

Analisis *Power Quality* Sistem Kelistrikan Pada Apartemen Malang City Point

Zahra Mulia Sari^{*a)}, Ahmad Hermawan.^{a)}, Sapto Wibowo^{a)}

(Artikel diterima: September 2020, direvisi: Oktober 2020)

Abstract: *The use of equipment with a high non-linear load causes a decrease in the quality of power (Power Quality) at Malang City Point Apartment. Power quality analysis is an important requirement in the electrical system and needs special attention to save energy and costs. Savings can be achieved by reducing or even eliminating losses resulting from the use of non-linear loads. This thesis aims to present the results of an analysis of power quality conditions at Malang City Point Apartments. This analysis includes voltage, current, voltage and current imbalance, power factor, current THD and measured voltage. The system is designed using Web - Based Power Quality Meter (PM 5110) as a measurement tool, then the results are analyzed and compared with existing standards to evaluate power quality in Malang City Point Apartments. Among the various power quality problems measured, it was found that the main problems of power quality in Malang City Point Apartments were the occurrence of overvoltages and current harmonic distortion. So it is necessary to do repairs on this to overcome the overvoltage by reducing the operation of equipment that has a large load and repairing neutral conductors. Furthermore, to reduce the system harmonics, it is designed by designing a single tuned passive filter and simulated using the ETAP software version 16.0.0.*

Keywords: *power quality, harmonics, Web – Based Power Quality Meter (PM 5110), ETAP 16.0.0*

1. Pendahuluan

Apartemen Malang City Point merupakan salah satu jenis hunian tempat tinggal terbesar yang terdapat di Kota Malang. Terletak di kawasan Malang sebelah barat yang berbatasan langsung dengan Kecamatan Dau dan Kabupaten Malang. Kawasan ini merupakan bagian dari Central Business District (CBD) yang sengaja dibuat terintergeasi dengan pusat belanja dan hotel.

Pemenuhan kebutuhan energi pada Apartemen Malang City Point, didapatkan dari 1 trafo PLN dengan kapasitas 1.600 kVA (1 *incoming* dan 1 *outgoing*). Beban yang ada di apartemen pada umumnya terdiri dari sistem penerangan, AC, LCD TV, lemari pendingin, pompa air, dan beban-beban listrik lainnya.

Kualitas daya listrik yang buruk atau adanya gangguan dapat mengakibatkan pelanggan yang bersangkutan mengalami kerugian cukup besar, dimana suatu aktifitas akan terhenti atau produk yang dihasilkan akan menjadi cacat atau rusak. Oleh karena itu perlu diketahui tingkat kualitas daya listrik dengan melakukan analisa kualitas daya listrik serta perbaikan terhadap rugi – rugi yang ada. Seperti pada paragraf sebelumnya bahwa beban yang terdapat pada Apartemen Malang City Point diduga

banyak mengandung beban non linier maka diperlukan evaluasi terhadap sistem kelistrikan Apartemen Malang City Point.

Terjadinya beban non linier merupakan penyebab utama munculnya harmonisa pada jaringan listrik, dimana harmonisa tersebut merupakan permasalahan yang sangat serius. Sedangkan beban non linier adalah peralatan-peralatan elektronika daya seperti *variable speed drive*, *rectifier*, inverter dan UPS. Peralatan elektronika daya tersebut membawa kerugian yaitu memberikan bentuk gelombang yang tidak sinusoidal. Gelombang tersebut terinterferensi dengan gelombang frekuensi tinggi (harmonisa) sehingga menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik beserta peralatannya. Terjadinya ketidakseimbangan beban juga sering terjadi karena terjadinya ketidakseimbangan beban antara masing-masing fasa (fasa R, S, dan T) sehingga menyebabkan munculnya arus netral pada trafo. Analisa kualitas daya di Apartemen Malang City Point didapat berdasarkan pengambilan data yang dilakukan menggunakan alat *Web – Based Power Quality Meter (PM 5110)*

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Kualitas Daya

Kemampuan suatu peralatan listrik untuk bekerja dengan optimal sesuai dengan spesifikasi peralatan adalah salah satu definisi dari kualitas daya listrik. *Power quality* atau kualitas daya

* Korespondensi: email penulis : zahraarifin1998@gmail.com

a) Prodi Sistem Kelistrikan, Jurusan Teknik Elektro, Polinema.
Jalan Soekarno-Hatta No. 9 Malang 65141

listrik adalah suatu konsep yang memberikan gambaran tentang baik atau buruknya mutu daya listrik akibat adanya beberapa jenis gangguan yang terjadi pada sistem kelistrikan.

