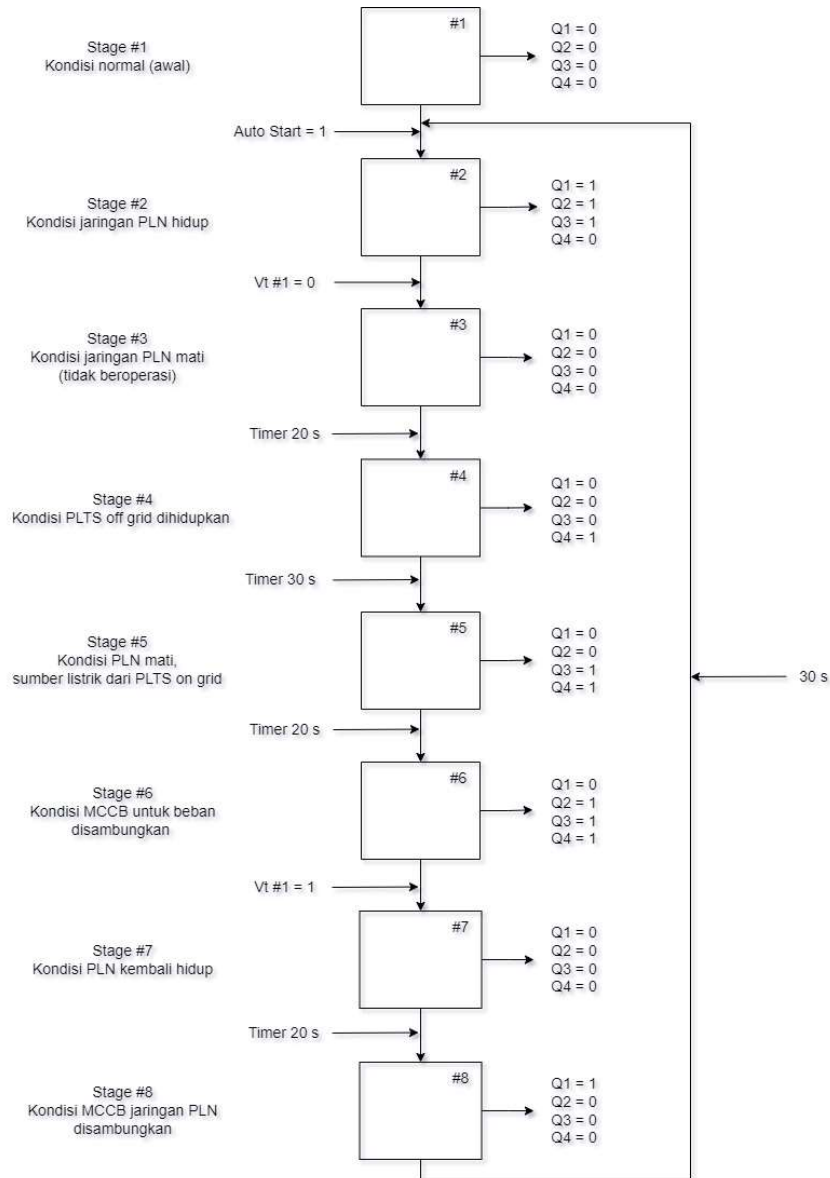
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Sequential Diagram PLC Zelio

Pada sistem produksi, perubahan proses manual ke dalam proses otomatis disebut otomasi sistem produksi. Otomasi sistem produksi umumnya berjalan berurutan (*sequential*) (Budijanto, 2016), hal ini bertujuan untuk mempermudah pengendalian alat. Sedangkan, penggunaan PLC pada kendali *sequential* dapat menjaga proses *sequential* agar berlangsung dalam urutan yang tepat dan cepat karena PLC memiliki unit penyimpanan yang berfungsi untuk mengingat keadaan output sehingga mesin/alat tidak mengalami penumpukan perintah dan mengalami kebingungan. Kendali *sequential* memiliki dua kategori yaitu *sequential* berbasis waktu (*time sequential*) dan *sequential* berbasis kejadian/kondisi (*event sequential*). Berikut adalah *sequential* diagram yang akan digunakan pada PLC dimana ada enam kondisi atau step yang akan dijalankan.

