

Manajemen Daya Listrik dengan Sistem *Automatic Transfer and Synchronization Switch* berbasis PLC

Supriono¹, Seno D. Panjaitan²

Abstract— In the current electric energy supply crisis, Indonesian Government encourages the citizen to save electric energy. Therefore, we should control the electric power consumption in the offices or houses intelligently. Using one of automation technologies, Programmable Logic Controller (PLC), we can control electricity usage in our surroundings. This research focuses on the development of Automatic Transfer Switch (ATS) system to become Automatic Transfer and Synchronization Switch (ATSS). The system can monitor electric power consumption connected to PLN. If the electric power consumption has reached > 80%, then the generator as electric energy back up supply will support in a synchronized way. If electric power load is < 80% then automatically the generator is non-active. ATSS can become an ATS as well. It is an electric energy back up power supply when supply from PLN is cut. The result shows that a 900 watt electric power PLN, with 1.060 watt maximum load, and 300 watt support generator synchronization, can support a load of 1.450 watt.

Intisari— Di tengah keterbatasan suplai energi listrik dan seruan pemerintah untuk menghemat energi listrik, kita dituntut untuk membuat pengendali daya listrik gedung perkantoran atau rumah menjadi lebih “cerdas” dan mampu mengontrol penggunaan daya listrik dengan teknologi otomatisasi menggunakan *Programmable Logic Controller (PLC)* dalam lingkungannya sehingga tempat tersebut menjadi aman dan nyaman. Makalah ini mengembangkan suatu sistem *Automatic Transfer Switch (ATS)* menjadi *Automatic Transfer And Synchronization Switch (ATSS)*, sehingga sistem dapat memantau pemakaian daya listrik PLN yang tersambung. Jika daya listrik yang terpakai sudah mencapai > 80%, maka generator sebagai suplai energi listrik cadangan akan membantu dengan cara sinkronisasi. Bila daya beban berkurang kembali menjadi < 80%, secara otomatis generator dinonaktifkan. Sistem ATSS ini juga dapat berfungsi sebagai ATS yaitu sebagai suplai cadangan bila suplai PLN terputus. Dari hasil pengujian diketahui daya listrik PLN sebesar 900 watt jika dibebani maksimum 1.060 watt, dengan bantuan generator 300 watt cadangan dengan cara disinkron mampu memikul daya beban sampai dengan 1.450 watt.

Kata Kunci— *Programmable Logic Controller (PLC)*, ATS, ATSS, Energi, Kualitas Daya

I. PENDAHULUAN

Di tengah keterbatasan suplai energi listrik dan seruan pemerintah untuk menghemat energi listrik, masih sering

terjadi peristiwa yang tidak diinginkan seperti kebakaran yang diakibatkan oleh kesalahan atau kelalaian dalam pengoperasian peralatan listrik yang berlebihan serta penggunaan yang tidak terkontrol, dan pemborosan energi listrik dengan percuma. Hal tersebut menyebabkan tagihan listrik melonjak, kondisi dalam ruangan yang kurang nyaman akibat suhu, serta intensitas cahaya yang kurang sesuai. Juga tidak memperhatikan faktor-faktor kerugian dari terbuangnya daya listrik yang tanpa disadari. Menurut Zhuo Fang, dkk [1], penambahan pengendalian *Active Power Filter (APF)* pada jaringan listrik dapat memperbaiki faktor daya, dan akan lebih baik lagi apabila dipasang *Parallel Active Power Filter (PAPF)* yang lebih akurat dalam mendeteksi harmonik yang terjadi pada jaringan. Hal-hal di atas menimbulkan tantangan yaitu bagaimana membuat suatu gedung perkantoran atau rumah menjadi lebih “cerdas” dan mampu mengontrol penggunaan daya listrik dalam lingkungannya sehingga tempat tersebut menjadi aman dan nyaman, dengan mengimplementasikan teknologi, sistem otomatis berbasis *Programmable Logic Controller (PLC)* ataupun komputer.

Dengan teknologi sensor konvensional, masih sering ditemui kesulitan dalam mengumpulkan data. Kelebihan sistem yang berbasis PLC adalah adanya kemudahan dalam sistem pengontrolan, pemantauan suatu unjuk kerja dari suatu sistem yang di inginkan secara terus menerus, kemudahan dalam proses instalasi, pengukuran data lapangan, penambahan, dan penempatan posisi sensor.

Perusahaan Listrik Negara (PLN) sebagai satu-satunya perusahaan yang melayani energi listrik tidak selalu dapat melayani secara terus menerus, khususnya di Kalimantan Barat, khususnya pada saat sekarang dalam keadaan krisis daya, atau disebabkan adanya perbaikan dan perawatan pembangkit, ataupun karena terjadi gangguan pada jaringan. Selain itu, terputusnya suplai energi listrik pada beban rumah atau perkantoran disebabkan juga oleh suplai daya listrik dari PLN yang tidak mencukupi untuk melayani beban tersebut, sehingga pada saat perkantoran mengalami beban puncak suplai daya listrik pada perkantoran tersebut terputus. Menurut Daley dan Casterschiold [2], untuk dapat mengurangi dampak kerugian ekonomi pada kondisi beban puncak, sangat perlu dipasang suatu sistem kontrol energi listrik cadangan generator yang berkoordinasi baik dan dapat memberikan hasil yang optimal. Untuk itu dibutuhkan suatu generator cadangan yang akan beroperasi secara otomatis apabila beban kekurangan daya (sinkronisasi) atau ketika sumber listrik dari PLN terputus. Menurut Ashour [3], pengembangan sistem ATS menggunakan PLC haruslah memperhatikan beberapa langkah penting dalam merancang suatu sistem ATS yang efektif, di antaranya konfigurasi sistem *hardware* dan *software* sebaik mungkin. Sementara menurut Castenschiold

¹Pranata Laboratorium Pendidikan, Laboratorium Teknik Kendali Fakultas Teknik UNTAN, Jln. Ahmad Yani Pontianak 78124 Telp. 0561 740186, (e-mail: supry74@yahoo.com)

²Dosen Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNTAN, Jln. Ahmad Yani Pontianak 78124 Telp. (0561)740186, (e-mail: senopanjaitan@gmail.com)

[4], untuk mendapatkan sistem distribusi daya listrik yang lebih handal dan untuk meminimalkan kerugian dari segi ekonomi, sistem suplai listrik cadangan dapat lebih dari satu, yang dipadukan pada suatu sistem yang terintegrasi. Salah satu teknologi otomatisasi yang digunakan adalah PLC, yang merupakan pengendali logika yang dapat diprogram untuk mengendalikan mesin-mesin atau peralatan dengan daya guna dan keandalan yang cukup tinggi. Agar generator dapat bekerja paralel dengan PLN, diperlukan sebuah kontrol berupa PLC. Sensor tegangan, frekuensi, dan beda fase sebagai input PLC akan diproses sesuai dengan nilai parameter yang diharapkan.

