

STUDI KASUS PENGARUH HARMONISA PADA PENGOPERASIAN TRANSFORMATOR

¹Ahsanul Fuad, ²Rismen Sinambela

^{1,2}Program Pascasarjana Universitas Kristen Indonesia

*Corresponding Author e-mail: ahsanulfuad24@gmail.com, rismen.sinambela@uki.ac.id

Article History

Received: 12-6-2024

Revised: 19-6-2024

Published: 3-7-2024

Key Words:

Harmonics,
Capacitors, Operation
of Electrical Loads

Abstract: Harmonics are periodically distorted waves occurring in voltage, current, or power waves consisting of sine waves whose frequency is an integer multiple of the source / fundamental frequency, so that the shape is not sinusoidal. Harmonic distortion will result in losses to the network system, including the occurrence of parallel and series resonances. One of the causes is the installation of shunt capacitors in the network used to compensate reactive power. Capacitors are very sensitive to harmonic currents because the capacitor impedance will decrease proportionally to the order of harmonics in the system. In the use of capacitors must go through a safety called a detuned reactor. This study concludes: if you use a capacitor with a 54 kVAR / step unit at a voltage of 434,783V, and an 8% reactor is installed in series with a reactor impedance value of 0.695 ohms, then the maximum current that will flow is 10.25 A. It is necessary to adjust the voltage and current. harmonics, because they are connected in series with the reactor, a capacitor rating of 550 volts is required with a reactive power of 86.412 kVAR.

Kata Kunci:

Harmonisa, Kapasitor,
Pengoperasian Beban
Listrik

Abstrack: Harmonisa adalah gelombang yang terdistorsi secara periodik terjadi pada gelombang tegangan, arus, atau daya terdiri dari gelombang-gelombang sinus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat frekuensi sumber/fundamental, sehingga bentuknya tidak sinusoidal. Distorsi harmonis akan mengakibatkan kerugian pada system jaringan, diantaranya adalah terjadinya resonansi paralel maupun seri. Salah satu penyebabnya adalah pemasangan kapasitor shunt pada jaringan yang digunakan untuk kompesasi daya reaktif. Kapasitor sangat sensitive terhadap arus harmonisa dikarenakan impedansi kapasitor akan menurun secara proporsional ke urutan harmonisa yang ada pada sistem. Dalam penggunaan kapasitor harus melalui pengaman yang disebut dengan detuned reactor. Penelitian ini member kesimpulan : apabila menggunakan kapasitor dengan satuan 54 kVAR/step pada tegangan 434,783V, dan reactor 8% terpasang seri dengan nilai impedansi reaktor 0,695 ohm, maka arus maximum yang akan mengalir adalah 10,25 A. Perlu dilakukan penyesuaian terhadap tegangan dan arus harmonisa, dikarenakan terhubung seri dengan reaktor, diperlukan rating kapasitor sebesar 550 volt dengan daya reaktif sebesar 86,412 kVAR.

Pendahuluan

Harmonisa adalah gelombang yang terdistorsi secara periodik yang terjadi pada gelombang tegangan, arus, atau daya terdiri dari gelombang-gelombang sinus yang frekuensinya merupakan kelipatan bulat frekuensi sumber/fundamental, sehingga bentuknya tidak sinusoidal. Penggunaan beban-beban non linier, akan menimbulkan perubahan pada bentuk gelombangnya. Cacat gelombang yang disebabkan oleh interaksi antara bentuk gelombang sinusoidal sistem dengan komponen gelombang lain lebih dikenal dengan harmonisa.

Distorsi harmonisa akan mengakibatkan kerugian pada sistem jaringan, diantaranya adalah terjadinya resonansi paralel maupun seri. Salah satu penyebabnya adalah pemasangan kapasitor shunt pada jaringan yang digunakan untuk kompesasi daya reaktif. Terjadinya resonansi ini akan meningkatkan tegangan - tegangan harmonisa yang cukup besar pada bus kapasitor yang bisa merusak kapasitor itu sendiri dan komponen jaringan lainnya, sehingga