Pada *sequential diagram* terdapat dua input yaitu *push button* dan VT sebagai sensor tegangan serta empat output yaitu Q1 sebagai relay 1, Q2 sebagai relay 2, Q3 sebagai relay 3 dan Q4 sebagai relay 4. Dimana relay 1 untuk memutuskan dan menyambungkan jaringan PLN ke jaringan kampus 2 ITN Malang, relay 2 untuk mengatur beban/*load* dari kampus 2 ITN Malang, relay 3 untuk mengatur inverter PLTS *on grid*, dan relay 4 untuk mengatur inverter PLTS *off grid*. *Sequential* ini memiliki delapan kondisi yang berbeda-beda tetapi berurutan. Setelah *sequential* diagram selesai dibuat, selanjutnya membuat program pada aplikasi Zelio Soft 2. Program

yang dibuat harus sesuai dengan *sequential* diagram. Jika program sudah sesuai dengan sequential diagram, barulah program dapat diupload pada PLC



**Gambar 4. Sequential Diagram**

Keterangan:

1 = On

Q1 = Relay 1 (Jaringan PLN)

Q3 = Relay 3 (PLTS On Grid)

Auto Start = Push button

0 = Off

Q2 = Relay 2 (Beban)

Q4 = Relay 4 ( PLTS Off Grid)

VT = Voltage Transformator (sensor tegangan)

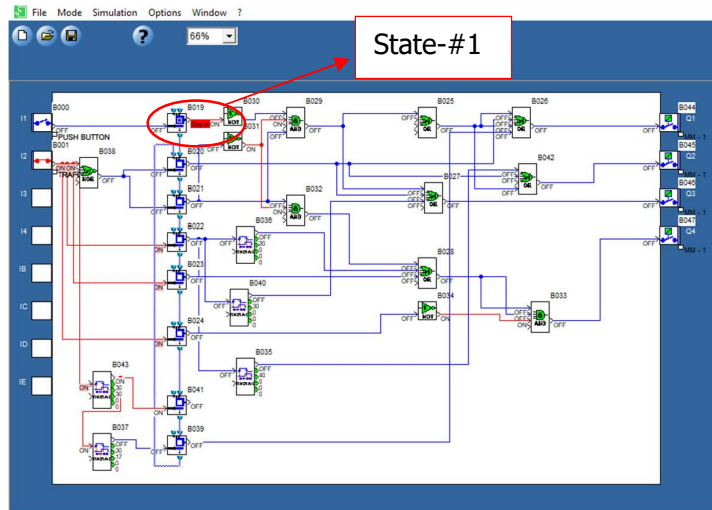
**Tabel 1. Stage - Stage pada *Sequential Diagram***

No	Stage (kondisi)	Keterangan
1	Stage #1, kondisi normal (awal)	Kondisi pertama pada <i>sequential diagram</i> diatas adalah kondisi awal dimana jaringan dari PLN belum terhubung. Pada kondisi ini, semua relay belum beroperasi ( $Q1, Q2, Q3, Q4 = 0$ ) dan akan beroperasi jika sudah terhubung dengan jaringan PLN. Jaringan PLN dihubungkan melalui <i>push button</i> . Ketika <i>push button</i> ditekan ( $auto\ start = 1$ ), maka masuk pada kondisi kedua yaitu kondisi dimana jaringan PLN terhubung.
2	Stage #2, kondisi jaringan PLN terhubung (hidup)	Ketika jaringan PLN sudah terhubung melalui <i>push button</i> , maka akan masuk pada stage #2. Pada kondisi kedua ini, relay 1, relay 2, dan relay 3 akan diaktifkan ( $Q1, Q2, Q3 = 1$ ). Sedangkan relay 4 tetap dinonaktifkan atau belum beroperasi ( $Q4 = 0$ ).
3	Stage #3, kondisi jaringan PLN terputus (mati)	Kemudian pada kondisi ketika ketika sensor tegangan mendeteksi tidak adanya tegangan dari jaringan PLN ( $VT = 0$ ) yang berarti jaringan PLN terputus, maka semua relay akan dimatikan terlebih dahulu ( $Q1, Q2, Q3 = 0$ ).
4	Stage #4, kondisi PLTS <i>off grid</i> dihubungkan	Setelah itu masuk pada kondisi keempat, yaitu mengaktifkan inverter PLTS <i>off grid</i> agar PLTS <i>on grid</i> dan beban dapat beroperasi. Pada kondisi ini diberi <i>timer</i> 20s untuk mengaktifkan relay 4 ( $Q4 = 1$ ). Sedangkan relay 1, relay 2, dan relay 3 tetap dinonaktifkan ( $Q1, Q2, Q3 = 0$ ).
5	Stage #5, kondisi sumber listrik dari PLTS <i>on grid</i>	Kemudian pada kondisi kelima, diberi <i>timer</i> 30s untuk mengaktifkan inverter PLTS <i>on grid</i> . Pada kondisi ini relay 3 akan diaktifkan ( $Q3 = 1$ ). Diberi <i>timer</i> 30s bertujuan agar PLTS <i>on grid</i> dapat disinkronisasi terlebih dahulu sebelum digunakan sebagai sumber listrik untuk beban. Pada stage ini, relay 1 dan relay 2 tidak beroperasi ( $Q1, Q2 = 0$ ), sedangkan relay 3 dan relay 4 beroperasi ( $Q3, Q4 = 1$ ).
6	Stage #6, kondisi beban beroperasi dengan sumber listrik dari PLTS <i>on grid</i>	Lalu pada kondisi keenam, relay 2 ( $Q2 = 1$ ) dapat diaktifkan dengan diberi <i>timer</i> 20s. Pada kondisi ini, jaringan PLN terputus tetapi beban tetap dapat beroperasi dengan menggunakan daya dari PLTS <i>on grid</i> , sedangkan PLTS <i>on grid</i> mendapat referensi tegangan dari PLTS <i>off grid</i> .
7	Stage #7, kondisi jaringan PLN diketahui kembali beroperasi (terhubung)	Kemudian, stage #7 ketika sensor tegangan mendeteksi kembali adanya tegangan dari jaringan PLN ( $VT = 1$ ) maka semua relay akan dimatikan ( $Q1, Q2, Q3, Q4 = 0$ ).
8	Stage #8, kondisi jaringan PLN terhubung dengan jaringan kampus	Selanjutnya, pada stage #8 diberi <i>timer</i> 20s untuk mengaktifkan relay 1 ( $Q1 = 1$ ), sedangkan relay 2, relay 3 dan relay 4 tetap dimatikan ( $Q2, Q3, Q4 = 0$ ). Dimana pada kondisi ini jaringan PLN dapat masuk ke jaringan kampus 2 ITN Malang dan tidak lagi menggunakan PLTS <i>off grid</i> .
9	Kembali ke stage #2, kondisi jaringan PLN terhubung	Setelah itu kemudian kembali ke kondisi kedua dimana relay 2 dan 3 diaktifkan ( $Q2$ dan $Q3 = 1$ ) tetapi dengan diberi <i>timer</i> 30s. Pada kondisi ini beban akan beroperasi dengan menggunakan daya dari jaringan PLN.