Dalam makalah ini akan dibuat sebuah sistem sinkronisasi generator dengan sumber PLN berbasis PLC. PLC akan digunakan sebagai pengendali jalannya proses sinkronisasi sumber generator dan PLN berdasarkan pembacaan *input* dari sensor-sensor dan untuk mengendalikan kerja dari kontaktor, agar kontaktor dapat bekerja sesuai dengan parameter-parameter yang diinginkan.

II. METODOLOGI

Langkah pertama metode yang digunakan dalam makalah ini berupa observasi, yaitu melakukan pengambilan data tegangan, frekuensi PLN yang terpasang di laboratorium teknik kendali, daya beban yang direncanakan, serta pengumpulan data-data komponen perangkat keras, daya dan tipe generator yang ada.

Langkah kedua adalah eksperimen, yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak pengendali. Sistem disimulasikan pada peralatan generator dengan daya 0,3 kW yang ada pada laboratorium Teknik Kendali Fakultas Teknik UNTAN.

A. Generator Paralel dengan Jaringan PLN

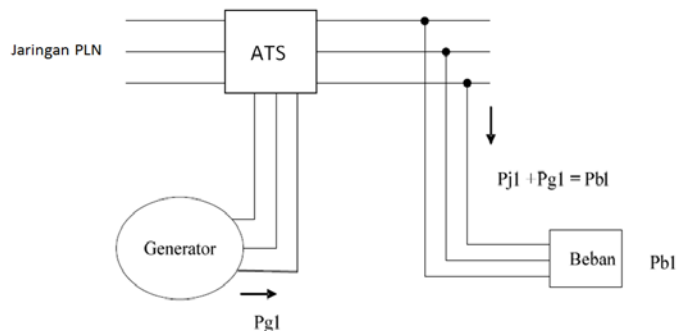
Generator paralel dapat diartikan menggabungkan dua buah generator atau lebih dan kemudian dioperasikan secara bersama-sama dengan tujuan:

1. Mendapatkan daya yang lebih besar.
2. Untuk efisiensi, menghemat biaya operasional dan menghemat biaya pembelian tarif daya yang terpasang, sehingga dapat mengatasi beban puncak yang terjadi (*standby power systems for peak shaving*) [2].
3. Untuk memudahkan penentuan kapasitas generator.
4. Untuk menjamin kontinuitas ketersediaan daya listrik.

Jika sebuah generator sinkron dihubungkan pada suatu sistem tenaga listrik yang besar, maka sistem tersebut dapat dianggap sebagai suatu jaringan yang memiliki kekuatan yang "tak terhingga", sehingga baik tegangan maupun frekuensinya tidak akan berubah dan tidak dapat dipengaruhi oleh sebuah generator yang disambung padanya [6].

Gbr. 1 menunjukkan sistem sebuah generator yang dihubungkan pada suatu jaringan PLN yang menyediakan tenaga listrik pada suatu beban. Sebuah generator memberikan daya kepada suatu beban dengan besar P_{b1} . Bagian beban yang disuplai generator adalah P_{g1} , sehingga sisa beban yang dipikul oleh jaringan PLN adalah sebesar P_{j1} . Sebagaimana telah diketahui, sebuah sistem paralel harus memiliki tegangan,

frekuensi dan urutan fase yang benar-benar sama, karena terminal keluaran kedua sistem itu saling terkoneksi [5].



Gbr. 1 Paralel generator dengan PLN.

dengan

P_{g1} : Energi listrik yang disuplai oleh generator.

P_{j1} : Energi listrik yang disuplai oleh PLN.

P_{b1} : Energi listrik yang diserap beban.

B. Prosedur Kerja Paralel Generator dengan PLN

Untuk dapat mengoperasikan pembangkit cadangan secara bersama-sama dengan sumber dari PLN ada beberapa syarat yang harus dipenuhi. Adapun syarat-syarat dilakukan agar tetap mendapatkan dan memperbesar kapasitas daya, serta generator dapat bekerja dengan aman. Persyaratan-persyaratan tersebut antara lain [6]:

1. Arah putaran generator searah jarum jam.
2. Nilai efektif tegangan harus sama.
3. Frekuensi generator harus sama.
4. Tegangan generator yang diparalelkan mempunyai bentuk gelombang yang sama.
5. Urutan fase generator harus sama.

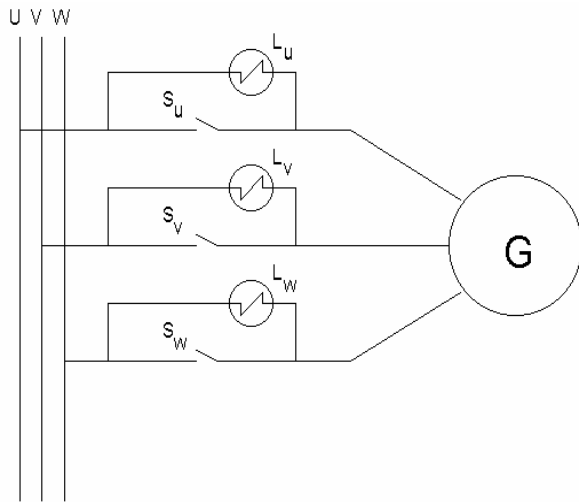
Jika kondisi tersebut sudah terpenuhi, maka dapat dikatakan sumber sudah dalam keadaan sinkron dan generator dapat diparalelkan. Ada beberapa cara untuk memparalelkan generator dengan mengacu pada syarat-syarat diatas, yaitu:

1. Mendeteksi urutan fase, yaitu dengan menggunakan alat pendeteksi urutan fase berupa lampu sinkronoskop hubungan terang.
2. Mendeteksi tegangan, dapat dilakukan dengan alat ukur tegangan.
3. Mengukur Frekuensi, dapat dilakukan dengan alat ukur frekuensi
4. Mendeteksi beda fase, dapat dilakukan dengan alat osiloskop.

