

Studi Analisa Penyebab Kerusakan Kapasitor Bank Sub Station Welding di PT. Astra Daihatsu Motor

Deni Almanda ¹, Nurkholis Majid ²

^{1,2)} Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Jakarta

¹⁾ Jl. Cempaka Putih Tengah 27 no 47 Jakarta 10510

¹⁾ deni.almanda@ftumj.ac.id ²⁾ 2014420069@ftumj.ac.id

Abstrak

Penggunaan kapasitor bank salah satu fungsinya adalah sebagai alat untuk meningkatkan factor daya. Factor daya yang diijinkan standard PLN adalah >0,85. Penggunaan kapasitor bank tidak lepas dari adanya gangguan kerusakan. Kerusakan yang terjadi pada kapasitor bank antara lain kapasitor meledak, kapasitor terbakar dan fuse kapasitor putus. Apabila kerusakan ini tidak segera ditangani maka akan menimbulkan biaya yang besar dalam perbaikannya, untuk itu perlu adanya penanganan lebih lanjut agar biaya yang dikeluarkan untuk perbaikan tidak terlalu besar. Banyaknya kerusakan yang terjadi antara lain diakibatkan oleh beban non linier yang dapat menyebabkan gelombang harmonic. Pengukuran THD (Total Harmonic Distortion) yang dilakukan dapat mendeteksi besarnya gelombang harmonic yang terjadi pada jaringan distribusi listrik. Pengukuran harmonic ini meliputi THD-U (tegangan) dan THD-I (Arus) sesuai dengan standar internasional yang diijinkan. Disisi lain kapasitor bank yang dijual di pasaran ada beberapa tipe antara lain kapasitor kering (dry) dan kapasitor basah (oil). Perbedaan dari kedua kapasitor ini ada pada bahan dielektrik yang digunakan kapasitor tersebut. Kualitas dalam pemilihan jenis kapasitor bank juga dapat berdampak pada umur dari kapasitor itu sendiri.

Kata kunci : Kerusakan kapasitor bank, Total Harmonic Distortion, Dielektrik

1 PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi mendorong sektor industri untuk lebih kreatif dalam membuat sebuah alat sederhana[1]. Penggunaan kapasitor bank di industri misalnya sebagai alat kompensator faktor daya, memperbaiki drop tegangan pada ujung jaringan, atau kenaikan suhu dan arus pada penghantar bisa diperkecil dengan di pasang kapasitor. Kapasitor disebut juga kondensator adalah alat atau komponen listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik untuk sementara waktu. Bank kapasitor yang memiliki ukuran yang tepat dihubungkan pada motor motor induksi untuk beberapa alasan seperti koreksi faktor daya, mengurangi distorsi, meningkatkan kapasitas dan lain lain [2]. Salah satu parameter yang dapat dijadikan ukuran dalam sistem kelistrikan adalah kandungan harmonisa dan besarnya faktor daya dalam sistem [3]. Kapasitor terdiri dari dua konduktor (lempengan logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Kapasitor juga dipakai pada filter [4]. Converter daya statis merupakan beban nonlinier terbesar [5]. Kekuatan dielektrik merupakan ukuran kemampuan suatu material untuk bisa menahan tegangan tinggi tanpa berakibat terjadinya kegagalan dielektrik [6]. Harmonisa pada sistem tenaga listrik disebabkan oleh beban-beban non-linear [7]. Isolator ini sering disebut bahan (zat) dielektrik [8]. Tingginya

kandungan harmonisa pada sistem tenaga listrik berdampak buruk pada kualitas daya listrik [9]. Kapasitor bank yang terpasang dan digunakan secara kontinyu, seringkali kapasitor bank mengalami kerusakan yang fatal seperti *short circuit* pada rangkaian capasitor bank yang mana dapat menimbulkan ledakan dan kebakaran yang berakibat kerugian yang sangat besar bagi perusahaan. Untuk itu perlu adanya tindakan pencegahan dan upaya untuk meminimalisir kerusakan kapasitor bank dengan cara menganalisa sumber-sumber potensi yang dapat menyebabkan kerusakan pada kapasitor bank. Listrik merupakan kebutuhan utama dalam kehidupan manusia [10].

