

SIMULASI DAN MONITORING KOORDINASI *RECLOSER* DAN SSO PADA JARINGAN DISTRIBUSI 20 KV PT. PLN (PERSERO) AREA SEMARANG PENYULANG KALISARI 07 BERBASIS ARDUINO MEGA 2560 DAN VT SCADA 11.2

Hanif Zuraida, Heru Winarno

Program Studi D-III Teknik Elektro, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

ABSTRACT

Hanif Zuraida, Heru Winarno, in this article describes the simulation of protection equipment coordination systems, especially in the recloser and sectionalizer areas. Coordination between protective equipment to improve the network reliability system so that in the event of a disturbance, the area affected by the disturbance does not spread widely. The simulation tool is made using OMRON LY2N 12V relay, ULN2803 relay driver circuit, ZMCT103C current sensor, voltage divider voltage sensor, pull down, 12V 6W lamp as a load and several resistors with different resistivity values as interference. Arduino Mega 2560 is used as the central controller for the entire circuit. After the experiment, the results obtained are when the normal network current at the recloser is 0.86 A and the current at the LBS SSO1 is 0.43. The recloser and LBS SSO1 coordination lies in zone 2 and 3 disturbances. When simulated zone 2 interference, the recloser current rises to 1.28 A, causing reclose / trip to lock out recloser. When the recloser feels a fault current in zone 3 of 1.06 A and LBS SSO1 senses a current of 0.64 A. The recloser as protective equipment will open first within 1000 ms after sensing the disturbance. When the recloser opens, the voltage on the SSO will be 0 volts and the SSO will open within 1000 ms after the current and disturbance requirements are met. Then the recloser will close again after 2000 ms from the open condition.

Keywords: coordination of recloser and LBS SSO; ZMCT103C sensor; Arduino Mega 2560

PENDAHULUAN

Dalam penyaluran energi listrik ke pelanggan khususnya di Indonesia yang memiliki wilayah yang luas dan berbeda letak geografisnya membuat tantangan yang lebih besar lagi untuk pengoptimalan pendistribusian tenaga listrik karena beresiko tinggi terkena gangguan seperti gangguan yang diakibatkan pepohonan dan binatang. Oleh karena itu PT. PLN (Persero) harus memiliki sistem proteksi tenaga listrik untuk menunjang kontinuitas dan meminimalisir daerah padam. Selain itu, sistem proteksi juga dipakai untuk melindungi peralatan dan wilayah yang penting, sehingga peralatan dan wilayah tersebut dapat terjaga dari gangguan.

Peralatan proteksi pada proses pendistribusian tenaga listrik diantaranya Pemutus Balik Otomatis (PBO) atau *recloser*, Saklar Seksi Otomatis (SSO) atau *sectionalizer*, *Fuse Cute Off (FCO)* dan *relay* proteksi. Peralatan proteksi tersebut harus tercipta koordinasi antar peralatan proteksi untuk meningkatkan sistem keandalan jaringan agar pada saat terjadi gangguan, wilayah yang terkena gangguan tersebut tidak menyebar luas.

Dalam mencapai keandalan sistem distribusi tenaga listrik dibutuhkan sistem proteksi pada sistem distribusi tenaga listrik yang baik sehingga tidak menyebabkan pemadaman meluas pada seluruh sistem. Terdapat beberapa syarat yang harus dipenuhi di dalam sistem proteksi, diantaranya [6]:

1. Kepekaan
2. Keandalan
3. Selektifitas
4. Kecepatan.

Untuk memperoleh tingkat selektifitas yang tinggi dimana hanya bagian sistem yang terganggu saja yang diisolasi (mengalami pemutusan), maka pada sistem proteksi dibentuk daerah-daerah proteksi yang dinamakan zona proteksi. Zona-zona proteksi ini biasanya dibatasi dengan PMT (CB) yang dapat memutuskan dan menghubungkan antar zona proteksi yang mengalami gangguan jika menerima instruksi dari relai [1].

Pada PT. PLN (Persero) kontrol dan otomasi yang sering digunakan pada saat ini adalah penggunaan SCADA. SCADA merupakan suatu bentuk otomasi peralatan yang banyak digunakan perusahaan industry karena SCADA memiliki fungsi *monitoring* dan *controlling* peralatan dengan jarak jauh[2].