Metode sederhana yang dipergunakan untuk mensinkronkan dua generator atau lebih adalah dengan mempergunakan sinkronoskop lampu. Yang harus diperhatikan dalam metode sederhana ini adalah lampu-lampu indikator harus sanggup menahan dua kali tegangan antar fase.

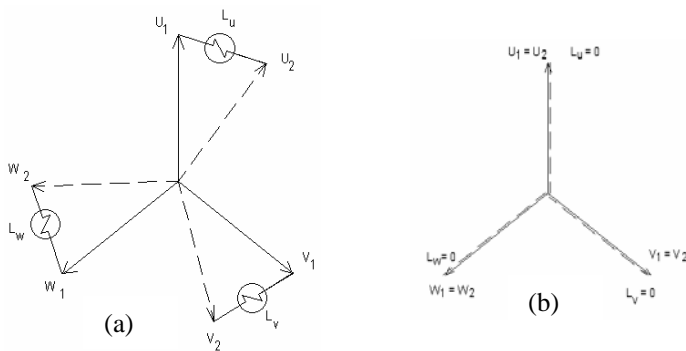
Jenis sinkronoskop lampu gelap pada prinsipnya menghubungkan ketiga fase, yaitu U dengan U, V dengan V, dan W dengan W. Gbr. 2 menunjukkan sinkronoskop jenis ini.

Istilah fase pada jaringan tiga fase PLN biasa disebut dengan R, S, T, sedangkan pada mesin-mesin listrik dengan istilah U, V, W.



Gbr. 2 Skema sinkronoskop lampu gelap.

Pada hubungan ini, jika tegangan antar fase adalah sama maka ketiga lampu akan gelap yang disebabkan oleh beda tegangan yang ada adalah nol. Demikian juga sebaliknya, jika lampu menyala maka diantara fase terdapat beda tegangan. Ini dapat dijelaskan pada Gbr. 3.



Gbr. 3 Beda tegangan antara fase pada sinkronoskop lampu gelap.

Pada Gbr. 3(a) terlihat adanya selisih antara tegangan PLN fase U_1 dan tegangan generator fase U_2 , sehingga terukur tegangan antara keduanya. Pada Gbr. 3(b) tidak ada selisih antara tegangan PLN fase U_1 dan tegangan generator fase U_2 , sehingga tegangan PLN fase U_1 dan tegangan generator fase U_2 adalah 0 volt.

C. Tegangan–Tegangan Standar PLN [9]

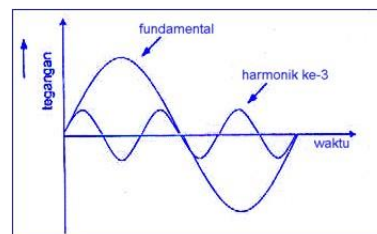
Tujuan dari standar tegangan adalah untuk memberikan pegangan yang terarah dan seragam bagi perencanaan, pembangunan dan pengusahaan sistem dan instalasi berikut perlengkapan yang digunakan dalam sistem tersebut. Untuk keperluan bagian standar tegangan ini digunakan definisi sebagai berikut:

1. Tegangan nominal suatu sistem, yaitu nilai tegangan yang disandang sistem atau perlengkapan dan kepadanya karakteristik kerja tertentu dari sistem dan perlengkapan itu dirujuk.

2. Tegangan tertinggi suatu sistem, yakni tegangan tertinggi yang terjadi dalam keadaan kerja normal pada setiap saat dan setiap titik pada sistem itu. Keadaan ini tidak termasuk transien tegangan, misalnya yang terjadi karena pemutusan sistem dan variasi tegangan temporer.
3. Tegangan rendah adalah tegangan sistem antara 100 Volt sampai dengan 1.000 Volt.
4. Tegangan menengah adalah tegangan sistem di atas 1.000 Volt sampai dengan 35.000 Volt.
5. Tegangan tinggi adalah tegangan sistem di atas 35.000 Volt sampai dengan 245.000 Volt.
6. Tegangan ekstra tinggi adalah tegangan sistem di atas 245.000 Volt.
7. Tegangan tertinggi untuk perlengkapan adalah nilai tegangan tertinggi yang dispesifikasikan kepada perlengkapan yang didasarkan kepada:
 - Isolasi
 - Karakteristik lain yang mungkin merujuk tegangan tertinggi ini sesuai dengan rekomendasi perlengkapan yang bersangkutan. Nilai tegangan tertinggi untuk perlengkapan itu ialah nilai maksimum “tegangan sistem tertinggi” untuk mana perlengkapan tersebut dapat digunakan.

D. Harmonisa

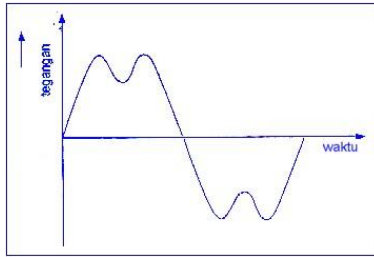
Harmonisa adalah distorsi periodik gelombang sinus tegangan, arus, atau daya dengan bentuk gelombang yang frekuensinya merupakan kelipatan di luar bilangan satu terhadap frekuensi fundamental (frekuensi 50 Hz atau 60 Hz). Nilai frekuensi gelombang harmonisa yang terbentuk merupakan hasil kali antara frekuensi fundamental dengan bilangan harmonisanya ($f, 2f, 3f, \text{dst}$). Bentuk gelombang yang terdistorsi merupakan penjumlahan dari gelombang fundamental dan gelombang harmonisa ($h_1, h_2, \text{dan seterusnya}$) pada frekuensi kelipatannya. Semakin banyak gelombang harmonisa yang diikutsertakan pada gelombang fundamentalnya, maka gelombang akan semakin mendekati gelombang persegi atau gelombang akan berbentuk nonsinusoidal. Gelombang harmonik ini akan berkombinasi dengan gelombang murni atau aslinya, sehingga terbentuk gelombang cacat yang merupakan penjumlahan antara gelombang murni (dasar) dengan gelombang harmoniknya. Sebagai contoh Gbr. 4 menunjukkan gelombang dasar dan gelombang harmonik ke-3.



Gbr. 4. Bentuk gelombang tegangan dasar dan harmonik ke-3.

Bila kedua gelombang tersebut dijumlahkan, maka bentuk gelombang yang dihasilkan adalah seperti Gbr. 5. Bentuk distorsi gelombang akan lebih kompleks lagi bila semua

gelombang harmonik yang terjadi dijumlahkan dengan gelombang frekuensi dasar. Besar amplitude harmonik biasanya hanya beberapa persen dari amplitude gelombang dasar.