Tujuan dari pembuatan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Mengetahui hasil pengukuran harmonic jaringan distribusi listrik dengan pemasangan kapasitor bank.
2. Menganalisa kemungkinan penyebab lainnya terhadap kerusakan kapasitor bank, antara lain :
3. Kemampuan kapasitor bank meredam gangguan sinyal harmonic.
4. Analisa tembus tegangan kapasitor bank.
5. Menentukan langkah perbaikan kapasitor bank

Berdasarkan latar belakang di atas maka rumusan masalah pada tugas akhir ini diantaranya adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara untuk mengetahui besaran kapasitor bank yang terpasang sudah sesuai dengan penggunaan listrik?
2. Bagaimana cara mengetahui penyebab kerusakan yang terjadi pada komponen kapasitor bank?
3. Bagaimana langkah-langkah yang akan diambil untuk menangani masalah kerusakan kapasitor bank?

Agar penelitian ini terfokus pada permasalahan, maka ruang lingkup penelitian ini dibatasi pada :

1. Penelitian dilakukan di PT. Astra Daihatsu Motor.
2. Data yang digunakan adalah panel kapasitor bank welding section.
3. Menghitung kapasitas kapasitor bank yang terpasang sudah sesuai apa belum.
4. Menggunakan data hasil pengukuran THD (Total Harmonic Distortion) pada panel kapasitor bank.
5. Menganalisa kemampuan tembus tegangan dielektrik kapasitor bank.
6. Menganalisa adanya beban non linier yang terpasang pada peralatan yang digunakan.
7. Melakukan simulasi perbaikan pada permasalahan yang ada.

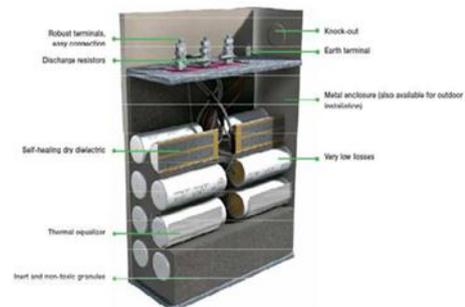
Kapasitor adalah komponen elektronik yang digunakan untuk menyimpan muatan listrik, dan secara sederhana terdiri dari dua konduktor yang dipisahkan oleh bahan penyekat (bahan dielektrik) tiap konduktor disebut keping. Kapasitor disebut juga kondensator adalah alat atau komponen listrik yang dibuat sedemikian rupa sehingga mampu menyimpan muatan listrik untuk sementara waktu. Kapasitor terdiri dari dua konduktor (lempengan logam) yang dipisahkan oleh bahan penyekat (isolator). Isolator ini sering disebut bahan (zat) dielektrik. Sebuah kapasitor mempunyai prinsip sebagai generator yang bisa menghasilkan daya reaktif.



Gambar 1 Kapasitor bank.

Bagian utama dari suatu sel kapasitor adalah 2 elektroda yang terbuat dari foil alumunium yang dipisahkan oleh dielektrik terlapis. Agar kapasitor lebih handal, maka jumlah lapisan dielektrik dibuat sekurangnya 2 lapis. Tebal foil alumunium biasanya kurang lebih 7 mikron, sedang tebal dielektrik biasanya antara 8 – 24 mikron, tergantung kepada tegangan kerja kapasitor.

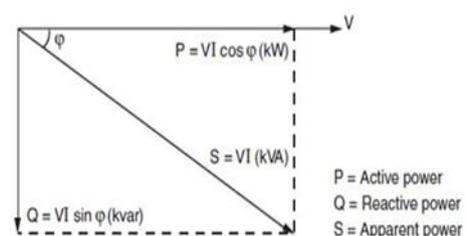
Kapasitor bank adalah peralatan listrik untuk meningkatkan power faktor (pf), yang terdiri dari rangkaian-rangkaian kapasitor yang dirangkai dalam suatu panel yang disebut panel kapasitor bank, yang disusun seri atau paralel dalam suatu grup dengan lapisan logam. Dalam kapasitor bank terdapat resistor yang berfungsi sebagai alat internal untuk membuang sisa tegangan. Biasanya kapasitor bank disusun dalam variasi rating tegangan sekitar 240 V – 24940 V dan dalam rating kapasitas sekitar 2,5 – 1000 kVAr.



Gambar 2 Konstruksi kapasitor bank.

Biasanya kapasitor seri dipasang pada sistem dengan kebutuhan daya lebih besar daripada kapasitor paralel dan peralatan proteksi yang dibutuhkan lebih kompleks sehingga biaya pemasangan kapasitor seri juga lebih besar dari pada pemasangan kapasitor paralel.