### 3.2 Hasil Simulasi Zelio

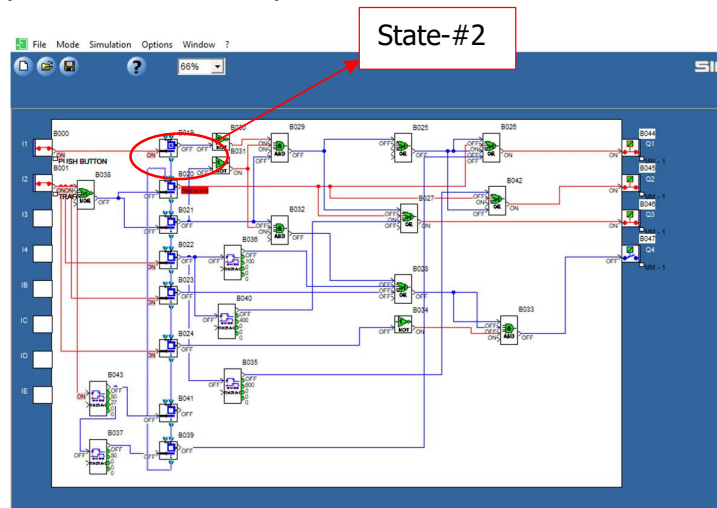
Langkah berikutnya adalah membuat skema *sequential diagram*, pada aplikasi *Zelio Soft 2* agar dan langsung di upload ke PLC Zelio. Simulasi menggunakan dua input yaitu *push button* dan sensor tegangan (VT) serta output yaitu empat relay ( $Q1, Q2, Q3, Q4$ ). Program menggunakan *timer* dan gerbang logika agar ketika di running, hasilnya dapat sesuai dengan *sequential diagram* yang telah dibuat.

Pada step 1 yang ditunjukkan pada Gambar 6, merupakan kondisi awal sebelum memulai simulasi dimana semua komponen belum bekerja tetapi tegangan sudah ada.



**Gambar 6. Simulasi Zelio Step 1**

Kemudian pada step 2 ditunjukkan pada Gambar 7, dengan adanya tegangan, *push button* dinyalakan. Ini kondisi ketika tersambung jaringan dari PLN. Dapat dilihat, ketika *push button* dinyalakan, relay 1,2,3 aktif. Ini menyatakan bahwa relay yang bekerja adalah relay untuk jaringan PLN, relay beban ITN, dan relay untuk PLTS *On Grid*.