Peran Saklar Seksi Otomatis dan Saklar Pembalik Otomatis sangatlah penting dalam sistem proteksi pendistribusian tenaga listrik. Maka dari itu dibutuhkan suatu koordinasi antar kedua peralatan tersebut seperti yang terdapat pada penyulang Kalisari 07. Dimana *recloser* bekerja jika merasakan arus gangguan dan menutup kembali sesuai waktu setting SSO dan *recloser*. Sedangkan SSO akan bekerja ketika SSO merasakan arus gangguan dan hilang tegangan.

Koordinasi yang terjadi antara SSO dan *recloser* yaitu ketika gangguan berada di wilayah kerja SSO, maka *recloser* akan *open* dan SSO juga akan *open*. Kemudian *recloser* akan *close* kembali, namun SSO masih akan tetap dalam posisi *open* dan akan *close* kembali setelah gangguan hilang atau sudah diamankan. Dalam menyimulasikan gangguan untuk menampilkan koordinasi peralatan proteksi, digunakan sebuah tahanan sebagai gangguan untuk

menaikkan arus melebihi arus setting normal yang telah ditetapkan. Tujuan penelitian ini menasar pada pengujian sebuah sistem monitoring untuk jaringan distribusi 20KV berbasis arduino dan VT SCADA, sehingga dihasilkan sebuah prototipe yang teruji secara fungsionalitas.

METODE PENELITIAN

Sistem proteksi yang ada pada jaringan distribusi 20 KV digunakan sebagai pengaman terhadap peralatan listrik yang terpasang pada jaringan serta menjaga listrik dari kondisi abnormal sehingga listrik terus mengalir ke konsumen [7]. Kondisi abnormal yang dimaksud yaitu berupa hubung singkat (*short circuit*), jenis gangguan ini menyebabkan lonjakan arus yang disebut arus hubung singkat yang melalui sistem dan peralatannya. Bentuk gangguan arus hubung singkat tersebut berasal dari gangguan fasa ke tanah dan gangguan antar fasa yang sifatnya bisa temporer ataupun permanen. Oleh karena itulah, koordinasi antar peralatan perlu dilakukan untuk meningkatkan sistem keandalan jaringan agar pada saat terjadi gangguan, wilayah yang terkena dampak gangguan tidak terjadi *mal trip* atau *black out*.

Koordinasi antara recloser dengan sectionalizer bekerja berdasarkan arus gangguan untuk wilayah recloser (zona 2), sedangkan pada wilayah sectionalizer (zona 3) koordinasi dilakukan berdasar arus gangguan dan hilang tegangan.

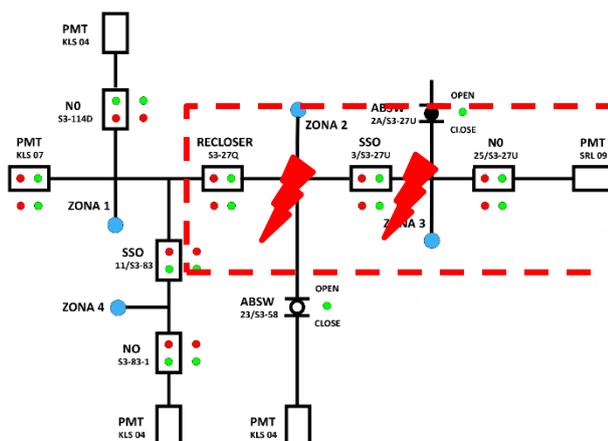
Pada koordinasi recloser dengan sectionalizer di wilayah zona 2 dilakukan dengan arus setting ($I_{setting}$) pada recloser yang dibuat lebih besar dari pada arus beban pada titik recloser, dan arus setting ini harus lebih kecil dari arus total.