Kualitas daya banyak dipengaruhi antara oleh jenis beban yang tidak linear, ketidak seimbangan pembebanan, distorsi gelombang harmonik yang melebihi standar dan lain- lain. Penurunan kualitas daya dapat menyebabkan peningkatan rugi-rugi pada sisi beban, bahkan menyebabkan penurunan kapasitas daya pada sumber pembangkit (generator).

2.2. Permasalahan Kualitas Daya Listrik

Permasalahan kualitas daya listrik disebabkan oleh gejala – gejala atau fenomena – fenomena elektromagnetik yang terjadi pada sistem tenaga listrik. Gejala elektromagnetik yang menyebabkan permasalahan kualitas daya adalah (Dugan, 1996 : 15) :

- 1 Harmonisa,
- 2 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Pendek (*Short-Duration Variations*),
- 3 Gejala Perubahan Tegangan Durasi Panjang (*Long-Duration Variations*),
- 4 Ketidakseimbangan Tegangan.

2.3 Harmonisa

Harmonisa adalah gangguan yang terjadi dalam sistem distribusi tenaga listrik yang disebabkan adanya distorsi gelombang arus dan tegangan (Lubis, 2011:2). Distorsi gelombang arus dan tegangan ini disebabkan adanya pembentukan gelombang-gelombang dengan frekuensi kelipatan bulat dari frekuensi fundamental.

2.4 THD (Total Harmonic Distortion)

Total Harmonic Distortion (THD) merupakan parameter harmonisa yang didefinisikan sebagai persentase total komponen harmonisa terhadap komponen fundamentalnya (komponen dapat berupa tegangan atau arus) (Lubis, 2011:3). Secara umum digunakan indeks harmonisa, yaitu :

$$\text{THD Tegangan} \quad : \quad \text{THD}_v = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}{V_1} \times 100$$

$$\text{THD Arus} \quad : \quad \text{THD}_i = \frac{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}{I_1} \times 100 \quad [2-1]$$

2.5 IHD (Individual Harmonic Distortion)

Individual Harmonic Distortion (IHD) merupakan rasio antara harga efektif dari harmonisa individual terhadap harga efektif dari gelombang dasarnya yang dinyatakan dalam % (Lubis, 2011:3).

Rasio masing-masing komponen harmonik terhadap distorsi arus dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$\text{IHD} = \frac{I_h}{I_1} \times 100\% \quad [2-2]$$

2.6 TDD (Total Demand Distortion)

Total Demand Distortion (TDD) merupakan distorsi harmonik arus total yang dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$\text{TDD}_1 = \sqrt{\frac{\sum_{n=2}^{\infty} I_n^2}{I_{(1)\text{rated}}}} \quad [2-3]$$

2.7 Ketidakseimbangan Tegangan

Ketidakseimbangan tegangan (*voltage imbalance*, atau *voltage unbalance*) didefinisikan sebagai penyimpangan atau deviasi maksimum dari nilai rata-rata tegangan sistem tiga fase tegangan atau arus listrik, dibagi dengan rata-rata tegangan tiga fase atau arus tersebut, dan dinyatakan dalam presentase (Dugan, 1996). Dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{\text{rata-rata}} = \frac{V_{R1} + V_{R2} + V_{R3}}{3} \quad [2-4]$$

$$V_R = a \times V_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka: } a = \frac{V_R}{V_{\text{rata-rata}}} \quad [2-5]$$

$$V_S = b \times V_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka: } b = \frac{V_S}{V_{\text{rata-rata}}} \quad [2-6]$$

$$V_T = c \times V_{\text{rata-rata}} \quad \text{maka: } c = \frac{V_T}{V_{\text{rata-rata}}} \quad [2-7]$$