Definisi Daya adalah kecepatan perubahan energi terhadap waktu. Daya yang diserap oleh beban setiap saat sama dengan jatuh tegangan dalam volt dalam beban dikalikan dengan arus yang mengalir melewati beban dalam ampere.



Gambar 3 Diagram daya.

Jika daya dinyatakan terhadap resistansi R maka akan sebanding dengan kuadrat arus atau tegangan yang dinyatakan dalam persamaan.

$$P = I^2/R$$

Keterangan :

P = Daya Aktif (Watt)

I = Arus (Ampere)

V = Tegangan (Volt)

R = Resistansi (Ohm)

Dan pada saat beban penuh dapat menggunakan rumus berikut :

$$P = S \cdot \cos \theta \text{ (Watt)}$$

Keterangan :

P = Daya aktif / daya nyata (watt)

S = Daya Semu

Cos θ = Power factor

Daya Semu atau S adalah perkalian harga arus dan tegangan efektif dinyatakan dalam voltampere (VA) atau kilovoltampere (kVA) sama dengan 1.000 VA.

$$S = V \cdot I \text{ (VA)}$$

Ketereangan :

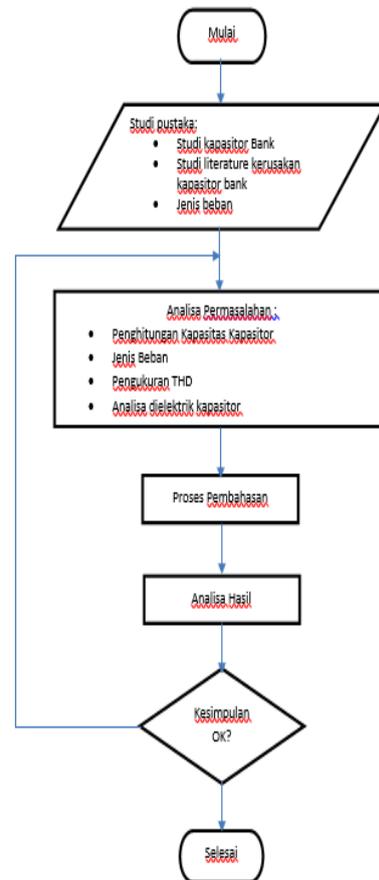
S = Daya Semu (VA)

I = Arus

V = Tegangan

2 METODOLOGI PENELITIAN

Agar segala masalah yang timbul dalam tugas akhir ini dapat terselesaikan serta tujuan yang diinginkan dapat terealisasi. Maka perlu adanya metode yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut yaitu :



Kapasitor bank bekerja dengan memberikan bantuan daya atau supply daya untuk beban pada instalasi listrik yang ada. Karena itulah, Capacitor Bank juga sering disebut berfungsi sebagai perbaikan faktor daya pada suatu instalasi listrik 3 Phase.

Menghitung kebutuhan kapasitas kapasitor bank

$$Qc = Q_1 - Q_2$$

Keterangan :

Qc : Daya Reaktif Capacitor Bank yang dibutuhkan

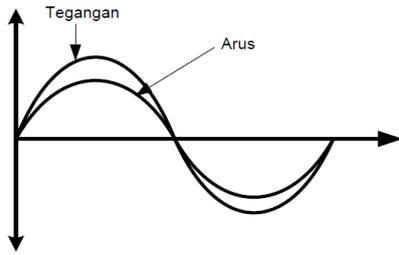
Q_1 : Daya Reaktif sebelum perbaikan

Q_2 : Daya Reaktif yang ingin dicapai

Dalam sistem tenaga listrik dikenal dua jenis beban yaitu beban linier dan beban non linier.

1. Beban Linier

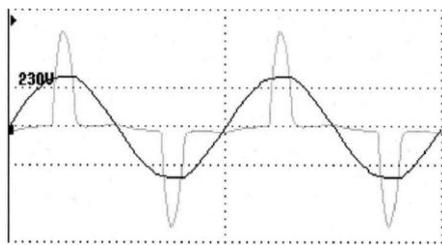
Beban linear adalah beban yang impedansinya selalu konstan sehingga arus selalu berbanding lurus dengan tegangan setiap waktu. Beban linear ini mematuhi Hukum Ohm yang menyatakan bahwa arus berbanding lurus dengan tegangan. Gelombang arus yang dihasilkan oleh beban linear akan sama dengan bentuk gelombang tegangan.



Gambar 4 Gelombang linier.