Menurut perhitungan pada beban, dapat dimisalkan pada alat simulasi recloser memiliki beban 1 Ampere dan memiliki arus gangguan sebesar 0,6 Ampere, sehingga arus totalnya adalah 1,6 Ampere. Dari data tersebut maka arus *setting recloser* pada zona 2 harus lebih dari 1 Ampere dan dibawah 1,6 Ampere ($1 \text{ Ampere} < I_{setting} < 1,6 \text{ Ampere}$)

Begitu pula pada koordinasi recloser dengan sectionalizer di wilayah zona 3 yang dilakukan berdasarkan pada arus beban di wilayah setelah sectionalizer sebesar 0,5 A, sedangkan arus gangguannya sebesar 0,25 sehingga arus totalnya menjadi 0,75 A. Maka dari itu, pada wilayah zona 3 arus setting sectionalizer harus lebih dari 0,5 A dan di bawah 0,75 Ampere ($0,5 \text{ Ampere} < I_{setting} < 0,75 \text{ Ampere}$).

Pada wilayah zona 3 atau wilayah setelah sectionalizer masih termasuk wilayah kerja recloser, maka besar arus setting recloser merupakan jumlah dari beban recloser dalam keadaan normal dengan arus gangguan sectionalizer (1 Ampere + 0,25 Ampere) sama dengan 1,25 Ampere. Arus setting recloser diambil 1,1 Ampere dan setting sectionalizer diambil 0,6 Ampere. Recloser di setting trip to lock out sebanyak 3 kali.

Gambar daerah simulasi koordinasi recloser dan sectionalizer pada single line Kalisari 7 ditunjukkan pada gambar 3.1.



Keterangan:

- Beban Recloser : 1 Ampere
- Beban SSO : 0,5 Ampere
- Gangguan 2 : 0,6 Ampere
- Gangguan 3 : 0,25 Ampere
- I setting Recloser : 1,1 Ampere
- I setting SSO : 0,6 Ampere

Gambar 1 Daerah Simulasi Koordinasi Recloser dan Sectionalizer

Apabila terjadi gangguan zona 2 sehingga arus recloser melebihi settingnya dan gangguan tersebut permanen maka recloser akan *trip-reclose* sebanyak 2 kali dan *lockout* maka beban *recloser* dan SSO tidak teraliri arus listrik. Apabila gangguan tersebut hilang sebelum *recloser reclose* untuk yang kedua, maka gangguan tersebut gangguan temporer.

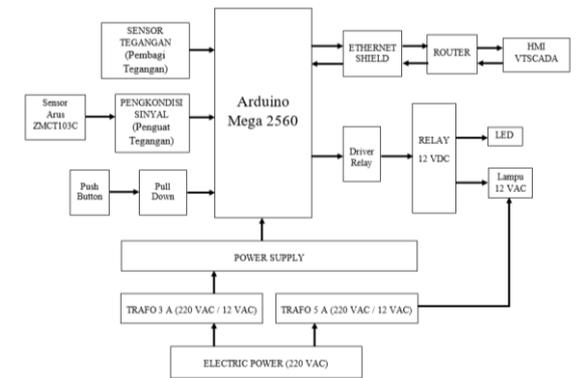
Apabila terjadi gangguan zona 3, SSO bekerja dengan membaca arus gangguan untuk *count to open* (hitungan untuk membuka) pada proteksi hulunya dan sensor tegangan tidak merasakan tegangan mengalir. Sehingga *recloser* akan *open* terlebih dahulu. Kemudian karena SSO difungsikan VIT (merasakan arus gangguan dan hilang tegangan) maka SSO berubah menjadi kondisi *open*. Ketika *relay recloser* mengalami trip, *recloser* akan kembali *close* dan beban di wilayah *recloser* kembali menyala.

Pada penelitian ini, penulis akan membuat simulasi koordinasi dengan sebuah penyulang dengan peralatan proteksi *recloser* dan sectionalizer. Kemudian pada keadaan normal, *recloser* dan *sectionalizer* akan membaca arus normal sampai rangkaian gangguan dihubungkan pada penyulang tersebut. Setelah penyulang dihubungkan dengan rangkaian gangguan, maka arus pada peralatan proteksi akan naik. Apabila kenaikan arus sudah mencapai arus setting pada peralatan proteksi, peralatan tersebut akan trip sesuai dengan koordinasi yang telah diterapkan seperti yang telah dijelaskan.

Pada perencanaan alat simulasi seperti di atas, dibagi menjadi empat *section*. Namun penulis

hanya akan membahas 2 section saja yaitu section 2 dan 3. *Section 2* dengan alat *switching* relai yang disetting *reclose* ketika ada gangguan berupa kenaikan arus. *Section 3* dengan alat *switching* relai yang disetting sebagai *sectionalizer*.

