

Rancang Bangun Simulator Perbaikan Faktor Daya Listrik Sebagai Modul Praktikum di Laboratorium Elektronika Daya

Aripriharta¹, Nofa Mardianto², Hikmatul Amri³, Muharnis⁴
^{1,2}Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
^{3,4}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bengkalis

*email: aripriharta.ft@um.ac.id¹, nofa_d3@yahoo.co.id², hikmatul_amri@polbeng.ac.id³,
muharnis@polbeng.ac.id⁴*

Abstrak - Dalam penelitian ini, konsep perbaikan faktor daya diwujudkan dalam bentuk simulator. Simulator perbaikan faktor daya yang dibuat mampu menginjeksi arus kapasitif secara manual maupun otomatis. Penambahan arus kapasitif secara manual diatur oleh unit kontrol manual yang dikemudikan oleh *toggle switch*. Injeksi arus kapasitif secara otomatis dilakukan oleh mikrokontroler sebagai unit kontrol otomatis. Simulator ini juga dilengkapi dengan pemantau $\cos\phi$ sebelum dan sesudah perbaikan yang ditampilkan pada LCD. Simulator mampu membaca $\cos\phi$ sebelum dan sesudah treatment dengan toleransi kesalahan masing-masing mencapai 0,01% dan 0,02% dari instrumen pembandingnya. Pada beban dengan jenis dan kapasitas yang beragam, besarnya daya nyata sebelum dan sesudah perbaikan selalu tetap. Perbaikan faktor daya pada level 0,85, besarnya daya reaktif dan daya semu setelah perbaikan akan berkurang. Sedangkan injeksi arus kapasitif atau injeksi daya reaktif lebih bersifat tidak linier.

Kata Kunci - *Faktor Daya, Perbaikan Faktor Daya, Simulator PFC*

Abstract - In this research, a concept of power factor correction is applied by simulator. This simulator could inject the capacitive current to the load, manually or automatically. The injected current is manually controlled by toggle switches. And, the capacitive current injected automatically by microcontroller as automatic control unit. This simulator has built-in $\cos\phi$ monitor using LCD. This simulator can measured $\cos\phi$ before and after treatment with error about 0.01% and 0.02% from the calibrated instrument. If the corrected power factor reach 0.85, a reactive power and apparent power become decrease. But, the injected capacitive current or injected reactive current has a nonlinear characteristics.

Keywords - *Power Factor, Power Factor Correction, PFC Simulator*

I. PENDAHULUAN

Pemantauan dan perbaikan faktor daya menjadi hal yang perlu diperhatikan. Semakin meningkatnya penggunaan beban induktif pada sektor industri membuat para teknisi mengembangkan sistem untuk memantau dan memperbaiki faktor daya. Peneliti [1] membuat desain dan simulasi koreksi faktor daya otomatis menggunakan mikrokontroler ATmega328. Hasil pembacaan ditampilkan pada layar LCD 4x16. Simulasi dalam penelitian tersebut menunjukkan sistem mampu mengurangi biaya pemakaian listrik pelanggan karena mampu memperbaiki faktor daya dari 0,66 menjadi 0,92. Ditujukan pada dunia industri, peneliti [2] mengembangkan sistem untuk mengukur faktor daya menggunakan PIC16F877. Penelitian tersebut difokuskan pada desain sistem yang sederhana dan hemat biaya. Hasil pengukuran ditampilkan pada layar LCD 2x16 dengan error pengukuran sebesar 0,01°.

Dalam bidang pendidikan, peneliti [3] mengungkapkan adanya bukti kesenjangan keterampilan dalam bidang teknik. Menurut survey terbaru di Inggris yang mencakup tahun

2017 hingga 2024, “Tenaga kerja teknik listrik diproyeksikan akan tumbuh sebesar 6,1% dari periode 2017 hingga 2024, menciptakan 2700 pekerjaan, dan pada saat yang sama 23,7% tenaga kerja diproyeksikan pensiun sehingga menciptakan lowongan pekerjaan lebih banyak”. Peneliti [4] juga mengungkapkan teknisi kelistrikan harus memiliki kompetensi tinggi. Berdasarkan kebutuhan tersebut, diperlukan pengembangan media pembelajaran yang efektif dan kredibel.