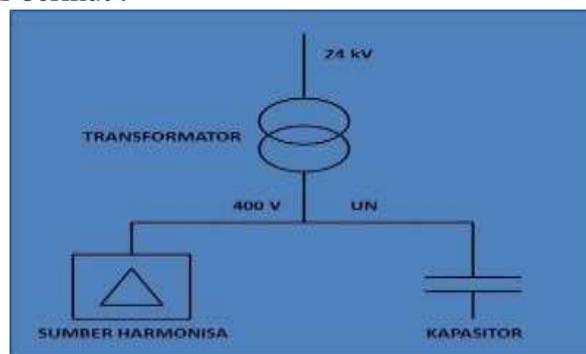


dalam upaya memperoleh efisiensi dan kualitas sistem tenaga listrik, maka pengaruh harmonisa harus diperhitungkan.

Harmonisa ini dapat diminimalisir dengan pemasangan filter harmonisa. Tujuan pemasangan filter harmonisa untuk mereduksi amplitudo frekuensi dari sebuah tegangan atau arus. Nilai harmonisa hasil pengukuran yang tinggi mengakibatkan kualitas daya listrik menurun. Dengan demikian perlu dilakukan pemasangan filter aktif untuk menangani distorsi harmonisa agar nantinya dapat memenuhi standar yang telah ditetapkan. Transformator digunakan secara luas dalam sistem tenaga listrik untuk mengubah tegangan listrik dari satu tingkat ke tegangan lainnya. Harmonisa adalah gelombang sinusoidal dengan frekuensi yang merupakan kelipatan dari frekuensi dasar sistem (misalnya, 50 Hz atau 60 Hz), yang dapat timbul dari beban non-linear seperti beban bersemikonduktor.

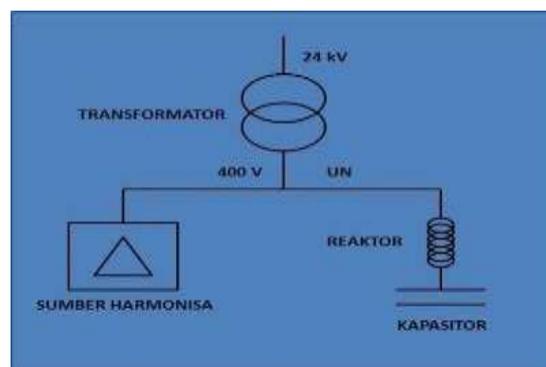
Metode Penelitian

Detuned reaktor yang dipasang secara seri bertujuan untuk melindungi kapasitor dengan mencegah kenaikan harmonisa yang timbul pada jaringan. Namun hal ini berakibat naiknya tegangan pada terminal kapasitor. Sehingga rating tegangan kapasitor yang digunakan harus menyesuaikan dengan kenaikan tegangan akibat dipasangnya reaktor tersebut. Seperti gambar berikut :



Gambar 1 Kapasitor 400 V Dalam Jaringan

Seperti gambar 1, sebuah jaringan dengan tegangan 400 V, terpasang kapasitor 400 V, 72 A, 50 kVAR/step. Untuk meningkatkan kinerja kapasitor, dipasang detuned reaktor sebesar 8% sehingga rangkaian menjadi seperti gambar 2 dibawah ini. Dari penjelasan diawal, telah disebutkan bahwa pemasangan detuned reaktor yang dihubungkan secara seri dengan kapasitor akan meningkatkan level tegangan pada terminal kapasitor.



Gambar 2 Detuned Reaktor Pada Kapasitor

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

- $U_1 = U_n / (1-p)$
- $U_1 = 400 / (1 - 0.08)$
- $U_1 = 400 / 0.92$
- $U_1 = 434.783$

Terlihat bahwa ketika kapasitor dengan rating tegangan operasional 400 V dipasangkan seri dengan reactor kapasitas 8%, maka akan terjadi kenaikan tegangan pada terminal kapasitor 400 V tersebut menjadi 434.783 V.

Jika dibiarkan akan memperpendek umur pakai kapasitor. Dalam hal ini, rating tegangan kapasitor 400 V tidak cocok dipasangkan dengan reactor 8%, sehingga perlu disesuaikan dengan mengganti kapasitor tersebut dengan rating tegangan yang sesuai yaitu 434.783 V atau yang lebih besar.