Pada penelitian ini, penulis membuat alat yang digunakan sebagai simulator untuk menjelaskan inti materi mengenai prinsip kerja dari koordinasi *recloser* dan *sectionalizer* ketika terjadi sebuah gangguan. Peralatan yang digunakan pada simulator merupakan peralatan yang mengimplementasikan seperti sistem yang sebenarnya. Gambar blok diagram alat simulasi ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 2 Blok Diagram Alat Simulasi

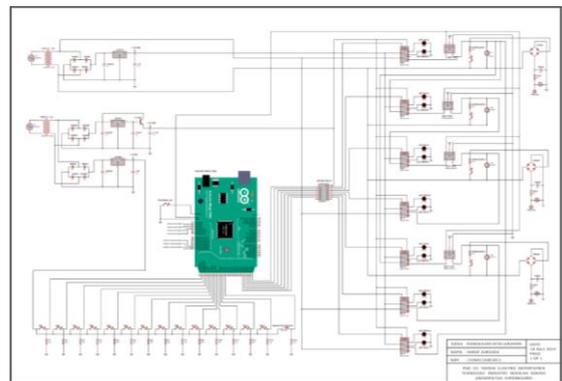
Dari bagian-bagian blok diagram tersebut dapat diketahui bahwa sistem pembuatan penelitian meliputi:

1. Sumber tegangan PLN 220 VAC yang digunakan sebagai masukan transformator *step-down* berkapasitas 5 A. Tegangan 12 VAC ini kemudian digunakan sebagai masukan catu daya untuk disearahkan guna menyuplai lampu indikator (*pilot lamp*) pada rangkaian beban. Selain itu, tegangan 12 VAC juga digunakan untuk menyalakan beban lampu 12 VAC (6 Watt). Kemudian disambungkan ke sensor tegangan dan sensor arus untuk diolah di dalam mikrokontroler Arduino Mega 2560 sebelum ditampilkan pada HMI.
2. Sumber tegangan PLN 220 VAC yang digunakan sebagai masukan transformator *step-down* berkapasitas 3 A. Kemudian masuk ke dalam catu daya 12 VDC untuk menyuplai *driver relay* ULN 2803, *relay* OMRON LY2N, serta menyuplai Arduino Mega 2560.
3. Keluaran transformator *step-down* 3A yang masuk ke catu daya 12 VDC digunakan untuk menyuplai *driver relay* ULN 2803, lalu digunakan sebagai *interface relay* 12 VDC dalam mengontrol rangkaian beban dan gangguan. *Outputan* rangkaian beban dan gangguan tersambung dengan sensor arus dan tegangan sebelum masuk Arduino Mega 2560 yang akan ditampilkan pada HMI.
4. Sumber tegangan PLN 220 VAC yang digunakan sebagai input transformator *step-down* berkapasitas 3 A. Kemudian masuk ke dalam

catu daya 5 VDC untuk menyuplai rangkaian *push button*. Keluaran *push button* masuk ke rangkaian *pull down* sebelum masuk ke pin digital Arduino Mega 2560.

5. Mikrokontroler Arduino Mega 2560 digunakan untuk menyuplai tegangan 5 VDC ke sensor arus ZMCT103C dan memberikan *input* berupa *ground* ke *driver relay* ULN 2803. Arduino Mega 2560 ini bertindak sebagai pusat kontrol kerja keseluruhan alat yang *output*-nya berupa led indikator dan kondisi high/low ke *driver relay* ULN 2803.

Cara kerja alat simulasi secara keseluruhan secara ringkas dapat dilihat dari rangkaian keseluruhan yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3 Rangkaian Keseluruhan Alat Simulasi