Para teknisi mulai bergerak untuk mengembangkan media pembelajaran yang berkaitan dengan faktor daya. Peneliti [5] mengembangkan basis data edukasi untuk koreksi faktor daya tiga fasa. Basis data dikembangkan pada lingkungan Microsoft access yang meliputi bagian kognitif (rangkaiannya, struktur, operasi dasar) dan bagian praktisi (analisis matematika, struktural sintesis, desain dan simulasi). Basis data tersebut memungkinkan siswa/mahasiswa meninjau sirkuit koreksi faktor daya selama pembelajaran dengan lebih baik.

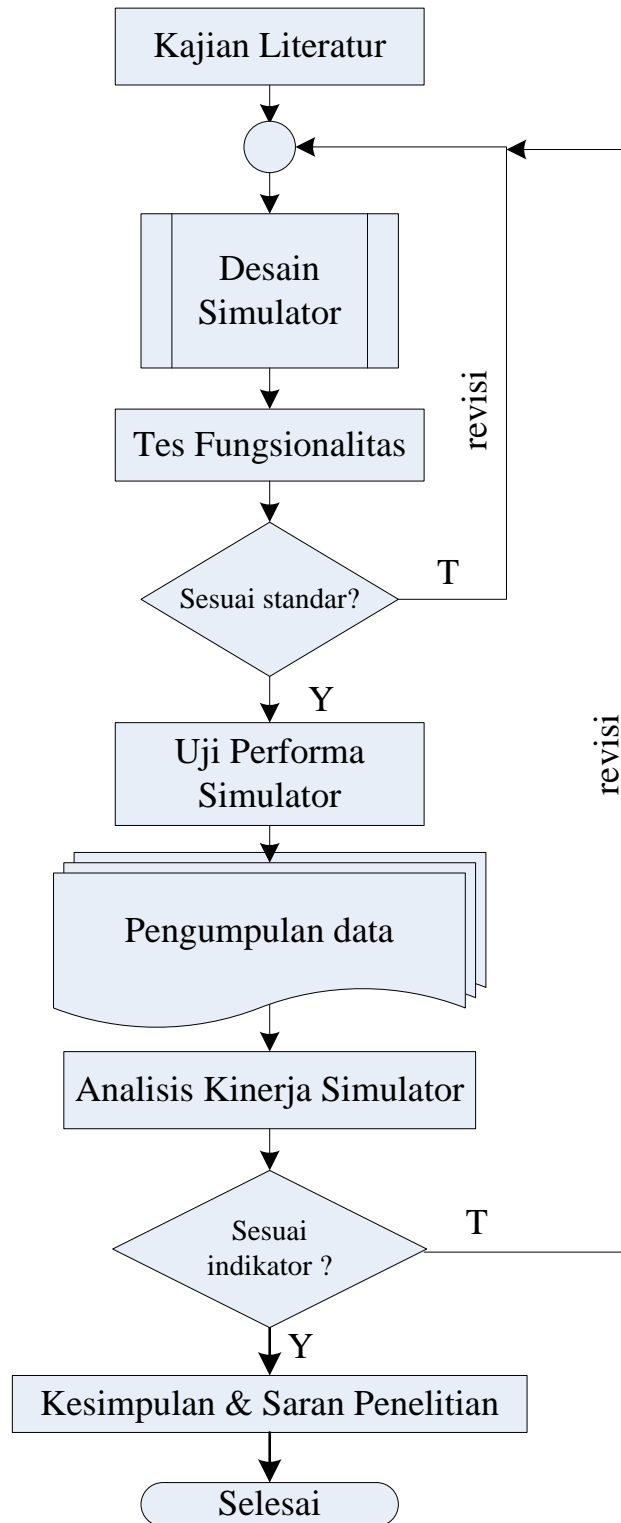
Beberapa peneliti juga menggunakan hardware untuk mendemonstrasikan secara langsung pengukuran dan perbaikan faktor daya. Peneliti [6] mengembangkan teknik pembelajaran pada topik faktor daya menggunakan digital *power factor controller* PFC6DA (produk ETI group). Peneliti [6] mengungkapkan teknik pembelajaran yang dikembangkannya mampu membangun keterampilan teknis dan perangkat lunak yang dibutuhkan oleh pasar tenaga kerja. Pemantauan dan optimisasi faktor daya berbasis *cloud data logger* dikembangkan oleh peneliti [7]. Sistem tersebut mampu menghitung kombinasi nilai kapasitor yang optimal untuk meningkatkan faktor daya melalui pengukuran tegangan, arus, dan daya aktif. Variabel tersebut diakuisisi menggunakan sensor dan disimpan pada *google spreadsheet* untuk dipantau dan dianalisis. Namun, perangkat yang dikembangkan tidak dilengkapi LCD untuk menampilkan hasil pemantauan.