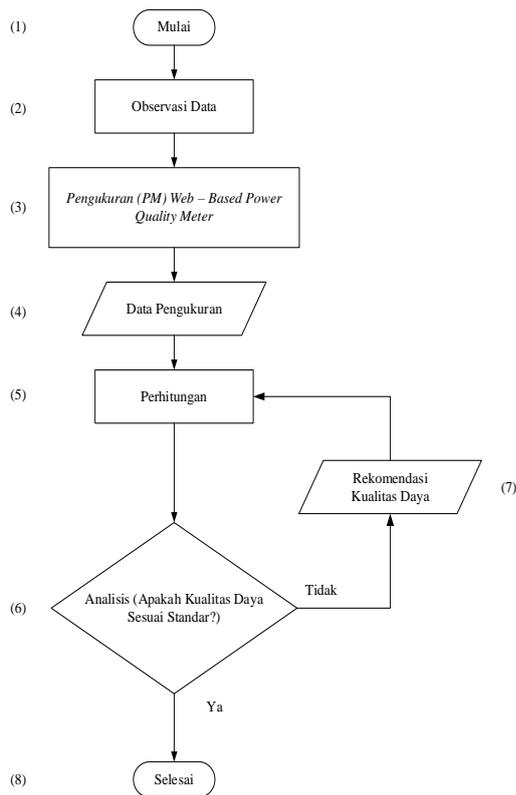
$$\text{Ketidakseimbangan} = \frac{|a-1| + |b-1| + |c-1|}{3} \times 100\% \quad [2-8]$$

3. Metodologi Penelitian

3.1 Data Penelitian

Metode yang dipakai untuk penelitian dalam Penelitian ini adalah dengan cara pengambilan data berdasarkan pengukuran arus, tegangan, dan daya. Data – data tersebut akan digunakan untuk menentukan analisa kualitas daya yang ada pada gedung Apartemen Malang City Point. Selain itu juga dilakukan wawancara dengan narasumber terkait sebagai penunjang data-data yang dirasa masih kurang atau belum cukup.

3.2 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.1. Diagram Alir Penulisan Penelitian (Flowchart)

4. Pembahasan

4.1. Sistem Kelistrikan Apartemen Malang City Point

Apartemen Malang City Point adalah bangunan bertingkat yang digunakan sebagai hunian tempat tinggal. Bangunan ini memiliki 20 lantai dengan jumlah unit tiap lantainya adalah 19 unit. Untuk tipe 1 kamar tidur memiliki kapasitas daya listrik sebesar 1300 watt dan untuk tipe 2 kamar tidur memiliki kapasitas daya listrik sebesar 2200 watt.

Sistem kelistrikan di Apartemen Malang City Point ini disuplai dengan 1 trafo yang kapasitas dayanya 1600 kVA dari PLN (1 incoming dan 1 outgoing). Untuk mengetahui besarnya harmonisa pada suatu sistem distribusi, dapat dilakukan dengan pengukuran menggunakan Web Based Power Quality Meter. Hasil pengukuran kemudian dapat dibandingkan dengan standar batasan harmonisa untuk penilaian harmonisa dan selanjutnya dilakukan analisa perhitungan. Pengukuran dilakukan pada panel MDP.

4.2 Perbandingan Batas Standar Harmonisa

Tabel 4.1. Data Perbandingan Standar Harmonisa Arus per Fasa

Orde Harmonisa	IHDi-R (%)	IHDi-S (%)	IHDi-T (%)	Standar IEEE 519-1992	Keterangan
3	7,88	8,31	13,64	15	Sesuai
5	3,91	3,24	4,25	15	Sesuai
7	12,42	13,56	14,77	15	Sesuai
9	1,69	3,45	3,91	15	Sesuai
11	10,94	10,05	9,87	7	Tidak Sesuai
13	8,32	5,53	6,72	7	Tidak Sesuai
15	0	1,69	0	7	Sesuai
	TDD-R (%)	TDD-S (%)	TDD-T (%)	Standar IEEE 519-1992	Keterangan
	18,03	25,29	23,65	20,0	Tidak Sesuai

Data pengukuran harmonisa di Apartemen Malang City Point dibandingkan dengan standar IEEE 519-1992 pada *range* SCR >1000, batasan IHDi orde $h < 11$ sebesar 15%, untuk IHDi orde $11 \leq h < 17$ 7% dan batasan TDD sebesar 20,0%. Disimpulkan bahwa harmonisa arus yang melebihi standar terjadi pada IHDi orde ke 11, IHDi orde ke 13, dan TDD yang terukur juga melebihi batas standar maka pada kondisi ini harus dilakukan reduksi harmonisa dengan menggunakan filter.