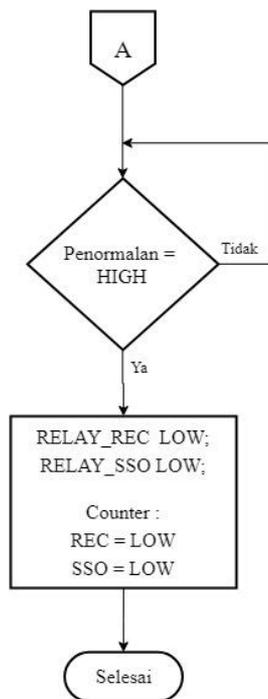
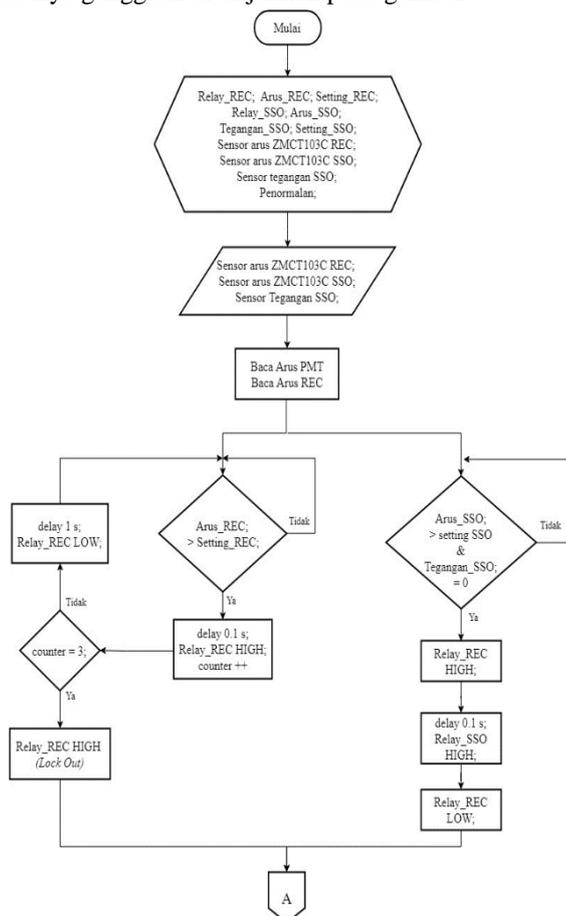
Penjelasan dari cara kerja sistem keseluruhan ini adalah dimulai dari sumber PLN 220 volt AC yang mengalir ke transformator linier berkapasitas 5 Ampere dan 3 Ampere yang berfungsi untuk menurunkan tegangan dari 220 VAC menjadi 12 VAC. Tegangan PLN yang mengalir melalui transformator berkapasitas 5 A berfungsi untuk menurunkan tegangan menjadi 12 VAC, yang dihubungkan dengan beban lampu pada jaringan dan catu daya 12 VDC untuk beban lampu indikator. Untuk tegangan PLN yang melalui transformator 3 A menurunkan tegangan menjadi 13 VAC, yang dihubungkan dengan rangkaian catu daya 12 VDC untuk menyuplai *driver relay*, *relay* OMRON LY2N, serta catu daya 5 VDC untuk menyuplai rangkaian *push button pull down*. Rangkaian catu daya bekerja dengan menyearahkan arus bolak-balik (AC) menjadi arus searah (DC). Penyearahan arus dari AC menjadi DC adalah hasil kerja dari 4 buah dioda yang disusun seperti rangkaian jembatan *wheatstone*. Keluaran dari penyearah, masih menghasilkan tegangan DC yang masih memiliki *ripple*. Jadi untuk menghilangkan *ripple* digunakan kapasitor untuk menghasilkan tegangan DC yang lebih halus[3]. Selain itu agar tegangan *output* stabil digunakan IC sebagai regulator tegangan. Serta perlu ditambah transistor jenis pnp tipe TIP3055 sebagai penguat arus karena beban yang akan disuplai catu daya cukup besar. Sebagai hasilnya *ripple* menjadi

lebih kecil dan tegangan *output* DC lebih mendekati tegangan puncak 12 Volt.

Dalam keadaan saat sistem kerja alat dimulai, beban penyulang dengan lampu 12 AC (6 W) akan menyala, itu artinya *recloser* dan *sectionalizer* masih pada kondisi *close*. Beban pada setiap lampu dapat dikontak dengan rangkaian kontrol melalui *push button*, baik itu *push button* pada alat maupun *push button* pada aplikasi VTScada. Melalui *push button* ini kita dapat mengatur beban mana yang ingin dinyalakan atau yang dipadamkan.