Gbr. 5 Bentuk gelombang tegangan yang terdistorsi harmonik.

TABEL I
STANDAR DISTORSI HARMONISA YANG DIGUNAKAN BERDASARKAN STANDAR IEEE [11]

Distorsi Tegangan Harmonik dalam % Nilai Fundamental			
Sistem Tegangan	< 69 kV	69 – 138 kV	> 138 kV
THD	5,0	2,5	1,5

Distorsi Arus Harmonik Maksimum dalam % Nilai Fundamental	
I_{hs} / IL	THD
< 20*	5,0
20 – 50	8,0
50 – 100	12,0
100 – 1000	15,0
> 1000	20,0

*Seluruh perlengkapan pembangkitan daya dibatasi pada nilai arus distorsi ini, tanpa melihat nilai sebenarnya dari I_{hs} / IL
 I_{hs} = arus hubung singkat maksimum; IL = arus beban maksimum

E. IHD

Distorsi Harmonik Individu (IHD) merupakan rasio tegangan atau arus antara nilai RMS harmonik dengan nilai RMS dasar (fundamental) [9].

$$IHD_h = \sqrt{\frac{M_h^2}{M_1^2}} \tag{1}$$

dengan

- IHD_h = IHD Orde harmonik ke -h (h = 2,3,4,5,.....)
- M_h = Nilai RMS arus atau tegangan harmonik ke -h
- M_1 = Nilai RSM arus atau tegangan dasar (fundamental)

F. THD

Total Distorsi Harmonic (THD) merupakan rasio nilai RMS dari komponen harmonisa dengan nilai RMS dari komponen dasar yang biasanya dinyatakan dalam persen (%) [10]. Nilai THD dijadikan batasan tegangan atau arus harmonik yang masih dapat ditoleransi dalam suatu sistem tenaga listrik. Dengan parameter ini, dapat diketahui apakah distorsi yang terjadi berada pada tingkat yang dapat diterima atau pada tingkat yang merugikan. Nilai ini dapat dihitung untuk tegangan maupun arus.

$$THD = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{h=\max} M_h^2}}{M_1} \tag{2}$$

atau

$$THD = (IHD_2^2 + IHD_3^2 + IHD_4^2 + \dots)^{\frac{1}{2}} \tag{3}$$

dengan

- THD = Total Harmonik Distortion
- M_h = Nilai RMS arus atau tegangan dari komponen harmonik ke-h
- M_1 = Nilai RMS arus atau tegangan dari frekuensi dasar

G. Programmable Logic Controller (PLC)

Pada makalah ini, PLC yang dipergunakan diproduksi oleh Siemens dengan tipe Simatic S7-200. PLC merupakan suatu bentuk khusus pengontrol berbasis mikroprosesor yang memanfaatkan memori yang dapat diprogram untuk menyimpan intruksi-intruksi dan untuk mengimplementasikan fungsi-fungsi seperti logika, sequencing, pewaktu (timing), pencacah (counting), dan aritmatika guna mengontrol mesin-mesin. Piranti ini dirancang sedemikian rupa agar tidak hanya para programmer komputer saja yang dapat membuat atau mengubah program-programnya. Oleh karena itu, para perancang PLC telah menempatkan sebuah program awal di dalam piranti ini (pre-program) yang memungkinkan program-program kontrol dimasukkan dengan menggunakan suatu bentuk bahasa program yang sederhana dan intuitif (William, 2004). Gbr. 6 menunjukkan sebuah sistem PLC.



Gbr. 6 Sistem PLC [8].

III. PERANCANGAN SISTEM AUTOMATIC TRANSFER AND SYNCHRONIZATION (ATSS)

A. Lokasi Penelitian

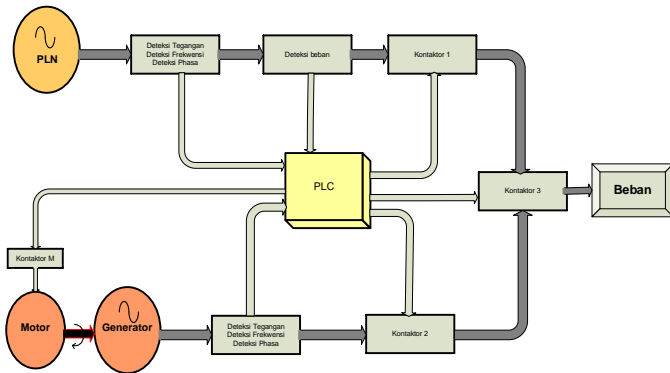
Lokasi penelitian dan simulasi sistem ATSS dilakukan di Laboratorium Teknik Kendali Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura Pontianak Jalan Jenderal Akhmad Yani, Pontianak, 78124.

B. Desain Model dan Metode Penelitian

Gbr. 7 adalah gambar desain model sistem ATSS dengan dua buah sumber energi yaitu energi listrik PLN dan energi listrik dari generator disinkronkan (paralel) menggunakan PLC.

Metode yang dilakukan merupakan eksperimen, yaitu perancangan perangkat keras dan perangkat lunak PLC, sehingga perlu dilakukan percobaan perangkat keras sebagai

satu kesatuan sistem. Adapun prinsip kerja ATSS yang dirancang, seperti pada Gbr. 7, adalah dapat mengoperasikan generator cadangan secara otomatis ketika sumber energi listrik dari PLN terputus, dan mematikan generator tersebut ketika sumber energi listrik dari PLN telah terhubung kembali. ATSS tersebut juga dapat mengoperasikan generator cadangan bersama-sama dengan sumber listrik dari PLN ketika kebutuhan daya bertambah melebihi kapasitas daya terpasang dari PLN (*overload*).



Gbr. 7 Desain diagram ATSS.

Pendeteksi tegangan PLN akan memberi sinyal ke PLC apakah sumber PLN bertegangan atau tidak. Jika bertegangan, maka sinyal laporan berlogika '1', dan sebaliknya akan berlogika '0' apabila sumber PLN terputus (mati). Pada kondisi sumber PLN terputus, laporan berlogika '0', maka PLC akan mengaktifkan generator melalui kontaktor M. Setelah generator mengalirkan arus dan tegangan, maka PLC akan mendapatkan sinyal laporan dari pendeteksi tegangan generator berlogika '1', sehingga PLC akan mengaktifkan kontaktor 2 untuk menyalurkan arus dan tegangan generator ke beban.