Tabel 4.2. Data Perbandingan Standar Harmonisa Tegangan

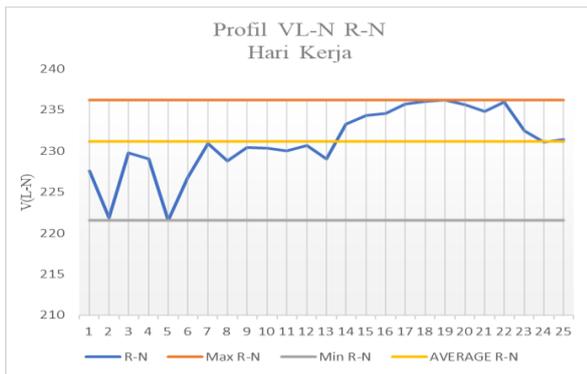
Orde Harmonisa	IHDv-R (%)	IHDv-S (%)	IHDv-T (%)	Standar IEEE 519-1992	Keterangan
3	1,52	0	0	3,0	Sesuai
5	1,78	1,65	1,69	3,0	Sesuai
7	0	0	0	3,0	Sesuai
9	0	0	0	3,0	Sesuai
11	0	0	0	3,0	Sesuai
13	0	0	0	3,0	Sesuai
15	0	0	0	3,0	Sesuai
	THDv-R (%)	THDv-S (%)	THDv-T (%)	Standar IEEE 519-1992	Keterangan
	3,31	2,33	2,39	5,0	Sesuai

Dapat dilihat pada Tabel 2 harmonisa tegangan individual berdasarkan perbandingan yang dilakukan dengan standar IEEE 519-1992 pada *range* <69kV karena sistem tegangan pada Apartemen Malang City Point adalah 20kV – 0,4kV. Hasil yang ada menunjukkan kesesuaian dengan standar. Kondisi ini juga dapat diartikan bahwa untuk tegangan pada penelitian ini tidak terganggu oleh harmonisa dan tidak perlu dilakukan reduksi harmonisa tegangan.

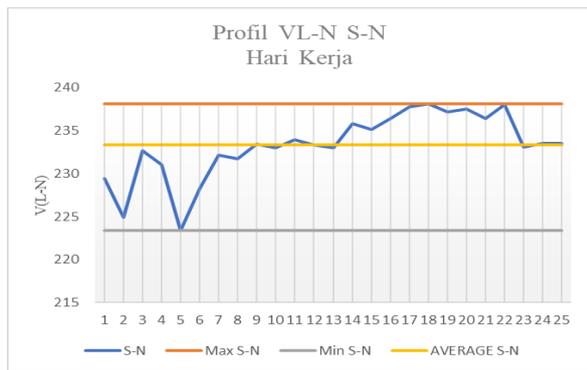
4.3 Analisa Kondisi Tegangan

4.3.1. Overvoltage

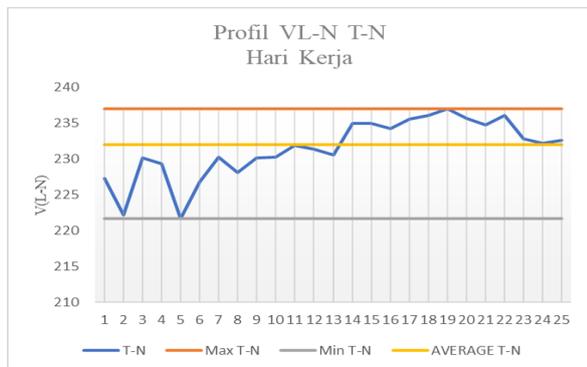
Pada Gambar 4.1, Gambar 4.2., dan Gambar 4.3. menunjukkan variasi nilai dari tegangan tiga fasa *line to neutral* yaitu nilai minimum, maksimum dan rata-rata. Dari gambar tersebut, diperoleh data tegangan tertinggi pada Apartemen Malang City Point adalah sebesar 238,1 V, yaitu pada pukul 06.00 WIB.



Gambar 4.1. Grafik Profil Tegangan R



Gambar 4.2. Grafik Profil Tegangan S



Gambar 4.3. Grafik Profil Tegangan T

Kenaikan dari tegangan nominal : $220 \text{ V} \times 5\% = 231 \text{ V}$ (batas standar tegangan yang diperbolehkan). Jadi dapat disimpulkan bahwa Apartemen Malang City Point mengalami tegangan lebih (*overvoltage*). Berdasarkan Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No.1 1995 tentang standar tegangan yang menyatakan bahwa batas kenaikan tegangan distribusi sebesar 5% dari tegangan nominal.

4.3.2. Undervoltage

Variasi nilai dari tegangan tiga fasa line to netral yaitu nilai

minimum, maximum dan rata-rata Apartemen Malang City Point yang ditunjukkan pada Gambar 4.3, Gambar 4.4, dan Gambar 4.5 diperoleh hasil sebesar 221,54 V, yaitu pada pukul 13.00 WIB.