Rangkaian *push button* dengan *pull down* memiliki konsep utama untuk menghilangkan *floating*, dimana saat keadaan *push button* pada rangkaian ditekan, atau dihubungkan (*normally close*) maka akan menghasilkan *output* yang bernilai *high* (5 volt DC), sedangkan saat keadaan terbuka (*normally open*) *output* yang dihasilkan oleh rangkaian tersebut akan bernilai *low* (0 volt DC)[4]. Kemudian masukan dari *push button* ini akan diolah melalui Arduino untuk menghidupkan atau mematikan *relay*. Pada penelitian ini, digunakan *relay* jenis DPDT (*Double Pole Double Throw*) merk OMRON dengan tipe LY2N.

Diagram alir dari alat simulasi ketika terdeteksi adanya gangguan ditunjukkan pada gambar 4.



Gambar 4 Diagram Alir Saat Mendeteksi Gangguan

Dari flowchart diatas, input yang dibutuhkan adalah *relay recloser*, *relay SSO*, sensor arus ZMCT103C untuk *recloser*, sensor arus ZMCT103C untuk *SSO*, sensor tegangan *SSO*, *setting* arus *recloser*, *setting* arus *SSO*, dan *penormalan*.

Program diawali dengan pembacaan sensor arus, kemudian pada saat arus pada *recloser* melebihi arus setting pada *recloser* maka 0,1 detik kemudian *recloser* akan HIGH dan counter akan bertambah menjadi 1, 1 detik kemudian *recloser* akan LOW atau *re-close*, apabila arus *recloser* masih melebihi arus setting pada *recloser*, *recloser* akan kembali HIGH setelah 0,1 detik dan *counter* bertambah lagi menjadi 2, 1 detik kemudian *recloser* akan LOW lagi, apabila arus pada *recloser* masih melebihi arus pada *setting recloser* maka *recloser* akan HIGH lagi dan *counter* bertambah menjadi 3, kemudian apabila *counter* bernilai 3, *recloser* akan *lockout*.

Apabila arus pada *SSO* melebihi arus *setting* pada *SSO* dan tegangan pada *SSO* = 0, maka *relay recloser* akan HIGH (*open*), selang 0,1 s kemudian *relay SSO* akan HIGH (*open*) karena merasakan arus gangguan dan hilang tegangan. Kemudian *recloser* akan LOW (*close*) karena *re-close*.

Setelah proses diatas selesai maka untuk memulai kembali harus ditekan tombol *penormalan*. Sehingga *relay PMT* dan *relay recloser* akan LOW (*Close*) atau normal dan *counter* menjadi 0.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan dengan menghubungkan seluruh perangkat beserta isinya, baik itu *hardware* dan *software*. Tujuan dari percobaan alat secara keseluruhan adalah untuk mengetahui apakah kerja dari simulasi alat penelitian ini sudah dapat berfungsi

dan sesuai dengan yang direncanakan, dimana dapat melakukan simulasi koordinasi proteksi recloser dan LBS SSO berbasis Arduino Mega 2560 dan dapat dimonitori dengan menggunakan VT SCADA, komunikasi SCADA menggunakan Ethernet Shield yang telah disambungkan dengan Arduino Mega[5].

Pengujian alat simulasi saat dalam keadaan normal atau tanpa gangguan, karena ini merupakan hal yang pertama kali dilakukan setelah proses *wiring* selesai dan untuk melihat kerja alat apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan atau belum. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Arus Saat Kondisi Normal

Letak Sensor	Kondisi	Pembacaan Multimeter	Pembacaan Scada
PMT	Normal		1.76 A
REC	Normal		0.86 A
LBS SSO 1	Normal		0.43 A
LBS SSO 2	Normal		0.44 A

Berdasarkan pada tabel 1, dapat diketahui bahwa nilai arus dari PMT sebesar 1,74 A dengan beban 4 lampu yang menyala. Arus pada Recloser dengan beban 2 lampu sebesar 0,86 A. Arus pada LBS SSO 1 dengan beban 1 lampu sebesar 0,43 A. Serta arus pada LBS SSO 2 dengan beban 1 lampu sebesar 0,44 A. . Apabila dibandingkan besar nilai arus normal recloser dan LBS SSO 1 dengan perhitungan beban secara teoritis terlihat selisih 0,14 Ampere untuk recloser dan 0,07 Ampere untuk LBS SSO 1.