2. Beban Non Linier

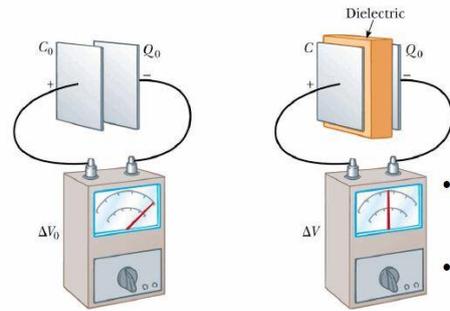
Beban non linear adalah beban yang impedansinya tidak konstan dalam setiap periode tegangan masukan. Dengan impedansinya yang tidak konstan, maka arus yang dihasilkan tidaklah berbanding lurus dengan tegangan yang diberikan, sehingga beban non linear tidaklah mematuhi Hukum Ohm yang menyatakan arus berbanding lurus dengan tegangan.



Gambar 5 Gelombang non linier.

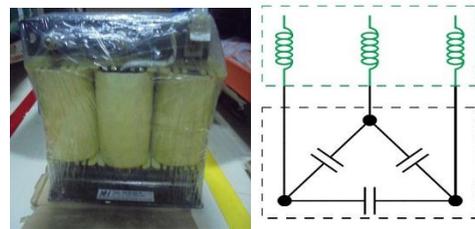
Total Harmonic Distortion (THD) merupakan nilai presentase antara total komponen gelombang harmonic dengan komponen fundamentalnya. Semakin besar presentase THD ini menyebabkan semakin besarnya resiko kerusakan peralatan akibat gelombang harmonic yang terjadi pada arus maupun tegangan. Nilai THD yang diijinkan secara internasional maksimal berkisar 5% untuk THD-V (Tegangan) dan 20% untuk THD-I (Arus) dari tegangan atau arus frekuensi fundamentalnya. Standart harmonisa yang digunakan adalah standart IEEE 519. 1992, “ *IEEE Recommended Practises and Requirement for Harmonic Control in Electric in Electrical Power System*”.

Bahan dielektrik adalah bahan listrik yang mampu menyimpan muatan listrik. Bahan dielektrik digunakan untuk menyimpan energy listrik, memperbaiki factor daya, dan menyaring tegangan searah hasil penyearahan.



Gambar 6 Pengukuran dielektrik.

Pada sebuah peralatan perbaikan faktor daya (power factor corectioin unit) ,selain kapasitor sebagai komponen utama, juga terdapat komponen Detuned Reactor Filter yang dipang seri dengan kapasitor tersebut, seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 7 Detuned reactor dan instalasi seri dengan kapasitor.

3 PENGUJIAN DAN HASIL

Kapasitor bank yang terpasang di PT. Astra Daihatsu Motor KAP pada jaringan LVMDP-3 (WELDING) memiliki kapasitas 1200 kVAR dengan kapasitas transformator sebesar 2000 kVA.

Menghitung daya reaktif (Q_1) sebelum perbaikan

$$Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Diketahui :

S = 2000 kVA, cos phi terukur 0,75

Maka :

$$Q_1 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{2000^2 - (2000 \times 0,75)^2}$$

$$Q_1 = 1322,8 \text{ kVAr}$$

Menghitung nilai (Q_2) dengan cos phi yang ingin dicapai

$$Q_2 = \sqrt{S^2 - P^2}$$

Diketahui :

P = 1500 KW, cos phi yang ingin dicapai 0,95

Maka :

$$Q_2 = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(1500 \div 0,95)^2 - 1500^2}$$

$$Q_2 = 493,1 \text{ kVAr}$$

Maka :

$$Q_c = Q_1 - Q_2$$

$$= 1322,8 \text{ kVAr} - 493,1 \text{ kVAr}$$

$$Q_c = 829,7 \text{ kVAr}$$

Untuk mengetahui kapasitas beban non linier, maka menggunakan persamaan berikut.

$$P = V \times I \times \sqrt{3}$$

Untuk mengetahui arus pada primer dan sekunder dengan menggunakan persamaan berikut.

$$I_p = P / (V_p \times \sqrt{3})$$

$$I_s = P / (V_s \times \sqrt{3})$$

Keterangan :

P = Daya trafo

V_p = Tegangan primer

V_s = Tegangan sekunder

I_p = Arus primer

I_s = Arus sekunder

Dari ketiga persamaan di atas maka didapatkan hasil yang ditampilkan dalam tabel berikut.