Dikarenakan adanya penyesuaian terhadap perubahan tegangan, maka untuk mendapatkan nilai kompensasi yang sama dengan kapasitor sebelumnya yaitu 400 V, 50 kVAR/step, nilai kapasitor sebesar 50 kVAR tersebut harus disesuaikan kembali dengan tegangan yang baru 434,783 V. Sehingga Daya Reaktif (Q1) menjadi sebagai berikut :

$$Q_1 = Q / (1-p) \quad Q_1 = 50 / 1-0,08)$$

$$Q_1 = 50 / 0,92 = 54,347 = 54\text{VAR/step}$$

Dari hasil perhitungan di atas didapat data spesifikasi kapasitor yang baru yaitu sebesar : 434,783 V ; 54 kVAR/step. Namun data yang didapat dari hasil perhitungan tersebut masih berdasarkan frekuensi fundamental 50 Hz.

Besaran frekuensi untuk setiap tingkatan harmonisa adalah 50 Hz, 150 Hz, 250 Hz, 350 Hz, untuk harmonisa pertama, ketiga, kelima, dan ketujuh. Agar kapasitor dapat bekerja di level aman untuk setiap tingkatan harmonisa. Perlu dilakukan evaluasi tegangan, arus, dan Nilai kVAR untuk setiap tingkatan harmonisa.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan standar International Electrotechnical Commission (IEC), kenaikan tegangan pada suatu sistim jaringan disebabkan karena mengalirnya arus harmonisa pada jaringan tersebut. Untuk perhitungan besarnya arus yang akan mengalir ke kapasitor untuk setiap tingkatan harmonisa, yang pertama kita tentukan adalah nilai impedansi kapasitor dan Impedansi inductor (reaktor) dengan menggunakan rumus :

- $X_C = 1 / (2 \times \pi \times f \times C)$

- $X_L = 2 \times \pi \times f \times L$

Total impedansi dikarenakan Reaktor dan Kapasitor yang terhubung seri adalah :

$$\bullet |X_L - X_C|$$

Nilai X_C dan X_L yang didapat dari kedua rumus diatas sangat dipengaruhi oleh nilai frekuensi, dan pada kasus harmonisa ini, untuk setiap tingkatan harmonisa, nilai X_C dan X_L akan berubah. Mencari Nilai Impedansi Kapasitor (X_C) dan Reaktor (X_L).

Sekarang akan kita coba hitung nilai X_L dan X_C . Pada contoh diawal telah didapatkan nilai kVAR baru sebesar 54 kVAR pada tegangan 434,783 V dengan nilai reactor 8%. Dengan menggunakan rumus :

$$\bullet X_C = (U^2) / Q,$$

Sehingga nilai $X_C = 434,783 / 54 \text{ k} = 3,5006 \text{ ohm}$

Dengan diketahuinya nilai reactor $P = 8$

%, nilai impedansi X_L dapat dihitung, sebagai berikut :

$$\bullet P = X_L / X_C$$

$$\bullet 0,08 = X_L / 3,5006$$

$$\bullet X_L = 0,08 \times 3,5006$$

$$\bullet X_L = 0,28005 \text{ ohm}$$

Setelah nilai X_C dan X_L didapat, yaitu 3,5006 ohm dan 0,28005 ohm, langkah berikutnya adalah menghitung nilai impedansi kapasitor (X_C) dan reaktor (X_L) untuk setiap frekuensi tingkatan harmonisa.

Nilai Impedansi Kapasitor (X_C) dan Reaktor (X_L) Pada Tiap Tingkat Harmonisa Besarnya frekuensi harmonisa adalah : Nilai frekuensi untuk setiap tingkatan harmonisa adalah kelipatan tingkatan harmonisa dikali dengan nilai frekuensi fundamental. Sehingga jika frekuensi 50 Hz maka besarnya frekuensi untuk harmonisa ke 5 adalah:

$$= 5 \times 50 = 250 \text{ Hz.}$$

Sedangkan untuk harmonisa ke 3 besarnya frekuensi untuk harmonisa ke 3 adalah : $= 3 \times 50 = 150 \text{ Hz.}$