Pada penelitian ini dikembangkan simulator perbaikan faktor daya listrik sebagai modul praktikum dalam dunia pendidikan. Sistem menggunakan ATmega 16 sebagai pemroses utama yang dilengkapi LCD 2x16 untuk menampilkan hasil pemantauan. Sistem yang dikembangkan dilengkapi dengan dua mode operasi, yaitu otomatis dan manual. Pada mode operasi otomatis, injeksi arus kapasitif dilakukan secara otomatis oleh mikrokontroler. Injeksi arus kapasitif pada operasi manual dilakukan melalui *toggle switch*.

Besarnya faktor daya beban yang dapat diperbaiki oleh simulator ini mencapai level 0,85 *lag*. Simulator ini diharapkan dapat menjadi sebuah modul praktikum perbaikan faktor daya listrik di Laboratorium Elektronika Daya Jurusan Teknik Elektro FTUM.

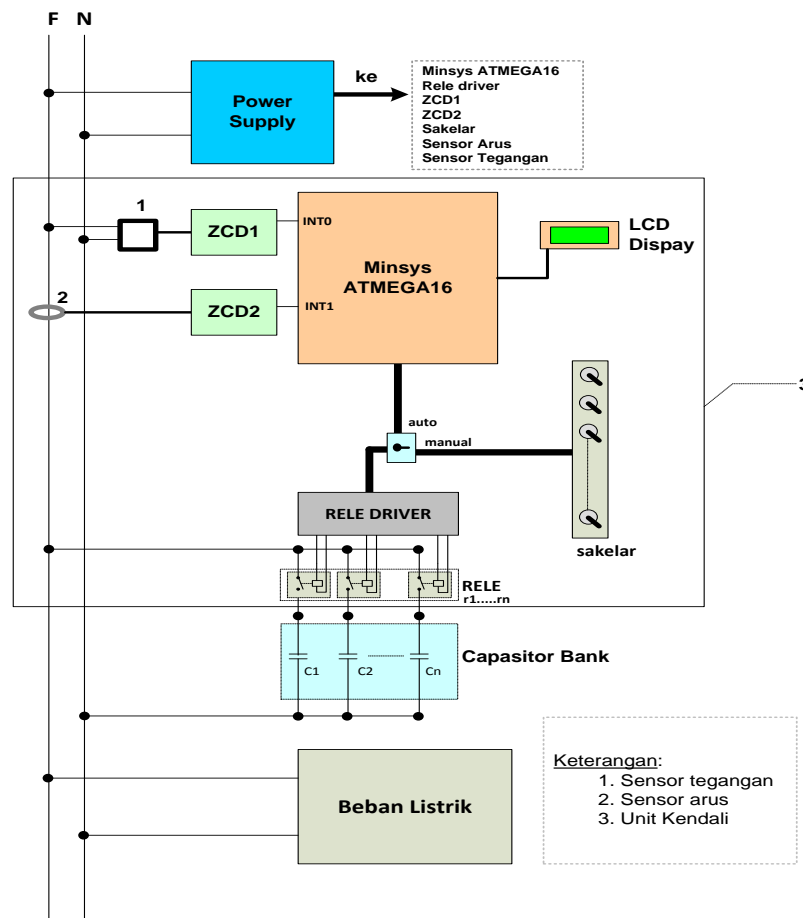
II. METODE

Penelitian ini difokuskan pada rancang bangun alat perbaikan faktor daya listrik dengan beberapa asumsi bahwa injeksi VAR maksimal diasumsikan terjadi ketika ada beban penuh dengan $\cos\Phi=0,57$ *lag* pada daya terpasang 900VA. Tegangan dan frekuensi jala-jala selalu tetap. Masing-masing sebesar 220V_(rms) dan 50Hz. Kapasitor diasumsikan ideal, sehingga tidak menyerap daya nyata dari sumber ($P=0W$). Penelitian ini termasuk jenis penelitian eksperimen (*pure-experimental*). Ekperimen meliputi perencanaan, pembuatan dan pengujian performa simulator perbaikan faktor daya listrik. Alur penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur Penelitian

Simulator perbaikan faktor daya didesain mampu bekerja secara manual maupun otomatis. Simulator ini dibagi menjadi 5 elemen (Gambar 2), yakni: *capasitor bank*, terminal beban, relai dan *driver*, unit kontrol manual, unit *control* otomatis, unit *display* faktor daya dan terminal pengukuran.