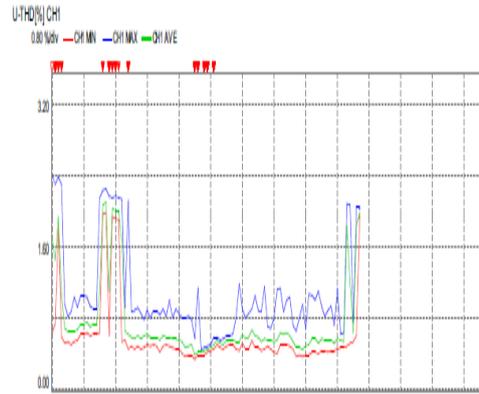
Tabel 1 Beban non linier.

Tabel 4.1. Beban non linier

Beban	Jumlah	Capacity (kV)	V _p (V)	V _s (V)	I _p (A)	I _s (A)
Trafo robot	8	55	400	21	79,4	1512,2
Trafo manual	6	150	400	8,2	216,5	10561,6
Trafo power robot	8	5	380	220	7,6	13,1

Berikut merupakan hasil pengukuran THD yang dilakukan pada tanggal 11 Desember 2016. Garis merah merupakan batas bawah/minimum, garis biru merupakan batas atas/maximum dan garis hijau adalah average atau rata-rata.

Hasil pengukuran THD-U (Tegangan)



Gambar 8 Hasil pengukuran THD-U.

THD terukur dalam grafik di atas yang paling tinggi berada pada level 2,4% dan yang terendah pada level 0,4%.

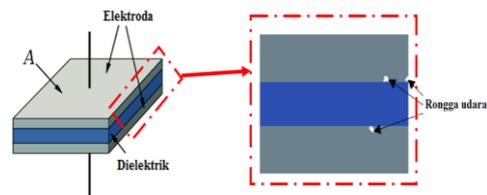
- Hasil pengukuran THD-I (Arus)



Gambar 9 Hasil pengukuran THD-I.

Hasil pengukuran THD arus jauh diatas standart yang ditentukan yakni sebesar 20%. Grafik di atas menunjukkan rata-rata atau average pengukuran maksimal berada pada 40%.

Secara umum terdapat 2 jenis kapasitor di pasaran yakni kapasitor minyak dan kapasitor kering. Elemen kapasitor terdiri dari dielektrik yang diapit elektroda di kedua sisinya.



Gambar 10 Dielektrik kapasitor

Mekanisme pembuangan panas pada kapasitor kering berupa zat padat yang hanya menghantarkan

panas secara konduksi ke tempat yang suhunya lebih rendah jadi daerah yang lebih dekat dengan kapasitor selalu lebih panas. Pada kapasitor minyak perpindahan panas tidak hanya secara konduksi namun juga oleh konveksi (pergerakan cairan akibat perbedaan suhu). Hasilnya mekanisme pembuangan panas lebih merata dan lebih efisien.

Tabel 2 Bahan dielektrik, konstanta dielektrik, kekuatan dielektrik.

Tabel 4.2. Bahan dielektrik, konstanta dielektrik, kekuatan dielektrik

Bahan dielektrik	Konstanta dielektrik (ϵ)	Kekuatan dielektrik (kV/cm)
Udara	1	30
Kertas	2,0 - 2,6	2,5 - 4,0
Mika	2,5 - 6,6	80
Minyak	2,2 - 4,7	100
Kaca	5,4 - 9,9	
Porselain	5,7 - 6,8	TR 1,5-4/TT 10-16

Kapasitor bank yang terpasang di PT.ADM berkapasitas 440 V, 60 kVar/step. Kemudian untuk meningkatkan kinerja kapasitor dipasang detuned reactor sebesar 7%.

Untuk mengetahui besarnya kenaikan tegangan yang terjadi setelah ditambahkan reactor dapat digunakan persamaan berikut :

$$U1 = Un / (1 - p)$$

Keterangan :

U1 = kenaikan tegangan

Un = tegangan kapasitor

p = kapasitas reactor

maka, perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} U1 &= Un / (1 - p) \\ &= 440 / (1 - 0,07) \\ &= 440 / 0,93 \end{aligned}$$

$$U1 = 473,1 V$$

Namun, berdasarkan IEC EN 61000-2-2 kenaikan tegangan untuk harmonisa frekuensi 50 hz adalah :

$$U1 = 106\% \times Un$$

Maka, kenaikan yang diijinkan menjadi

$$U1 = 106\% \times Un$$

$$U1 = 106\% \times 440$$

$$U1 = 466,4 V$$

Apabila reactor jadi 6% maka perhitungan kapasitas kapasitor menjadi :

$$Q1 = Q / (1 - p)$$

$$Q1 = 60 / (1 - 0,06)$$

$$Q1 = 60 / 0,94$$

$$Q1 = 63 kVar$$

Dari hasil perhitungan di atas didapatkan data kapasitor yang baru yaitu sebesar 440 V, 63 kVar dengan detuned reactor sebesar 6%.