Pada kondisi sumber PLN bertegangan, pendeteksi tegangan PLN memberi sinyal laporan berlogika '1', sehingga PLC akan mengaktifkan kontaktor 1 untuk menyalurkan arus dan tegangan ke beban. Pada kondisi ini deteksi beban akan memberi sinyal laporan ke PLC. Apabila daya beban telah mencapai 80 % dari daya yang di salurkan PLN sebesar 900 w (± 720 w), maka PLC akan mengaktifkan generator melalui kontaktor M.

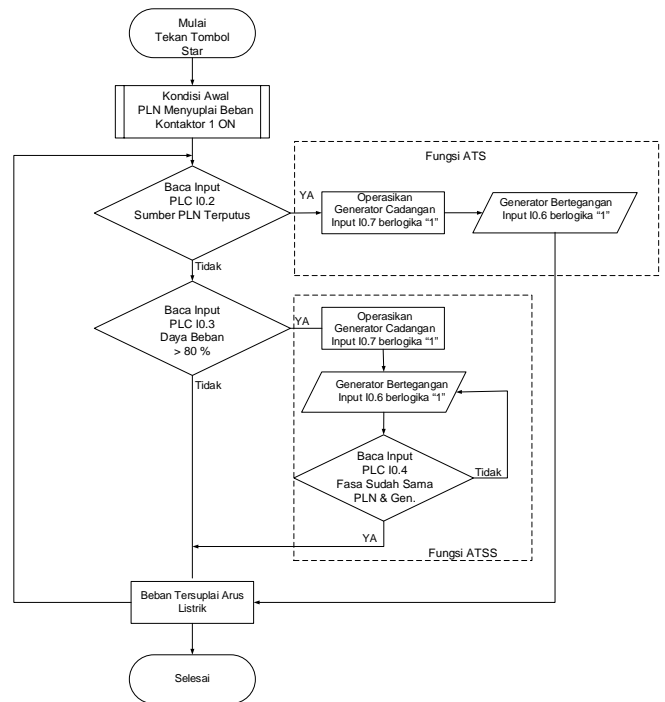
Pada saat generator sudah menghasilkan arus dan tegangan, PLC akan mengaktifkan kontaktor 2 untuk menyalurkan arus dan tegangan. Pada kondisi ini pula deteksi fase akan memberikan sinyal laporan ke PLC, apakah fase sumber PLN dan sumber generator sudah sama. Kemudian, PLC akan mengaktifkan kontaktor 3 untuk menyinkronkan (paralel) kedua sumber, PLN dan generator, guna memperbesar daya yang disalurkan ke beban.

C. Rangkaian Antarmuka

Rangkaian-rangkaian ini digunakan untuk mendeteksi keluaran yang berupa tegangan masing-masing sumber energi listrik baik itu sumber dari PLN maupun generator.

1) Rangkaian Deteksi Fase: Sistem ini dirancang mempunyai fungsi untuk mendeteksi beda fase dalam proses

memparalelkan sumber energi listrik dari PLN dengan generator cadangan. Sistem deteksi ini dapat digolongkan sebagai sensor. Adapun sensor beda fase berfungsi untuk mendeteksi apakah beda fase antar sumber energi listrik sudah sinkron. Prinsip kerjanya adalah pada kedua sumber energi listrik, jika ketika fase R dari sumber PLN dihubungkan dengan fase R dari generator cadangan tidak terjadi beda potensial, maka dikatakan sudah sefase. Tetapi jika fase R dari sumber PLN dihubungkan dengan fase S atau fase T dari generator cadangan, maka akan terjadi beda potensial. Hal tersebut jelas menunjukkan bahwa kedua sumber tidak sefase. Untuk mendeteksi beda fase tersebut, diperlukan suatu sensor deteksi fase seperti yang terlihat pada Gbr. 9.

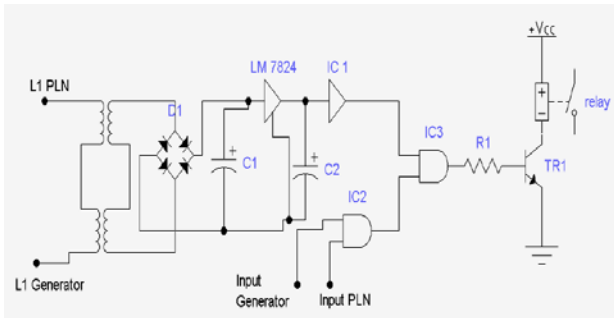


Gbr. 8 Flowchart sistem ATSS.

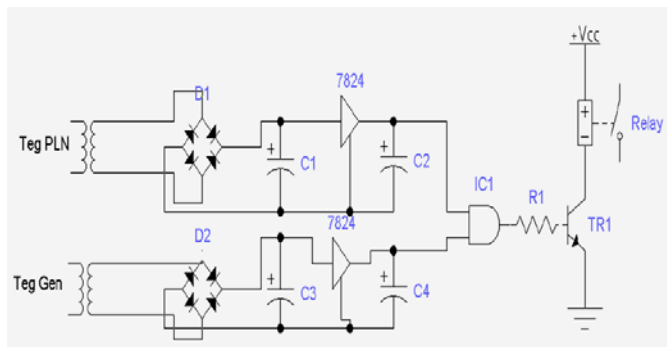
2) Rangkaian Deteksi Tegangan: Rangkaian ini berfungsi untuk mendeteksi tegangan pada saat proses sinkronisasi sumber PLN dan generator. Rangkaian yang digunakan sebagai rangkaian pendeteksi tegangan ini adalah rangkaian penyearah. Tegangan keluaran masing-masing sumber energi yaitu 220 VAC akan dikonversi menjadi tegangan 5 VDC. Rangkaian pendeteksi tegangan dapat dilihat pada Gbr. 10.