Kenaikan dari tegangan nominal : $220 \text{ V} \times -10\% = 198 \text{ V}$ (batas standar tegangan yang diperbolehkan). Dari data tersebut dapat disimpulkan bahwa Apartemen Malang City Point tidak terjadi kurang (*undervoltage*). Berdasarkan standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) No.1 1995 tentang standar tegangan yang menyatakan bahwa batas penurunan tegangan distribusi sebesar 10% dari tegangan nominal.

4.4 Analisa Ketidakseimbangan Tegangan

Menurut NEMA MG-1-1998 formula menentukan ketidakseimbangan tegangan *line to netral* adalah sebagai berikut:

$$V_{rata-rata} = \frac{V_R + V_S + V_T}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{228,78 + 231,73 + 228,11}{3}$$

$$= 229,8 \text{ V}$$

$$V_R = a \times V_{rata-rata}; \text{ maka } a = \frac{V_R}{V_{rata-rata}} = \frac{228,78}{229,8} = 0,996$$

$$V_S = b \times V_{rata-rata}; \text{ maka } b = \frac{V_S}{V_{rata-rata}} = \frac{231,73}{229,8} = 1,008$$

$$V_T = c \times V_{rata-rata}; \text{ maka } c = \frac{V_T}{V_{rata-rata}} = \frac{228,11}{229,8} = 0,993$$

$$\%V_{unbalance} = \frac{|1-a| + |1-b| + |1-c|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{|1-0,995| + |1-1,008| + |1-0,992|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,004 + 0,008 + 0,007}{3} \times 100\% = 0,67\%$$



Gambar 4.4. Grafik Ketidakseimbangan Tegangan

Berdasarkan standar NEMA MG-1-1998 tentang standar ketidakseimbangan tegangan yang menyatakan bahwa batas ketidakseimbangan tegangan adalah 1%. Maka data diatas mengindikasikan bahwa Apartemen Malang City Point tidak terjadi ketidakseimbangan tegangan (voltage unbalance) melebihi standar yang ditentukan, yaitu ketidakseimbangan tertinggi sebesar 0,71%.

4.5 Analisa Ketidakseimbangan Arus

Berikut perhitungan ketidakseimbangan arus menurut NEMA MG-1-1998 :

$$I_{rata-rata} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{17,12 + 13,31 + 20,97}{3}$$

$$= 17,13 \text{ A}$$

$$I_R = a \times I_{rata-rata}; \text{ maka } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{17,12}{17,13} = 0,999$$

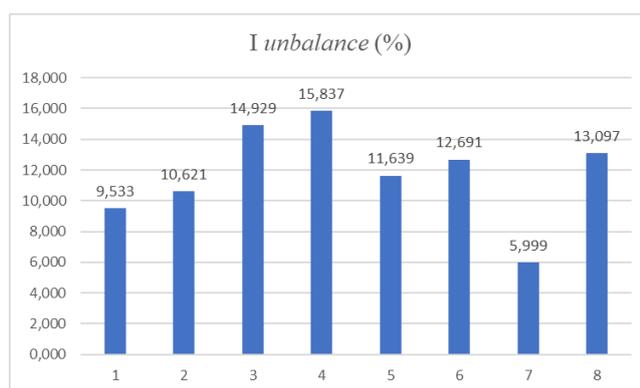
$$I_S = b \times I_{rata-rata}; \text{ maka } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{13,31}{17,13} = 0,777$$

$$I_T = c \times I_{rata-rata}; \text{ maka } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{20,97}{17,13} = 1,224$$

$$\%I_{unbalance} = \frac{|1-a| + |1-b| + |1-c|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{|1-0,999| + |1-0,777| + |1-1,224|}{3} \times 100\%$$

$$= \frac{0,001 + 0,223 + 0,224}{3} \times 100\% = 14,92 \%$$



Gambar 4.5. Grafik Ketidakseimbangan Arus

Nilai presentase ketidakseimbangan arus tertinggi yang terjadi di Apartemen Malang City Point adalah sebesar 15,83% pada pukul 15.30 WIB. Sedangkan untuk nilai presentase ketidakseimbangan arus terendah adalah sebesar 2,35% pada

pukul 22.30 WIB.