4 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil yang di dapat dari studi analisa kerusakan kapasitor bank sub station welding PT. Astra Daihatsu Motor, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan total kapasitor yang digunakan sudah sesuai dengan daya transformator yang digunakan. Hasil penghitungan kapasitor 829,7 kVar sementara kapasitor yang terpasang 1200 kVar.
2. Analisa beban non linier, ditemukan adanya 3 beban yang paling besar terdapat pada traformator manual dengan arus mencapai 10561,6 A.
3. Setelah dilakukan pengukuran THD pada tanggal 11 Desember 2016, dari pengukuran THD-U (tegangan) masih dibawah standart aman 5% yakni berkisar antara 0,4% sampai 2,4%. Sementar untuk THD-I (arus) hasil pengukuran berada di atas standart 20% yaitu sekitar 40%.
4. Dielektrik kapasitor bank menunjukkan bahwa bahan dielektrik minyak lebih baik dalam kekuatan dielektriknya dan dalam mekanisme pembuangan atau peredaman panas dibandingkan dengan dielektrik padat yang lain.
5. Perhitungan reactor menunjukkan bahwa apabila reactor dipasang kapasitas 7% maka kenaikan tegangan akan lebih besar pada terminal kapasitor tersebut yang berdampak pada usia kapasitor bank yang semakin pendek.

Kesimpulannya kerusakan kapasitor disebabkan karena adanya beban non linier yang besar dari trafo yang dapat menyebabkan panas pada unit kapasitor.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. H. Widiyanto, "Pengaplikasian Sensor Hujan dan LDR untuk Lampu Mobil Otomatis Berbasis Arduino Uno," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmputeR)*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [2] G. Das, S. Das, P. Purkait, A. Dasgupta, and M. Kumar, "Effects of Capacitor Bank Defects on Harmonic Distortion and Park's Pattern Analysis in Induction Motors," *International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering*, vol. 4, no. 2, 2010.

- [3] A. Ghifari, A. Warsito, and S. Handoko, "Studi Harmonisa Pengaruh Kapasitor Bank Pada Sistem Kelistrikan PT. Chandra Asri Petrochemical, TBK," *TRANSIENT*, vol. 2, no. 3, pp. 476–484, 2013.
- [4] F. Fadlioni and A. Asriyadi, "Eksperimen dan Simulasi Rangkaian Band Pass Filter (BPF) dengan Resistor dan Kapasitor," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 1, no. 2, 2018.
- [5] R. Langella, A. Testa, and E. Alii, "Ieee recommended practice and requirements for harmonic control in electric power systems," 2014.
- [6] R. K. Putra and F. Murdiya, "Karakteristik Tegangan Tembus Arus Bolak Balik Pada Minyak Jarak Pagar (*Jatropha curcas*) Sebagai Alternatif Isolasi Cair," *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik dan Sains*, vol. 4, no. 2, pp. 1–11, 2017.
- [7] S. S. Sumarno, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Studi Analisis dan Mitigasi Harmonisa pada PT. Semen Indonesia Pabrik Aceh," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 5, no. 2, 2017.
- [8] B. L. Tobing, *Peralatan Tegangan Tinggi*. Gramedia Pustaka Utama, 2003.
- [9] I. P. A. A. Widiantara, I. W. Rinas, and A. I. Weking, "ANALISIS PENGARUH PENGOPERASIAN BEBAN-BEBAN NON-LINIER TERHADAP DISTORSI HARMONISA PADA BLUE POINT BAY VILLA & SPA," *Jurnal Ilmiah Spektrum*, vol. 3, no. 1, pp. 54–59, 2016.
- [10] H. Muchtar and R. Sumanjaya, "Control Switch Otomatis pada Tegangan Energi Alternatif dan Tegangan Sumber PLN Menggunakan Raspberry Pi," *RESISTOR (elektRONika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmpuTeR)*, vol. 1, no. 2, 2018.