Formula untuk X_C dan X_L

$$\bullet X_C = 1 / (2 \times \pi \times f \times C)$$

$$\bullet X_L = 2 \times \pi \times f \times L$$

Misalkan sekarang kita mengukur nilai X_C dan X_L untuk harmonisa ke 3, maka dari formula diatas nilai frekuensi untuk setiap tingkatan harmonisa yaitu $3 \times 50 \text{ Hz}$, sehingga untuk tingkatan harmonisa ke 3, nilai X_C adalah :

$$\bullet X_C = 1 / (2 \times \pi \times f \times C) \dots\dots \text{ pada } 50 \text{ H}$$

$$\bullet X_{C3} = 1 / (2 \times \pi \times 3 \times f \times C) \text{, pada } 150 \text{ Hz (harmonisa ketiga)}$$

• Atau $X_{C3} = X_C / 3$ Sedangkan untuk X_L adalah :

$$\bullet X_L = 2 \times \pi \times f \times L \dots\dots \text{ pada } 50 \text{ Hz}$$

$$\bullet X_{L3} = 2 \times \pi \times 3 \times f \times L \dots\dots \text{ pada } 150 \text{ Hz (harmonisa ketiga)}$$

$$\bullet \text{ Atau } X_{L3} = X_L \times 3$$

Berdasarkan hal diatas, untuk tingkatan harmonisa yang lainnya dapat kita hitung nilai impedansi kapasitor X_C dan nilai impedansi reaktor X_L sbb :

$$\bullet \text{ Harmonisa tingkat 1; } X_{C1} = 3,5006 ; X_{L1} = 0,28005$$

$$\bullet \text{ Harmonisa tingkat 3; } X_{C3} = 3,5006 / 3 = 1,167 ; X_{L3} = 0,28005 \times 3 = 0,84015$$

$$\bullet \text{ Harmonisa tingkat 5; } X_{C5} = 3,5006 / 5 = 0,7 ; X_{L5} = 0,28005 \times 5 = 1,40025$$

$$\bullet \text{ Harmonisa tingkat 7; } X_{C7} = 3,5006 / 7 = 0,5 ; X_{L7} = 0,28005 \times 7 = 1,96035$$

$$= 0,5 ; XL7 = 0,695 \times 7 = 4,865$$

Dari hasil perhitungan diatas telah didapat nilai impedansi XC dan XL untuk setiap tingkatan harmonisa.

Telah disebutkan diawal, standar IEC EN

61000-2-2, kenaikan tegangan untuk setiap tingkatan harmonisa adalah :

- $U1 = \%106 \times UN = 1,06 \times 400 = 424 \text{ V}$
- $U3 = \%0.5 \times UN = 0,005 \times 400 = 2 \text{ V}$
- $U5 = \%5 \times UN = 0,05 \times 400 = 20 \text{ V}$
- $U7 = \%5 \times UN = 0,05 \times 400 = 20 \text{ V}$

Nilai Arus untuk setiap tingkatan harmonisa diatas adalah :

- $Ih1 = U1 / (1.732 \times |XL - XC|)$

Sehingga :

- Harmonisa tingkat 1 :

$$U1=106 \% (106 \% \text{ of fundamental}) ; I1 = 1,06 * 400 / (1.732 * |3,5006 - 0.695 |) = 87,257 \text{ A}$$

- Harmonisa tingkat 3 :

$$U3=0.5\% I3 = 0.005 \times 400 / (1,732 \times |1,167 - 2,085 |) = 1,258 \text{ A}$$

- Harmonisa tingkat 5 :

$$U5=5\% I5 = 0.05 \times 400 / (1,732 \times |0,7 - 3,475 |) = 4,161 \text{ A}$$

- Harmonisa tingkat 7 :

$$U7=5\% I7 = 0.05 \times 400 / (1,732 \times |0,5 - 4,865 |) = 2,645 \text{ A}$$

Untuk arus total harmonisa adalah :

$$\bullet IS (\text{Arus total Harmonisa}) = \sqrt{(I1^2 + I3^2 + I5^2 + I7^2)} = \sqrt{(87,257^2 + 1,258^2 + 4,161^2 + 2,645^2)} = 9,763 \text{ A}$$