3) Rangkaian Deteksi Beban: Rangkaian deteksi beban ini berfungsi untuk mendeteksi arus beban pada beban terpasang. Ketika sumber listrik yang disuplai oleh PLN tidak mencukupi (80% dari daya yang terpasang 900 VA atau ± 720 w), untuk melayani beban terpasang maka rangkaian ini akan memberikan sinyal masukan ke PLC untuk mengaktifkan generator. Rangkaian deteksi beban lebih ini terbentuk dari rangkaian penyearah dan sebuah IC LM 324 yang difungsikan sebagai pembanding dengan tegangan referensi pembanding (V_{ref}) diatur sedemikian rupa agar lebih kecil dari tegangan masukan. Apabila tegangan masukan lebih besar dari V_{ref}

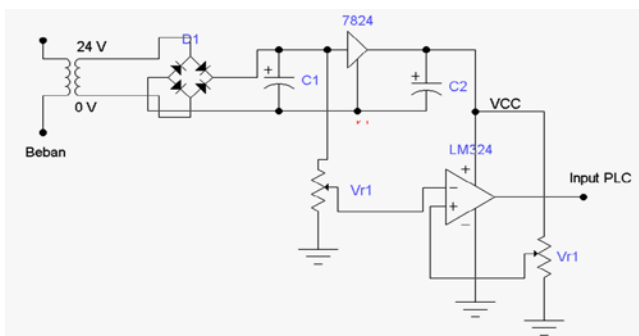
maka tegangan keluaran LM 324 akan berayun menuju tegangan Vcc dan apabila tegangan masukan lebih kecil dari Vref maka tegangan keluaran LM 324 akan menuju ke 0 Volt (*ground*). Keluaran penyearah dijadikan sebagai tegangan Vcc, tegangan referensi dan tegangan masukan LM 324. Keluaran penyearah yang dijadikan masukan LM 324 sangat besar sehingga tegangan tersebut harus dibagi menggunakan *trimpot*. *Trimpot* diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan tegangan yang lebih besar dari tegangan referensi pada saat kebutuhan daya bertambah. Pada LM 324 ini tegangan Vcc adalah 24 Volt seperti yang diperlihatkan pada Gbr. 11.



Gbr. 9 Rangkaian deteksi fase.



Gbr. 10 Rangkaian deteksi tegangan.



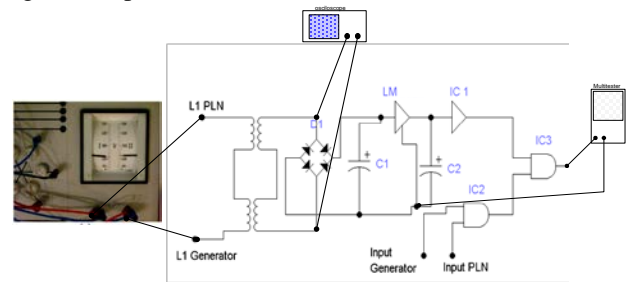
Gbr. 11 Rangkaian deteksi arus beban.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Rangkaian Deteksi Fase

Rangkaian ini dirancang mempunyai fungsi untuk mendeteksi beda fase dalam proses memparalelkan sumber energi listrik PLN dengan generator cadangan. Sistem deteksi

ini dapat digolongkan sebagai sensor. Adapun sensor beda fase berfungsi untuk mendeteksi apakah beda fase antar sumber energi listrik sudah sama, antara sumber listrik PLN dengan sumber listrik generator cadangan. Untuk mendeteksi beda fase tersebut, diperlukan suatu sensor deteksi fase seperti yang terlihat pada Gbr. 12.



Gbr. 12 Rangkaian pengujian deteksi fase.



Gbr. 13 Hasil pengukuran rangkaian deteksi fase.

TABEL II
HASIL PENGUKURAN RANGKAIAN DETEKSI FASE

No	Komponen yang diukur	Tegangan terukur (Vdc)
1	Output Rangkaian deteksi fase pada saat belum sama fase	0,87
2	Output Rangkaian deteksi fase pada saat sama fase	4,91

B. Pengujian Rangkaian Deteksi Arus Beban

Rangkaian deteksi arus beban lebih berfungsi untuk mendeteksi arus beban lebih pada keadaan beban terpasang. Ketika sumber listrik yang disuplai oleh PLN telah mencapai $\pm 80\%$ daya maksimum untuk melayani beban terpasang, maka rangkaian ini akan memberikan sinyal masukan ke PLC untuk mengaktifkan generator. Keluaran penyearah dijadikan sebagai tegangan Vcc, tegangan referensi dan tegangan masukan LM 324. Komponen *trimpot* diatur sedemikian rupa sehingga menghasilkan tegangan yang lebih besar dari tegangan referensi pada saat kebutuhan daya bertambah.

Dari pengujian rangkaian deteksi arus beban, diketahui bahwa tegangan yang dapat terbaca oleh input PLC adalah pada saat arus yang mengalir ke beban sebesar 3,5 A dengan hasil keluaran rangkaian sebesar 23,87 VDC.

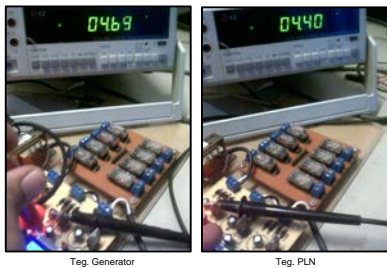
C. Pengujian Rangkaian Deteksi Tegangan

Rangkaian ini berfungsi untuk mendeteksi tegangan pada saat proses sinkronisasi sumber PLN dan generator.

Rangkaian yang digunakan sebagai rangkaian pendeteksi tegangan ini adalah rangkaian penyearah. Tegangan keluaran masing-masing sumber energi yaitu 220 VAC dikonversi menjadi tegangan 5 VDC. Keluaran rangkaian ini menjadi masukan ke I/O PLC. Pengukuran dilakukan pada keluaran masing-masing regulator dan pada keluaran gerbang AND. Keluaran rangkaian ini akan memberikan informasi ke PLC melalui rangkaian pengkondisian sinyal.

TABEL III
HASIL PENGUJIAN RANGKAIAN DETEKSI BEBAN

No	Arus Ke Beban (A)	Pengukuran Output Rangkaian (Vdc)
1	0,5	4,52
2	1	7,96
3	1,5	10,35
4	2	12,7
5	2,5	16,4
6	3	20,2
7	3,5	23,87
8	4	25,04
9	4,5	27,82



Gbr. 14 Pengukuran deteksi tegangan.