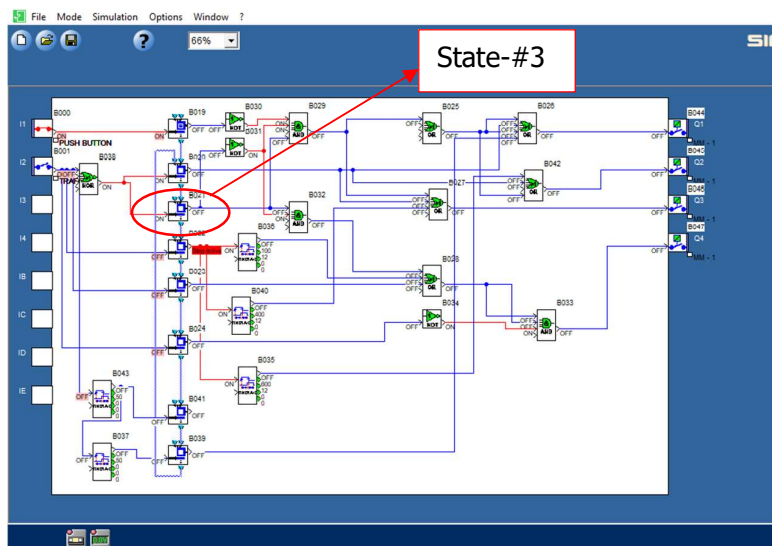


**Gambar 7. Simulasi Zelio Step 2**

Pada Gambar 8 menunjukkan step 3, simulasi ketika jaringan PLN terputus dengan tidak adanya tegangan (*tegangan off*) pada input. Dapat dilihat ketika tegangan *off*, relay yang sebelumnya aktif akan terputus. Pada kondisi tidak terhubung dengan jaringan PLN, beban dan PLTS *on grid* tidak mendapatkan suplai tegangan sehingga tidak dapat beroperasi.

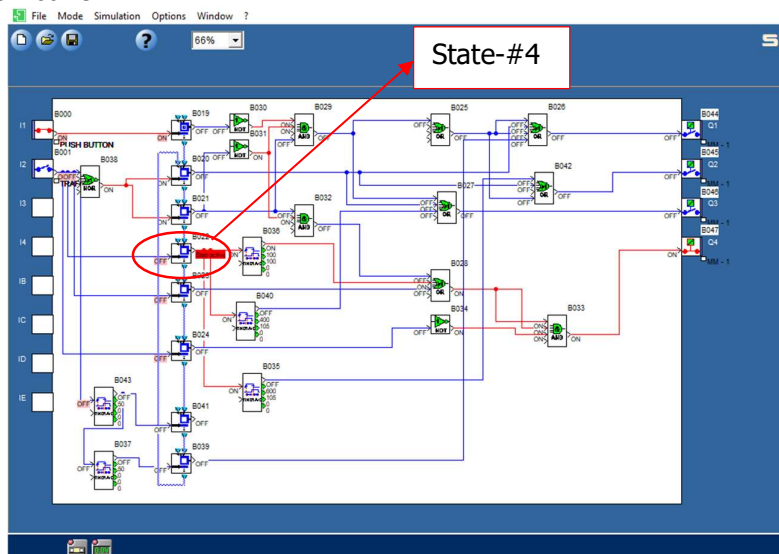


Perancangan *Prototype Zelio Smart Relay* pada Modifikasi PLTS *On Grid* untuk Kontinuitas Suplai Daya di Kampus II ITN Malang



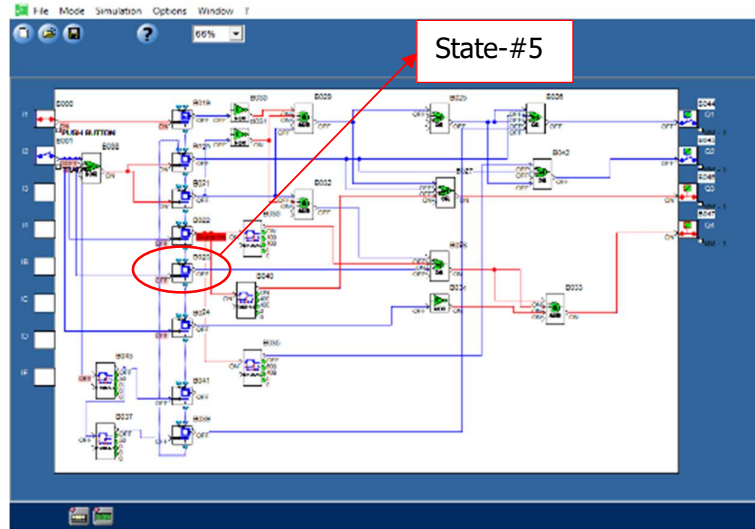
Gambar 8. Simulasi Zelio Step 3

Agar beban ITN dan PLTS *on grid* dapat beroperasi, PLTS *off grid* harus terhubung dengan mengaktifkan relay 4. Untuk mengaktifkan relay 4 saat jaringan PLN terputus, diberi *timer* 20 detik. Setelah 20 detik, relay 4 akan aktif yang berarti PLTS *off grid* sudah terhubung, dapat dilihat pada Gambar 9.