Dengan demikian, arus maksimum yang mengalir ke kapasitor adalah 9,763 A. dan dikarenakan terpasang seri dengan reactor sebesar 8 %, maka reactor harus dapat menahan arus maksimum sekitar $1.05 \times IS =$

$$1,05 \times 9,763 \text{ A} = 10,25 \text{ A} (1,05 \text{ adalah safety factor}).$$

Untuk menghitung Tegangan pada kapasitor tersebut digunakan formula berikut :

$$Uh = 1,732 \times Ih \times XC / h$$

dimana :

Uh = Tegangan pada kapasitor pada tingkatan harmonisa h

Ih = Arus harmonisa pada tingkatan harmonisa h

XC = Impdedansi kapasitor

h = Tingkatan harmonisa

Sehingga dari rumus diatas didapat hasil perhitungan sebagai berikut :

- Harmonisa tingkat 1 :

$$U1 = 8 \% ; I1 = 87,257 \text{ A} ; \text{ maka } U1 = 1,732 \times 87,257 \times 3,5006 / 1 = 529,042 \text{ V}$$

- Harmonisa tingkat 3 :

$$\bullet U3 = 0.5 \% ; I3 = 1,258 \text{ A} ; \text{ maka } U3 = 1,732 \times 1,258 \times 3,5006 / 3 = 2,542 \text{ V}$$

- Harmonisa tingkat 5 :

$$U5 = 5 \% ; I5 = 4,161 \text{ A} ; \text{ maka } U5 = 1,732 \times 4,161 \times 3,5006 / 5 = 5,046 \text{ V}$$

- Harmonisa tingkat 7 :

$$U7 = 5 \% ; I7 = 2,645 \text{ A} ; \text{ maka } U7 = 1,732 \times 2,645 \times 3,5006 / 7 = 2,291 \text{ V}$$

Sehingga Tegangan maksimum kapasitor

$$= U1 + U3 + U5 + U7$$

$$= 529,042 + 2,542 + 5,046 + 2,291$$

$$= 538,921 \text{ V}$$

Untuk perbaikan faktor daya dengan kapasitor yang terpasang seri dengan reactor, maka tegangan kapasitor yang dipakai adalah 538,921 V. Apabila nilai kapasitor dengan tegangan 538,921 V tidak ada dipasaran, maka dipilih nilai tegangan kapasitor yang lebih besar dan mendekati nilai 538,921 V tersebut.

Seandainya tegangan kapasitor yang mendekati adalah 550 V, maka nilai kVAR yang sebelumnya adalah 54 kVAR harus disesuaikan kembali dengan nilai tegangan kapasitor 550 V tersebut.

Untuk mendapatkan nilai kVAR dengan tegangan kapasitor 550 V, dilakukan perhitungan sebagai berikut :

$$Q2 = Q1 \times (V2 / V1^2)$$

$$= 54 \text{ kVAR} \times (550^2 / 434,7832)$$

$$= 86,412 \text{ Kvar}$$

Sehingga apabila menggunakan kapasitor dengan satuan 54 kVAR /step pada tegangan 434,783 V, dan reactor 8% terpasang seri dengan nilai impedansi reactor 0,695 ohm, maka arus maximum yang akan mengalir adalah 10,25 A. Perlu dilakukan penyesuaian terhadap tegangan dan arus harmonisa sehingga untuk kapasitor tersebut, dikarenakan terhubung seri dengan reactor, diperlukan rating kapasitor sebesar 550 volt dengan daya reaktif sebesar 86,412 kVAR.

Membandingkan nilai IHD dan THD sebelum ditambahkan Reaktor Filter dan Sesudah ditambahkan Reaktor Filter Berdasarkan standar IEEE 519-1992 untuk Batasan nilai dari IHD dan THD sudah ditentukan yaitu 3% untuk IHD dan 5% untuk THD, dari perhitungan tegangan Harmonisa sebelum dipasang raktor filter 8% dan setelah dipasang sudah diperhitungkan maka akan ditambahkan table dan barchart untuk mengetahui orde harmonisa mana saja yang melewati dari nilai Batasan menurut IEEE 519-1992.