Gambar 2. Arsitektur Simulator Perbaikan Faktor Daya Listrik

Komponen ZCD1 dan ZCD2 menghasilkan beda fasa antara tegangan dan arus. Pin keluaran komponen tersebut dihubungkan dengan pin INT0 dan INT1 mikrokontroler sebagai sinyal masukan. Simulator dilengkapi dengan LCD 2x16 untuk menampilkan nilai tegangan, arus, daya, dan faktor daya. Simulator juga dilengkapi dengan selektor untuk mengubah mode kerja otomatis ke manual maupun sebaliknya. Ketika simulator bekerja pada mode otomatis, mikrokontroler mengatur injeksi arus kapasitif melalui kontrol driver relai. Pada mode manual, injeksi arus kapasitif diatur melalui *toggle switch* yang terhubung dengan driver relai.

Mode manual memberikan kemudahan siswa untuk memahami pengaruh nilai *capacitor bank* pada perbaikan faktor daya berdasarkan sinyal masukan dari ZCD1 dan ZCD2. Setelah memahami pengaruh nilai *capacitor bank* pada faktor daya, mode otomatis membantu siswa mendesain dan menerapkan sistem kontrol otomatis melalui pemrograman ATmega16.

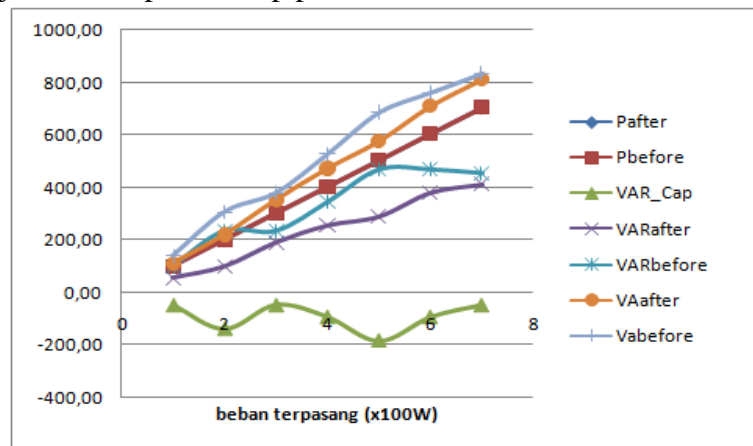
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kesalahan terbesar terjadi pada saat beda fasa 25° , simulator membaca faktor daya sebesar 0,884, selisih 0,010 dari yang seharusnya terbaca 0,894. Kesalahan terkecil terjadi pada saat beda fasa 0° . Simulator membaca faktor daya tepat sama dengan 1, sehingga selisih pembacaan sama dengan 0. Rata-rata kesalahan pembacaan sebesar 0,020% dari instrumen pembanding. Distribusi penyimpangannya terjadi pada beda fasa tertentu saja. Secara kuantitatif, tingkat kesalahan ini masih dalam batas toleransi. Hasil pemantauan $\cos\phi$ dengan simulator dapat dianggap valid, mengingat batas atau toleransi penyimpangan/kesalahan maksimal 10%.

Berdasarkan data tersebut dapat dilihat bahwa tingkat kesalahan injeksi VAR simulator mencapai 0,010%. Mengingat tingkat kesalahan ini jauh di bawah batasan maksimal yang diijinkan (10%), simulator dikatakan valid dan sesuai dengan spesifikasinya.

Elemen ZCD1 dan ZCD2 menghasilkan bedafasa antara tegangan dan arus. Dengan menetapkan beda fasa 10° diperoleh sinyal masukan INTO dan INT1 seperti pada Gambar berikut ini. Pada data yang sama faktor daya terbaca sebesar 0,984 dan ditampilkan pada LCD.