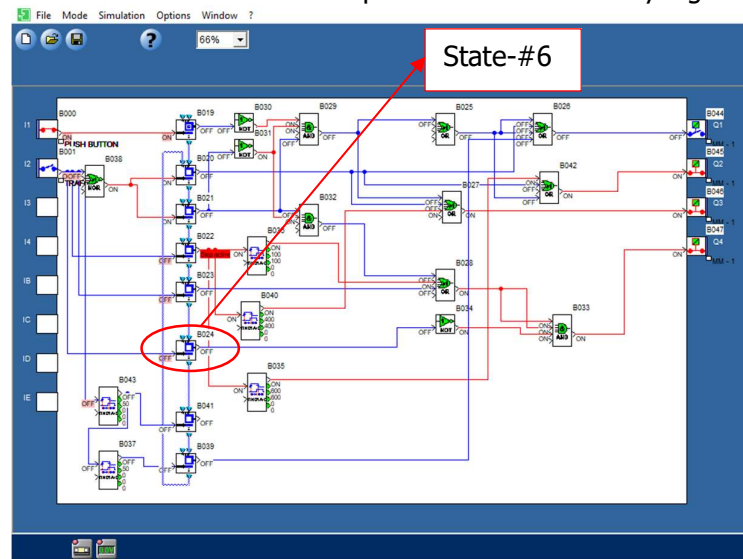
Gambar 9. Simulasi Zelio Step 4

Kemudian pada step 5 atau gambar 10, diberi *timer* 30 detik untuk mengaktifkan relay 3. Ketika relay 3 sudah aktif, PLTS *on grid* dapat beroperasi untuk menyuplai tegangan kepada beban ITN agar dapat beroperasi kembali tanpa terhubung dengan jaringan PLN.



**Gambar 10. Simulasi Zelio Step 5**

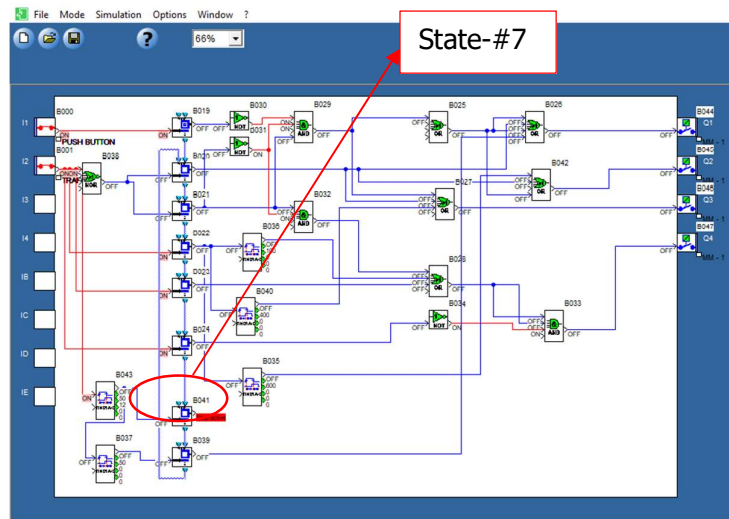
Gambar 11 merupakan step 6, diberi *timer* 20 detik untuk dapat mengaktifkan relay 2. Ketika relay 2 sudah aktif, beban ITN sudah dapat beroperasi dengan mendapatkan daya dari PLTS *on grid*. Pada kondisi ini, perangkat elektronik ITN Malang sudah dapat beroperasi tanpa harus menunggu jaringan PLN terhubung kembali. Pemberian *timer* pada *step-step* berfungsi untuk mensinkronisasi alat terlebih dahulu sebelum dapat di teruskan ke alat yang lain.