Kesimpulan

Dari hasil uji coba yang dilakukan maka dapat disimpulkan, Nilai frekuensi untuk setiap tingkatan harmonisa adalah kelipatan tingkatan harmonisa dikali dengan nilai frekuensi fundamental. Nilai Impedansi Kapasitor XC dan nilai Impedansi Reaktor XL untuk tingkatan harmonisa sbb :

- a. Harmonisa tingkat 1;
 $XC1 = 3,5006$;
 $XL1 = 0,695$
- b. Harmonisa tingkat 3;
 $XC3 = 3,5006 / 3$
 $= 1,167$;
 $XL3 = 0,695 \times 3$
 $= 2,085$
- c. Harmonisa tingkat 5;
 $XC5 = 3,5006 / 5$
 $= 0,7$;
 $XL5 = 0,695 \times 5$
 $= 3,475$
- d. Harmonisa tingkat 7;
 $XC7 = 3,5006 / 7$

$$= 0,5 ;$$

$$XL7 = 0,695 \times 7$$

$$= 4,865$$

Perbaikan faktor daya dengan kapasitor yang terpasang seri dengan reactor, maka tegangan kapasitor yang dipakai adalah 538,921 V dengan nilai reactor 8 %. Apabila nilai kapasitor dengan tegangan 538,921 V tidak ada dipasaran, maka dipilih nilai tegangan kapasitor yang lebih besar dan mendekati nilai 538,921 V tersebut. Tegangan kapasitor yang mendekati adalah 550V, maka nilai kVAR yang sebelumnya adalah 54 kVAR harus disesuaikan kembali dengan nilai tegangan kapasitor 550 V tersebut. Dari hasil perhitungan didapat 86,412 kVAR.

Sehingga apabila menggunakan kapasitor dengan satuan 54 kVAR /step pada tegangan 434,783 V, dan reactor 8% terpasang seri dengan nilai impedansi reaktor 0,695 ohm, maka arus maximum yang akan mengalir adalah 10,25 A. Perlu dilakukan penyesuaian terhadap tegangan dan arus harmonisa sehingga untuk kapasitor tersebut, dikarenakan terhubung seri dengan reaktor, diperlukan rating kapasitor sebesar 550 volt dengan daya reaktif sebesar 86,412 kVAR.

Referensi

- Putu Adi Wirajaya, I Wayan Rinas, I Wayan Sukerayasa. 2019. Studi Analisa Pengaruh Total Harmonic Distortion (THD) terhadap Rugi-Rugi, Efisiensi, dan Kapasitas Kerja Transformator pada Penyulang Kerobokan. *Jurnal SPEKTRUM* Vol. 6, No. 2 Juni 2019.
- Zulkarnaini. 2012. Pemetaan Tingkat Distorsi Harmonik Pada Gedung Kampus Institut Teknologi Padang. *Jurnal Teknik Elektro ITP*. Volume 1, Nomor 2.
- Penangsang, Ontoseno. "Diktat Kuliah Kualitas Daya Listrik". ITS. 2011.
- Aini, Z., & Mar'i, A. (2021). Desain Singel Tuned Filter Terhadap Harmonisa Pada Transformator Distribusi (Issue 4).
- Apriliansyah, D., & Gaffar, A. (2021). Analisis Pengaruh Harmonisa Terhadap Rugi – Rugi Daya Pada Transformator Distribusi ULP Karebosi. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro Dan Informatika (SNTEI)*, 2(3), 178– 184.
- IEEE Std. 1531-2003. "Recommended Practises and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems".
- Sudiharto, Indhana, dkk. "Teknik Pengurangan Arus Inrush dan Pengurangan Harmonisa pada Kapasitor Bank untuk Beban Non Linier". 2003.
- Kusko, Alexander. *Power Quality In Electrical Systems*. The McGraw-Hill Companies, 2007.
- Setiajdi, J.S. Madmussyah, T. Wijaya, Y.C. (2017). Pengaruh Harmonisa Pada Gardu Trafo Tiang Daya 100 kVA di PLN APJ Surabaya Selatan. *Jurnal Teknik Elektro* Vol. 7, No. 1, Maret 2007: 13 – 17.