Pengujian wilayah proteksi zona 2 yaitu di antara *recloser* dan LBS SSO 1. Saat arus yang melewati zona 2 ternyata melebihi batas *setting*, maka *recloser* akan bekerja. Gangguan yang terdapat pada zona 2 bersifat temporer, sehingga *recloser* akan *re-close* sebanyak 3 kali yang diikuti dengan *recloser* trip (*lock out*) pada kondisi akhir.

Hasil penyesuaian arus ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Gangguan Zona 2

Letak Sensor	Kondisi	Pembacaan Multimeter	Pembacaan Scada
REC	Normal		1.22 A
LBS SSO 1	Normal		0.43 A

Dari data hasil pengujian di atas, dapat di ketahui bahwa *recloser* akan bekerja untuk *re-close* sebanyak dua kali, selama gangguan masih dirasakan maka *recloser* bekerja untuk *re-close* yang ketiga, sehingga *recloser* akan *lock out*/trip karena terjadi kenaikan nilai arus sebesar 0,42 A dimana keadaan normal 0,86 A dan saat terjadi gangguan menjadi 1,28 A. Dalam simulasi zona 2, arus SSO bisa dikatakan masih dalam kondisi normal karena hanya berubah 0,02 A saja jadi tidak membuat SSO berubah posisi menjadi open.

Jika dilihat dengan perhitungan secara teoritis nilai arus pada *recloser* ketika terdeteksi gangguan adalah 1,6 Ampere, sedangkan saat pengujian alat simulasi nilai arus *recloser* saat terdeteksi gangguan hanya sebesar 1,28 Ampere. Sehingga apabila dibandingkan muncul selisih nilai arus sebesar 0,32 Ampere.

Pengujian yang ketiga dilakukan pada wilayah proteksi zona 3. Apabila arus yang terdapat pada zona 3 ini melebihi batas *setting* yaitu 0,43 A, maka LBS SSO 1 bekerja dengan membaca arus gangguan dan proteksi hulunya akan membuka serta sensor tegangan tidak merasakan tegangan mengalir. Sehingga beban yang ada di *recloser* dan LBS SSO 1 akan padam, namun setelah LBS SSO 1 berubah menjadi *normally open* maka *recloser* akan otomatis menutup kembali (*re-close*) dan beban di wilayah *recloser* pun akan kembali menyala.

Hasil dari pengujian saat terdapat gangguan di zona 3 akan disajikan dalam tabel di bawah ini.

Tabel 3. Hasil Pengujian Gangguan Zona 3

Letak Sensor	Kondisi	Pembacaan Multimeter	Pembacaan Scada
REC	Normal		1.03 A
LBS SSO 1	Normal		0.66 A

Dari data hasil pengujian di atas, dapat diketahui bahwa ketika terdapat gangguan pada zona 3, *setting* arus LBS SSO 1 akan naik menjadi 0,64 A dan *setting* arus *recloser* pun juga akan naik menjadi 1,06 A.

Jika dilihat dengan perhitungan secara teoritis nilai arus pada LBS SSO 1 ketika terdeteksi gangguan adalah 0,75 Ampere, sedangkan saat pengujian alat simulasi nilai arus *recloser* saat terdeteksi gangguan hanya sebesar 0,64 Ampere. Sehingga apabila dibandingkan muncul selisih nilai arus sebesar 0,11 Ampere.

KESIMPULAN

Ketika terjadi gangguan pada onan 2 recloser bekerja bekerja untuk *re-close* sebanyak dua kali, selama gangguan masih dirasakan maka *recloser* bekerja untuk *re-close* yang ketiga, sehingga recloser akan *lock out/trip*. Ketika terjadi gangguan pada zona 3 yang menyebabkan beban pada zona 2 dan 3 padam, *recloser* yang awalnya membuka akan *re-close* sehingga hanya LBS SSO 1 saja yang berubah menjadi *open*. Karena merasakan arus gangguan dan hilang tegangan.