TABEL IV
HASIL PENGUKURAN RANGKAIAN DETEKSI TEGANGAN

No	Tegangan Sumber	Tegangan Terukur
1	Tegangan Generator	4.40 Volt DC**
2	Tegangan PLN	4,69 Volt DC**

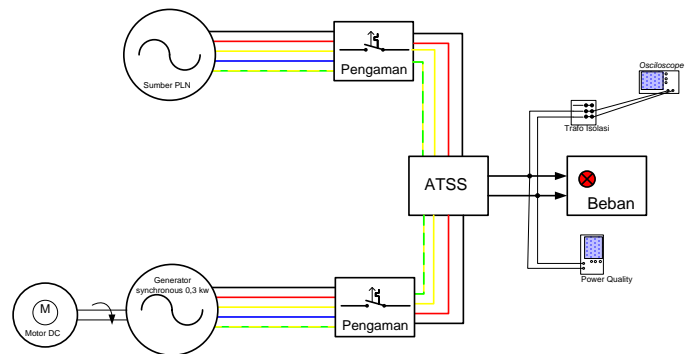
** Sumber setelah masuk rangkaian penurunan tegangan

D. Pengujian Tegangan, Arus dan Frekuensi pada saat Sinkron

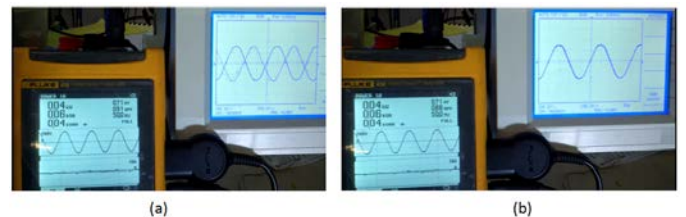
Tujuan pengujian tegangan, arus dan frekuensi pada saat sinkron adalah untuk mengetahui kualitas daya, tegangan, dan arus yang menyuplai beban dengan dua buah sumber listrik yang diparalelkan, setelah diketahui kualitas daya, arus, dan frekuensi masing-masing sumber diukur untuk menyuplai beban.

Pada Gbr. 17 terlihat grafik harmonik beban, dengan bervariasinya jenis beban maka besar harmonik (%THD) semakin bervariasi, khususnya pada harmonik arus terlihat cenderung semakin membesar pada beban R.L.C, sedangkan

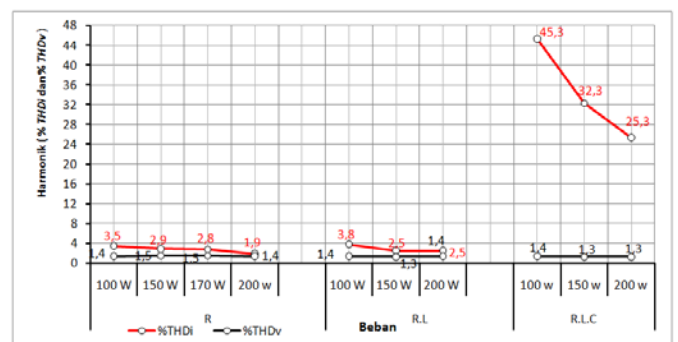
pada harmonik tegangan stabil. Hasil pengukuran pada saat sinkron menunjukkan bahwa %THDv pada sisi beban dengan perhitungan nilai rata-rata 1,35%, menurut standar IEEE bahwa %THDv pada saat sinkron pada sisi beban memenuhi standar. Untuk hasil pengukuran % THDi pada sisi beban, diambil dari nilai rata-rata adalah 18,7 %, maka pada %THD arus rata-rata pada saat kedua sumber sinkron pada sisi beban tidak memenuhi standar IEEE yang diizinkan. Hal tersebut terlihat dari kenaikan nilai dari %THDi yang paling besar pada saat beban R.L.C yang terukur. Jadi pada tiga jenis beban tersebut akan terjadi penurunan nilai rata-rata efisiensi arus sebesar 0,27 %, sehingga arus beban akan cenderung bertambah besar.



Gbr. 15 Pengujian kualitas daya dua buah sumber listrik pada saat sinkron ke beban.



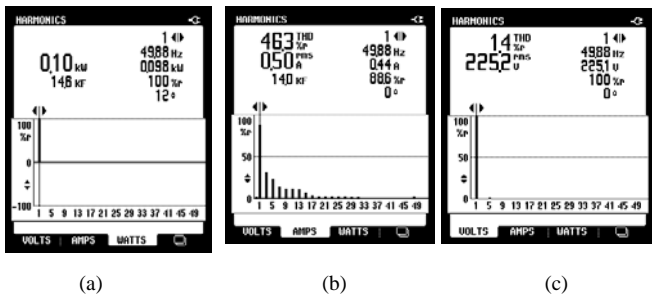
Gbr. 16 Pengujian respon sinyal kedua sumber listrik, (a) sebelum sinkron (b) setelah sinkron.



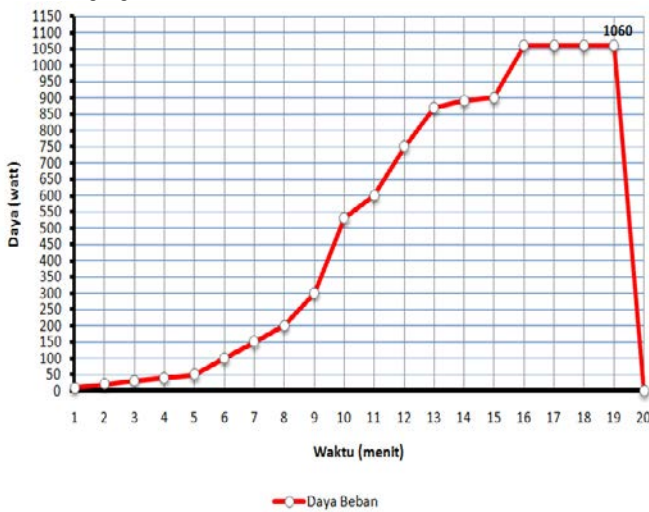
Gbr. 17 Grafik harmonik (% THDi & THDv) dengan variasi beban pada saat kedua sumber sinkron.

Dari tiga jenis data pengukuran %THDi dan %THDv yang terlihat maka hasil pada keluaran generator tidak memenuhi standar yang telah ditentukan. Untuk itu dapat kiranya menjadi pengembangan penelitian selanjutnya. Sedangkan

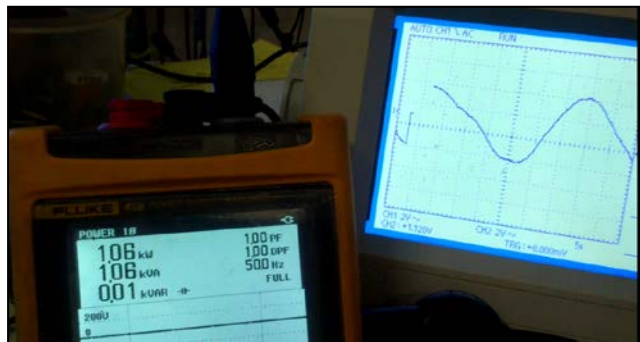
pada makalah ini data-data harmonik diambil hanya untuk memperlihatkan kualitas daya dengan beberapa variasi beban. Salah satu data dari pengukuran pada saat sinkron ditunjukkan pada Gbr. 18.