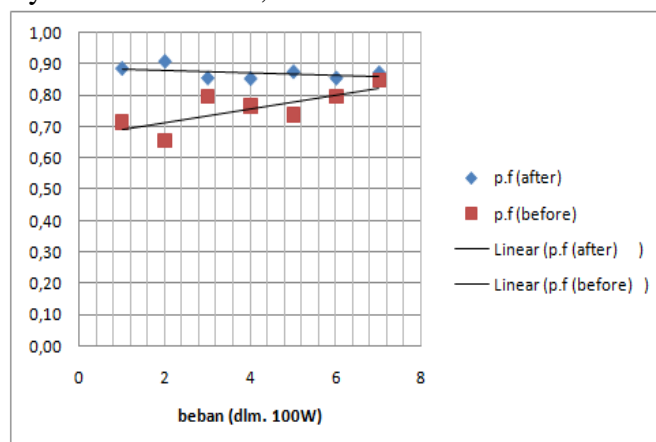
Simulator diuji coba untuk mengetahui performanya dalam melakukan perbaikan faktor daya. Beban yang digunakan dikelompokkan secara acak, baik kapasitas, maupun jenisnya. Berdasarkan data-data di atas dapat dibuat grafik faktor daya, arus beban, arus kapasitor, daya nyata, daya semu, daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan (baik secara manual maupun otomatis), dan injeksi VAR pada setiap perubahan beban.



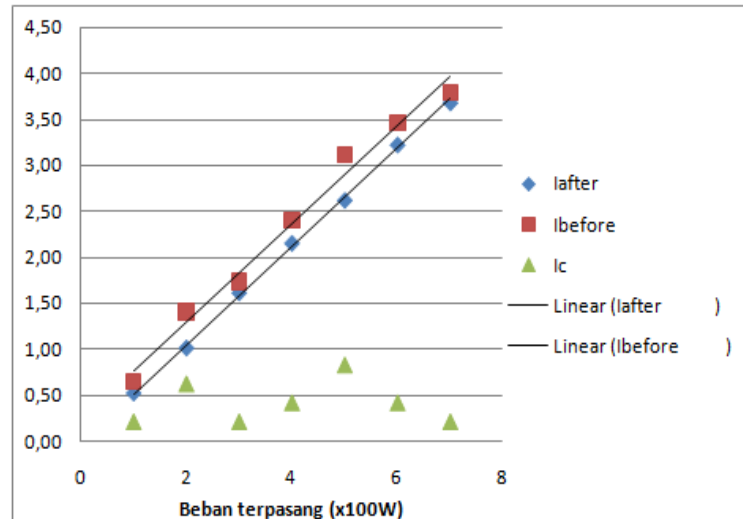
Gambar 3. Daya nyata, daya semu, daya reaktif sebelum dan sesudah perbaikan

Secara umum, Gambar 3 memperlihatkan daya nyata sebelum dan sesudah perbaikan besarnya tetap. Oleh karena itu, perbaikan faktor daya hanya memberi pengaruh pada daya reaktif. Data yang diperoleh menunjukkan daya reaktif dan daya semu cenderung meningkat, sedangkan daya reaktif yang diinjeksikan oleh kapasitor cenderung tak linier.

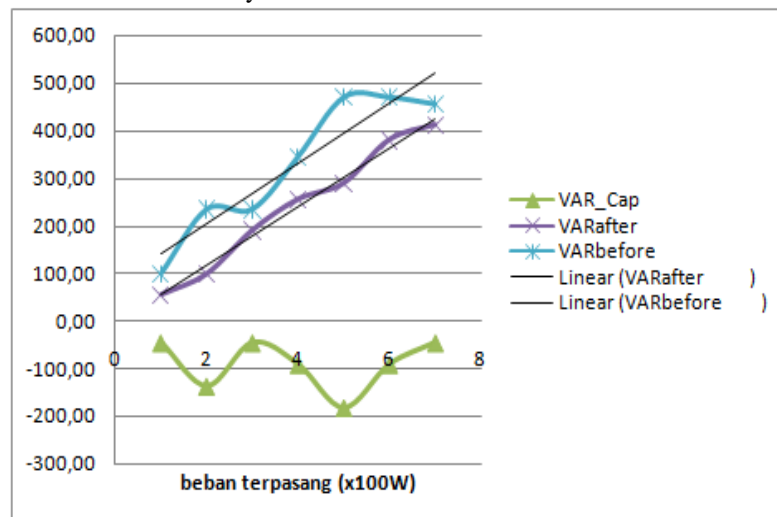
Grafik pada Gambar 4 menunjukkan bahwa pada setiap kondisi beban, faktor daya dapat diperbaiki sampai ke level 0,85 atau lebih. Margin perbaikan faktor daya pada beban dengan faktor daya yang tinggi (>0,8) lebih kecil dari beban dengan faktor daya kurang dari 0,8. Margin terkecil terjadi pada saat faktor daya beban mendekati 0,85, sedangkan margin terbesar pada faktor daya beban sekitar 0,6.