**Gambar 11. Simulasi Zelio Step 6**

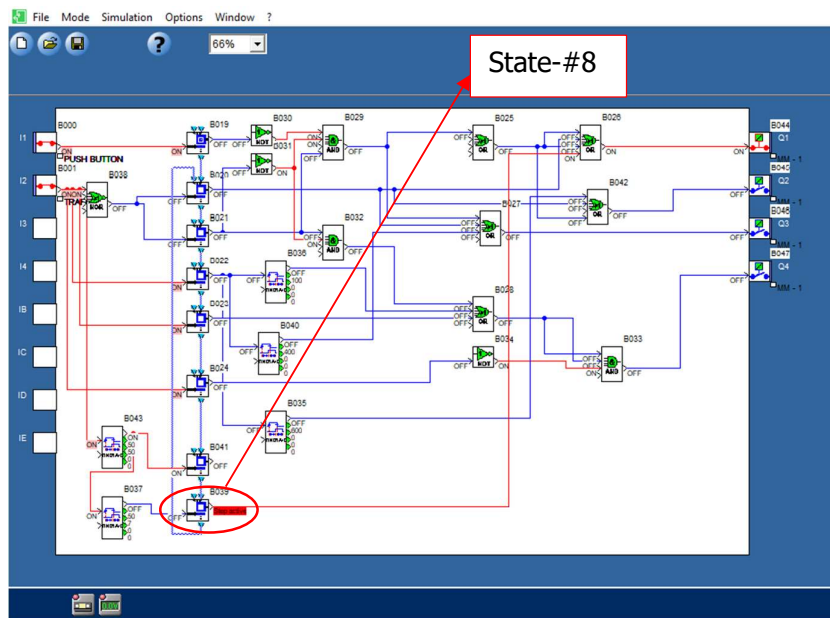
Pada step 7, jaringan PLN sudah kembali terhubung dengan mengaktifkan sensor tegangan pada input. Pada kondisi ini, semua relay akan dimatikan terlebih dahulu sebelum jaringan dari PLN terhubung ke beban dan PLN on grid. Ini ditunjukkan pada Gambar 12.

Perancangan *Prototype Zelio Smart Relay* pada Modifikasi PLTS *On Grid* untuk Kontinuitas Suplai Daya di Kampus II ITN Malang



**Gambar 12. Simulasi Zelio Step 7**

Sebelum jaringan PLN terhubung, akan diaktifkan relay 1 dengan diberi *timer* 20 detik. Setelah 20 detik, relay 1 akan aktif dan jaringan PLN akan terhubung.



**Gambar 13. Simulasi Zelio Step 8**

Setelah jaringan PLN terhubung, relay 2 dan 3 sudah dapat diaktifkan dengan diberi *timer* 30 detik untuk sinkronisasi. Pada kondisi ini, beban ITN dan PLTS on grid dapat digunakan dengan sumber tegangan dari jaringan PLN. Step ini kembali ke step 2 dimana relay 1,2,3 aktif. Simulasi zelio step ini ditunjukkan pada Gambar 13. Sedangkan hasil simulasi dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 2. Hasil Simulasi**

No	Step	Input		Output			
		Push Button	Sensor Tegangan	Q1	Q2	Q3	Q4
1	1	Off	On	Off	Off	Off	Off
2	2	On	On	On	On	On	Off
3	3	On	Off	Off	Off	Off	Off
4	4	On	Off ( <i>timer 20s</i> )	Off	Off	Off	On
5	5	On	On ( <i>timer 30s</i> )	Off	Off	On	On
6	6	On	On <i>Timer 20s</i> )	Off	On	On	On
7	7	On	On	Off	Off	Off	Off
8	8	On	On ( <i>Timer 20s</i> )	On	Off	Off	Off
9	Ke step 2	On	On ( <i>Timer 10s</i> )	On	On	On	Off

Keterangan:

Q1 = Relay 1 (Jaringan PLN)

Q2 = Relay 2 (Beban)

Q3 = Relay 3 (PLTS *On Grid*)

Q4 = Relay 4 ( PLTS *Off Grid*)

### 3.2. Hasil Penelitian

Prototype modifikasi PLTS *On Grid* dengan menambahkan PLTS *Off Grid* yang ditunjukkan pada Gambar 14, dapat diimplementasikan menggunakan program dari sequential diagram PLC Zelio. Modifikasi ini terdiri dari 2 panel surya *on grid*, 1 panel surya *off grid*, inverter *on grid*, inverter *off grid*, solar charge controller, baterai, power supply, PLC Zelio SR2B121BD, relay, transformator, *step up module*, kapasitor, resistor, diode bridge dan lampu. Pada *prototype* ini, inverter dari PLTS *off grid* harus selalu diaktifkan agar dapat mengaktifkan *power supply*. *Power supply* yang digunakan tidak boleh mati karena *power supply* akan mengaktifkan PLC dimana PLC harus mengatur relay, oleh karena itu PLC juga harus selalu aktif. Inverter *off grid* hanya digunakan pada saat jaringan PLN terputus. Agar aliran listrik dari inverter *off grid* tidak masuk pada jaringan PLN maka inverter akan dikontrol melalui relay. Relay akan memutuskan dan menyambung aliran listrik dari inverter *off grid* sesuai perintah program PLC. Relay yang digunakan ada dua jenis yaitu relay AC dan relay DC dimana untuk mengetahui relay AC beroperasi atau tidak yaitu pada indikator berupa LED yang menyala atau mati. Kemudian untuk mengetahui relay DC beroperasi atau tidak hanya dengan mendengarkan suara pada relay tersebut. Untuk mengetahui inverter *on grid* dan beban beroperasi atau tidak yaitu dengan melihat indikator pada inverter *on grid* dan melihat nyala dari lampu yang digunakan.