Sensor arus yang digunakan sebagai pengganti Trafo Arus (CT) pada alat simulasi ini adalah ZMCT103C. Dalam simulasi ini dibutuhkan dua buah untuk menyimulasikan gangguan di wilayah kerja *recloser* dan LBS SSO 1. Pada kondisi normal arus pada recloser 0,86 A dan pada LBS SSO 1 0,43 A. Saat terjadi gangguan zona 2 arus recloser naik menjadi 1,28 A, sedangkan saat terjadi gangguan zona 3 arus LBS SSO 1 naik menjadi 1,06 A dan LBS SSO 1 menjadi 0,64 A.

Sensor tegangan berupa pembagi tegangan bekerja mendeteksi tegangan pada LBS SSO1 saat kondisi normal maupun saat terdapat gangguan pada Zona 2 dan Zona 3. Dimana saat kondisi normal tegangan yang terukur 11,09 VAC.

Pada simulator ini, sistem monitoring berbasis VT Scada dapat digunakan sebagai monitoring beban pelanggan Penyulang Kalisari 7 dan saat terindikasi gangguan. Sistem controlling *keypoint* berbasis VT Scada digunakan untuk memudahkan saat dilakukan proses manuver dan penormalan pada peralatan yang terdapat pada *keypoint* dari jarak jauh.

Pada saat pengujian simulasi gangguan di Zona 2, arus *recloser* naik 0,42 A. Dari kenaikan arus pada *recloser*, menyebabkan *recloser* *reclose/trip to lock out* karena melewati dari batas *setting* arus *recloser* sebesar 1,1 A, sebab arus naik menjadi 1,28 A. Dikarenakan LBS SSO1 merasakan hilang tegangan maka beban di wilayah LBS SSO1 pun ikut padam namun masih dalam posisi *close*. Dari pengujian yang dilakukan muncul perbedaan nilai arus yang dibandingkan dengan perhitungan teoritis sebesar 0,32 Ampere.

Saat pengujian koordinasi *recloser* dan LBS SSO1 pada gangguan Zona 3 arus recloser dan LBS SSO 1 naik sebesar 0,2 A dari kondisi normal. Sehingga recloser sebagai peralatan proteksi akan *open* terlebih dahulu dalam waktu 1000 ms setelah merasakan gangguan. Ketika *recloser open*, maka tegangan pada SSO akan bernilai 0 volt dan SSO akan *open* dalam waktu 1000 ms setelah syarat arus dan gangguan terpenuhi. Kemudian *recloser* akan *close* kembali setelah 2000 ms dari kondisi *open*. Dari pengujian koordinasi wilayah zona 3 muncul perbedaan nilai arus yang dibandingkan dengan perhitungan teoritis sebesar 0,11 Ampere.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Sekolah Vokasi Universitas Diponegoro, dosen dan petugas laboratorium PSDIII Teknik Elektro dan Supervisor PT. PLN UP2D Jateng & DIY beserta jajarannya yang sangat membantu dalam pengumpulan data sehingga penelitian ini dapat terlaksana.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Saputra, Rian Adhi. 2009. **Studi Analisa Koordinasi Sectionalizer Recloser Menggunakan Metode RIA Untuk Peningkatan Keandalan Pada Penyulang Suparma II Di GI Waru**. Laporan Penelitian Tidak Diterbitkan. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [2] Pandjaitan, Bonar. 1999. **Teknologi Sistem Pengendalian Tenaga Listrik Berbasis Scada**. Jakarta: SMTG Desa Putera.
- [3] Widodo, Sri Thomas. 2002. **Elektronika Dasar**. Jakarta: Salemba Teknik
- [4] Embenesia, 2015. **Pull Up dan Pull Down**. <https://embenesia.wordpress.com/>. Diakses tanggal 21 juni 2019 pukul 21.03.
- [5] Arduino & Genuino Products. **Getting Started with the Arduino Ethernet Shield**. <https://www.arduino.cc/en/Guide/ArduinoEthernetShield>. Diakses tanggal 30 Juni 2019 pukul 21.37.
- [6] O. Cwikowski, M. Barnes, R. Shuttleworth, and B. Chang, **Analysis and simulation of the proactive hybrid circuit breaker**, in Proceedings of the International Conference on Power Electronics and Drive Systems, 2015.
- [7] M. Darwish, C. Marouchos, and P. Dimitriadis, **Overvoltage protection**, in Proceedings - 2016 51st International Universities Power Engineering Conference, UPEC 2016, 2017.