Gbr. 18 (a) Data harmonik daya, (b) data harmonik arus, (c) data harmonik tegangan.



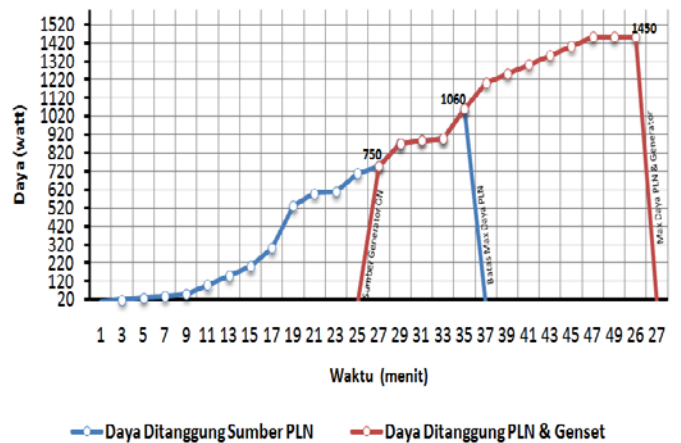
Gbr. 19 Grafik beban pada sumber PLN dengan daya 900 watt sebelum sinkron.



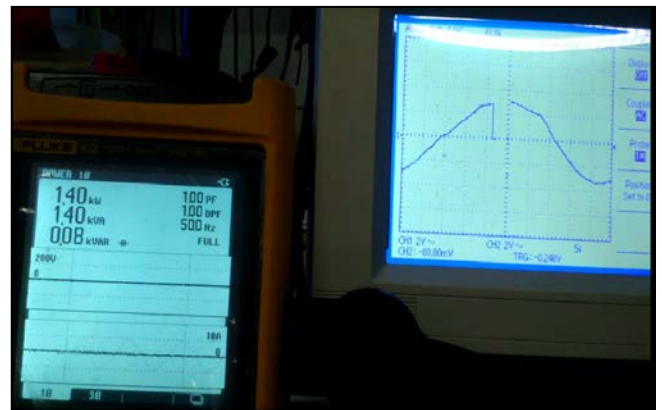
Gbr. 20 Respons sumber PLN terbebani maksimal.

Pada gambar grafik terlihat daya yang disuplai oleh kedua sumber listrik dengan cara disinkronkan, yaitu sebesar 1450 watt, dapat lebih besar dibanding dengan daya yang hanya disuplai sumber PLN, yang dibatasi dengan daya 900 watt, mencapai 1060 watt. Terlihat pada gambar, generator akan hidup pada saat sumber listrik dari PLN 620 watt dan akan disinkronkan masuk pada daya 750 watt. Dengan demikian, proses sinkron dua buah sumber listrik ini dapat memperbesar

daya yang disalurkan ke beban. Sistem ini membantu kekurangan daya pada salah satu sumber utama yaitu PLN.



Gbr. 21 Grafik beban pada sumber PLN dengan daya 900 watt setelah sinkron dengan generator 300 watt.



Gbr. 22 Respons sumber PLN dan generator terbebani maksimal

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap sistem kendali ATSS ini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dengan pengembangan sistem kendali ATS menjadi ATSS, maka sistem dapat mengoptimalkan pemakaian sumber energi listrik PLN dan generator secara bersamaan guna mengatasi kekurangan daya.
2. Sistem kendali ATSS dapat mengatasi kasus kekurangan daya listrik pada saat beban puncak yang terjadi pada kasus-kasus tertentu.
3. Pada sistem kendali ATSS, sistem dapat disesuaikan untuk beroperasi pada saat daya beban bertambah yang berlangsung relatif lama.
4. Kualitas daya dari hasil tiga jenis pengukuran yang didapat %THDi dan %THDv generator kualitasnya kurang baik dengan rata-rata %THDi adalah 25,9 %, dan %THDv rata-rata sebesar 14,7%, dibandingkan dengan standar yang diizinkan bila mengacu kepada standar IEEE yaitu untuk %THDi dan %THDv adalah sebesar 5%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada Kepala Laboratorium Teknik Kendali Fakultas Teknik UNTAN yang telah memberikan izin sebagai tempat percobaan dan pengambilan data.

REFERENSI

- [1] ZHUO Fang, WU Longhui, CHEN Zhe, WANG Xianwei, WANG Zhaoan, (2004), "Study on Soft Phase Locked method to Solving the Synchronization Problem of Active Power Filter in Stand-alone Power Grid" *IEEE Journals*.
- [2] James. M. Daley, Rene Casterschiold (1982), "Utilizing Emergency and Standby Power for Peak Shaving", *IEEE Journals*.
- [3] Ashour, H. (2004) "Automatic transfer switch (ATS) using programmable logic controller (PLC)" *IEEE Journals*.
- [4] Rene Castenschiold, (1974), "Solutions to Industrial and Commercial Needs Using Multiple Utility Services and Emergency Generator Sets" *IEEE Journals*.
- [5] Zuhail. (1997). "DASAR TENAGA LISTRIK", ITB Bandung.
- [6] Kadir, Abdul. (1999). "Mesin sinkron", Jakarta : Penerbit Djambatan
- [7] Warsito S. (1984). "Vademekum Elektronika". Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [8] Bolton, William. (2004). "Programmable Logic Controller (PLC) Sebuah Pengantar 3rd", diterjemahkan Oleh Irzam Harmain, Jakarta : Penerbit Erlangga.
- [9] PT. Perusahaan Listrik Negara (PERSERO) SPLN (1995) "Tegangan – Tegangan Standar".
- [10] IEEE Standard 519-1992, "Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems", The Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1993.
- [11] Elih Mulyana, (2008), "Pengukuran Harmonisa Tegangan dan Arus Listrik di Gedung Direktorat TIK Universitas Pendidikan Indonesia", Jurnal UPI.