Sedangkan untuk memicu adanya jaringan listrik dari PLN atau tidak dengan menggunakan saklar sebagai sensor tegangan yang menjadi input pada PLC.

**Tabel 3. Hasil Pengukuran**

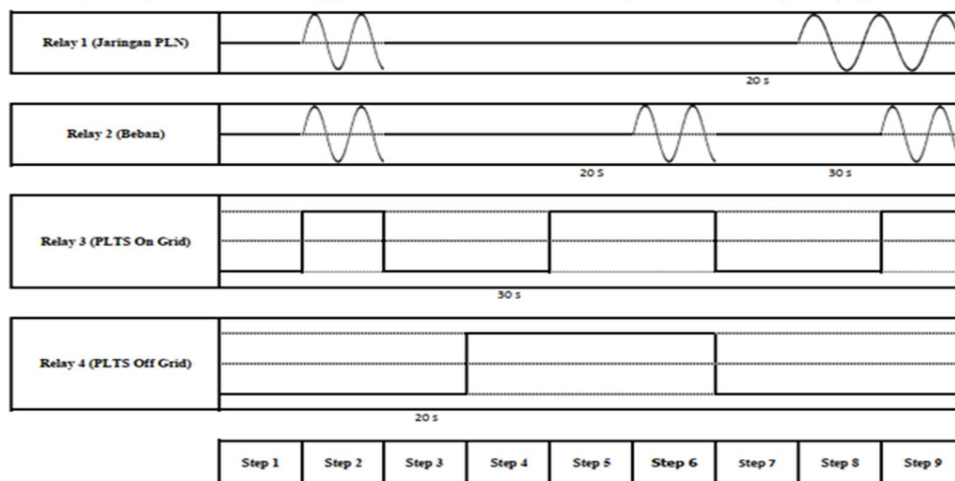
Alat	Masukan			Keluaran		
	Tegangan	Daya	Arus	Tegangan	Daya	Arus
Inverter <i>Off Grid</i>	211 VAC	1000 W	0,17 A	220 VAC	1000 W	0,17 A
Inverter <i>On Grid</i>	220 VAC	600 W	0,17 A	230 VAC	600 W	0,17 A
PLC	24 VDC	-	0,11 A	24 VDC	-	0,11 A
Lampu	-	5 W	0.06 A	-	5 W	0.06 A



**Gambar 14. Hasil *Prototype* Perancangan Sistem**

Tabel 3 adalah hasil pengukuran pada *prototype* perancangan sistem yang menunjukkan bahwa pada saat jaringan dari PLN mati, *on grid* mampu menyuplai ke beban sehingga beban tetap dapat terlayani. Untuk melihat kinerja dari relay yang digunakan dapat dilihat pada gambar 15. Pada *prototype*, relay 1 dan relay 2 menggunakan relay AC sehingga menampilkan gelombang sinus, sedangkan relay 3 dan 4 menggunakan relay DC sehingga menampilkan gelombang kotak. Dari grafik dibawah dapat diketahui bahwa pada step ke 2 relay 1, relay 2 dan relay 3 beroperasi. Pada step 2 ini sumber daya berasal dari jaringan PLN sehingga beban dan PLTS *on grid* dapat beroperasi. Kemudian ketika jaringan PLN terputus pada step 3 maka akan diberi waktu 30 detik untuk menghubungkan PLTS *off grid*. Setelah PLTS *on grid* sudah terhubung, diberi waktu lagi 20 detik untuk menghubungkan PLTS *on grid*. Lalu ketika PLTS *on grid* sudah sinkron selama 20 detik, relay beban dapat beroperasi agar sumber daya beban diperoleh dari PLTS *on grid* dan PLTS *on grid* mendapat tegangan referensi dari PLTS *off grid*. Kondisi ini akan terus beroperasi hingga jaringan PLN kembali terhubung. Ketika jaringan sudah kembali terhubung pada step 7 maka relay 2, relay 3 dan relay 4 akan diputus barulah dapat relay 1 dapat disambungkan untuk menggunakan daya dari jaringan PLN. Pada saat jaringan PLN sudah terhubung, relay 2 dan relay 3 dapat disambungkan tetapi relay 4 diputus.

Dalam penelitian ini, PLC berhasil diberi program dan alat dapat beroperasi sesuai dengan program yang telah dibuat pada aplikasi zelio. Inverter *off grid*, *on grid* dan beban juga dapat tersinkronasi dengan baik. Dari hasil uji coba ini, beban/*load* dapat terus beroperasi ketika terputus dari jaringan PLN sehingga tidak memerlukan daya dari *emergency genset*.