Gambar 4. Faktor daya sebelum dan sesudah perbaikan



Gambar 5. Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Perbaikan



Gambar 6. Daya Reaktif Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Dari Gambar 5 dan 6 terlihat bahwa setelah faktor daya diperbaiki minimal sampai 0,85, maka arus yang ditarik oleh beban akan berkurang. Hal ini terjadi karena adanya injeksi arus kapasitif yang menyuplai beban, sehingga komponen reaktif arus beban akan berkurang. Karena komponen aktif arus beban hampir tidak berubah, maka berkurangnya komponen reaktifnya menyebabkan arus beban rms juga berkurang. Jika jenis dan kapasitas beban yang ditambahkan seragam maka injeksi arus kapasitif menjadi linier. Tetapi dalam kasus ini jenis dan kapasitas beban yang dipilih dalam pengujian tidak seragam. Akibatnya, besar kecilnya injeksi arus kapasitif yang mengurangi komponen reaktif arus beban bersifat tidak linier.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan interpretasi data hasil pengujian dan analisis dapat disimpulkan bahwa performa simulator mampu membaca $\cos\phi$ sebelum dan sesudah treatment dengan toleransi kesalahan masing-masing mencapai 0,01% dan 0,02% dari instrumen pembandingnya. Pada beban dengan jenis dan kapasitas yang beragam, besarnya daya nyata sebelum dan sesudah perbaikan selalu tetap. Perbaikan faktor daya pada level 0,85, besarnya daya reaktif dan daya semu setelah perbaikan akan berkurang. Sedangkan injeksi arus kapasitif atau injeksi daya reaktif lebih bersifat tak linier sehingga untuk penelitian selanjutnya perlu dianalisis lebih

lanjut dan mempertimbangkan tentang pengaruh efek harmonisa akibat penggunaan beban-beban tak liner dalam kaitannya dengan adanya distorsi arus sumber dan pergeseran faktor daya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dari hati yang paling dalam penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dan berkontribusi pada penelitian ini. Semoga jurnal ini bermanfaat bagi akademisi dan praktisi.

REFERENSI

- [1] Taye, A. 2018. "*Design and Simulation of Automatic Power Factor Correction for Industry Application*". International Journal of Engineering Technologies and Management Research, Vol. 5(2), pp. 10-21.
- [2] Rustemli, S. dan Ates, M. 2012. "*Measurement and Simulation of Power Factor using PIC16F877*". Electrical Review, pp. 290-294.
- [3] Mutale, J. 2018. *Education Challenges: Issues with Power Engineering Education [In My View]*. IEEE Power and Energy Magazine, Vol. 16(5), pp. 120-122.
- [4] Levinzon, S. V. dan Tsarkova, N. V. 2016. "*The teaching of electrical and electronics engineering at technical Universities in the world*". International Universities Power Engineering Conference, pp. 1-5.
- [5] Zimin, A. M. et al. 2005. "*Development of the Educational Database on Three-Phase Power Factor Correctors*". European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1-8.
- [6] Iorgulescu, M. 2017. "*Learning and Training Techniques in Laboratory about Power Factor Compensation*". Journal of Electrical Engineering, Electronic, Control and Computer Science, Vol. 3(8), pp. 1-6.
- [7] Ortega, A. C., Sutil, F. J. S. dan Hernandez, J. D. C. 2019. "*Power Factor Compensation Using Teaching Learning Based Optimization and Monitoring System by Cloud Data Logger*". Jurnal Sensor MDPI, Vol. 19(9), pp. 1-23.