Dari data pengukuran di atas mengindikasikan bahwa ketidakseimbangan arus (*current unbalance*) di Apartemen Malang City Point masih dalam batas standar. Berdasarkan standar NEMA MG-1-1998 yang menyatakan bahwa batas ketidakseimbangan beban adalah 30%.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil data pengukuran menggunakan *Web – Based Power Quality Meter* didapatkan data untuk analisis kualitas daya (*Power Quality*) disimpulkan sebagai berikut : Pemasangan *Web – Based Power Quality Meter* (PM 5110) dilakukan untuk mengambil data pada Panel MDP Apartemen Malang City Point. Rekapitulasi kondisi kualitas daya di Apartemen Malang City Point adalah tegangan lebih dengan nilai tegangan tertinggi 238,1 V. Batas dari kenaikan tegangan adalah 5% dari tegangan nominal, sehingga data yang didapat melebihi standar. Sedangkan tegangan kurang dengan nilai tegangan terendah 221,54 V. Batas penurunan tegangan sebesar -10% dari tegangan nominal, sehingga data yang didapat tidak melebihi dalam batas standar. Berdasarkan standar NEMA MG-1-1998 nilai batas ketidakseimbangan tegangan adalah 1%. Nilai dari data ketidakseimbangan tegangan tertinggi yaitu 0,7%, sehingga data yang didapat tidak melebihi batas standar. Sedangkan untuk standar ketidakseimbangan beban berdasarkan IEEE 1159-2009 adalah 30%. Nilai dari data ketidakseimbangan yang didapatkan, beban tertinggi adalah 15,83%, sehingga tidak terjadi ketidakseimbangan beban. Terdapat harmonisa arus yang melebihi standar yang terjadi pada IHDi orde ke 11, orde ke 13, dan TDD yang terukur juga melebihi batas standar. Permasalahan kualitas daya yang terjadi di Apartemen Malang City Point adalah tegangan lebih dan harmonisa arus dimana nilainya melebihi standar batas. Untuk solusi perbaikan tegangan lebih adalah dengan cara mengurangi pengoperasian peralatan yang mempunyai beban yang besar serta memperbaiki konduktor netral. Sehingga untuk masalah IHD arus ada yang melebihi batas standar dilakukan reduksi harmonisa dengan menggunakan filter pasif *single tuned* pada orde 11 dan orde 13.

Daftar Pustaka

- [1] *Electrical Installation Guide* (2010). Indonesia: Technical Collection, hal. 24; 327; 330; 338.
- [2] IEEE 519 - 1992 : *Recomended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems*. New York: IEEE, hal. 78 dan 85.

- [3] IEEE 1159 - 1995 : Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. New York: IEEE, hal. 3.
- [4] IEEE 1159-2009 : Recommended Practice for Monitoring Electric Power Electric. New York: IEEE, hal. 6.
- [5] Power Logic PM5100 Series Power and Energy Meter (2014). France: Schneider Electric, hal. 1.
- [6] Katalog Schneider (2017). www.arduino.cc/en/Main/arduino-Board-Mega/. Jakarta: Schneider Electric, hal. 190-192.
- [7] RS 485 Module Communication Guide (2017). New York: EIA, hal. 4.
- [8] Voltage Unbalance and Motors (2009). Indonesia: Pacific Gas and Electric Company, hal. 2.
- [9] SPLN 1 (1995) Tegangan-Tegangan Standar. Jakarta: PT. PLN (PERSERO), hal. 12.
- [10] SPLN D5.004-1 (2012). *Power Quality* (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan). Jakarta Selatan: PT. PLN.
- [11] Meier, Alexander Von. (2006). *Electric Power System : A Conceptual Introduction*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. hal 6.
- [12] Dugan, R. C. (1996). *Electrical Power Systems Quallity Second Edition*. New York: McGraw-Hill, hal. 1; 15; 16; 17; 24; 25; 213.
- [13] Dey, N., & A. C. (2013). Neutral Current and Neutral Voltage in a Three Phase Four Wire Distribution System of a Technical Institution. *International Journal of Computer Application*.
- [14] Lister, E. C. (1993). *Mesin dan Rangkaian Listrik*. Jakarta: Erlangga, hal. 147.
- [15] Lubis, A. (2011). Analisis Dan Simulasi Kualitas Daya : Faktor Daya, Tegangan Kedip Dan Harmonisa Pada Perencanaan Sistem Kelistrikan PT. Semen
- [16] Schlabbach, J. (2000). *Voltage Quality in Electrical Power Systems*. New York: McGraw-Hill, hal. 25.