**Gambar 15. Grafik Relay**

#### 4. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa perancangan *prototype* dapat beroperasi sesuai dengan program *sequential* diagram yang dibuat pada aplikasi *Zelio Soft 2*. PLTS *on grid* akan bekerja dalam mode *off grid* setelah 20 detik sesuai *time setting* dari relay untuk mengantisipasi gangguan PLN yang terjadi sementara atau tidak. Berdasarkan hasil uji coba *prototype* kontinuitas suplai daya dari PLTS *off grid* berhasil selama grid tetap dalam kondisi bertengangan dengan mengambil suplai daya dari baterai inverter untuk tegangan referensi. Penggunaan PLTS *off grid* dapat dimaksimalkan sehingga pada saat jaringan PLN terputus, penggunaan *emergency genset* dapat dihindari.

#### DAFTAR RUJUKAN

- Bayu H, dkk. (2021). Tinjauan Kebijakan dan Regulasi Pengembangan PLTS di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(3), 123–132. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.10043>
- Budijanto, A. (2016). Penerapan Finite State Machine Untuk Merancang Pengendali Motor Stepper Menggunakan Vhdl. *e-NARODROID*, 2(2). <https://doi.org/10.31090/narodroid.v2i2.209>
- Feng, dkk. (2021). Molded Case Electronically Assisted Circuit Breaker for DC Power Distribution Systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(6), 6586–6595. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3037477>
- Fuaddin dkk. (2021). Rancangan Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya On-Grid Kapasitas 20 kWp untuk Residensial. *Jurnal Teknik Energi*, 10(1), 53–57. <https://doi.org/10.35313/energi.v10i1.2329>
- Hernanz dkk, J. A. (2010). Modelling of Photovoltaic Module. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, 1(08), 1186–1190. <https://doi.org/10.24084/repqj08.619>
- Herwandi, H. (2021). Implementasi grid tie inverter pada pembangkit listrik tenaga surya on grid untuk golongan pelanggan rumah tangga masyarakat perkotaan. *JURNAL ELTEK*, 19(1), 108. <https://doi.org/10.33795/eltek.v19i1.292>
- Kadang, dkk. (2021). Optimasi Sosial-Ekonomi pada Pemanfaatan PLTS PV untuk Energi Berkelanjutan di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 2(2), 74–83. <https://doi.org/10.14710/jebt.2021.11113>
- Langer, dkk. (2021). Review of Renewable Energy Potentials in Indonesia and Their Contribution to a 100% Renewable Electricity System. *Energies*, 14(21), 7033. <https://doi.org/10.3390/en14217033>
- Mahmud, dkk. (2012). Dynamic Stability of Three-Phase Grid-Connected Photovoltaic System Using Zero Dynamic Design Approach. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2(4), 564–571. <https://doi.org/10.1109/JPHOTOV.2012.2195551>

- Michalik, dkk. (2016). Using Software Zelio Soft in Educational Process to Simulation Control Programs for Intelligent Relays. *Technological Engineering*, 13(1), 28–30. <https://doi.org/10.2478/teen-2016-0009>
- Neli Lestari, dkk. (2021). Review status panel surya di indonesia menuju realisasi kapasitas plts nasional 6500 mw. *Jurnal Spektrum*, 8(1), 27. <https://doi.org/10.24843/SPEKTRUM.2021.v08.i01.p4>
- Nugroho TS, dkk. (2022). Perancangan sistem plts off-grid kapasitas 100 wp sebagai sumber energi alternatif charging 220 v di daerah terdampak bencana semeru. *Prosiding Snast*, A35-43. <https://doi.org/10.34151/prosidingsnast.v8i1.4102>
- Nukrah, N. (2019). *ANALISIS UNJUK KERJA PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA ON GRID 1 KWP; STUDI KASUS DI SMKN 3 MATARAM* [Universitas Mataram]. <http://eprints.unram.ac.id/id/eprint/12515>
- PLC Handbook Practical Guide to Programmable Logic Controllers*. (n.d.).
- Pradeep, dkk. (2015). *Design and Implementation of Maximum Power Point Tracking in Photovoltaic Systems*.
- PT. PLN. (2014). *Pedoman Penyambungan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan ke Sistem Distribusi PLN*. PT. PLN.
- Rusli, R. (2018). Perancangan Sistem Otomatisasi Pengolahan Air Mineral Berbasis Zelio Soft 2. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe, 02*.
- Teknotrek. (2012). *Konsep "Net Metering" Jual-Beli Listrik Sel Surya Rumahan Dengan PLN*. <http://teknotrek.blogspot.com/2012/07/konsepnet-metering-jual-beli-listrik.html>
- Wibowo, A. (2015). *Simulasi Gerbang Logika Menggunakan Program Zelio Soft 4.5 pada Aplikasi Alat Peraga Mekatronika* [Thesis (Undergraduate), Universitas Muhammadiyah Jember]. <http://repository.unmuhjember.ac.id/id/eprint/2243>