

## Modeling and Simulation of Harmonics Generated by a Static Var Compensator (SVC) in a Power System

Azmi Rizki Lubis<sup>1\*</sup>, Marwan Affandi<sup>1</sup>, Muchsin Harahap<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fakultas Teknik, Universitas Negeri Medan, Medan, INDONESIA

\*Corresponding Author, email : [azmirizkilubis@unimed.ac.id](mailto:azmirizkilubis@unimed.ac.id)

### Abstract

Satu dari beberapa peralatan Flexible AC Transmossion System (FACTS) yang berfungsi untuk mengatur daya reaktif dan memperbaiki faktor daya adalah Static Var Compensator (SVC). Penggunaan Thyristor Controlled Reactor (TCR) pada SVC akan mempengaruhi kualitas daya yaitu distorsi harmonik. Pada penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan menganalisis harmonik yang dihasilkan SVC untuk jenis 1 TCR ditambah 3 Thyristor Switch Capacitor (TSC), serta mengevaluasi efektifitas filter pasif single tuned dalam mereduksi THD sesuai dengan standar IEEE 519 – 2014. Pemodelan dilakukan pada sistem tiga fasa menggunakan perangkat lunak Matlab/Simulink. analisis harmonik dilakukan dengan menggunakan Fast Fourier Transform (FFT) digunakan untuk mengidentifikasi harmonik dominan dan menghitung THD. Dari hasil simulasi menunjukkan bahwa sebelum pemasangan filter, harmonik individual masih seseuai dengan batas standar tetapi THD mencapai 13,89%. Nilai ini menunjukkan bahwa THD 68 | P a g e melebihi ambang batas 5% untuk sistem distribusi tegangan menengah. Setelah dipasang filter harmonik single tuned yang disetel pada orde ke-5 maka diperoleh nilai THD menurun drastis menjadi 0,90%. Sebagai kesimpulan bahwa filter single tuned terbukti efektif dalam mereduksi distorsi harmonik SVC hingga batas standar kualitas daya yang berlaku.

**Keywords:** SVC; TCR; TSC; Harmonik; Filter Pasif Single Tuned; THD.

### 1. Introduction

Saat ini sistem tenaga listrik modern membutuhkan efisiensi penyaluran penyaluran daya sehingga kestabilan tegangan juga semakin penting dengan semakin meningkatnya sistem berbasis elektronika daya dan penggunaan beban nonlinier [1], [2], [3]. Static Var Compensator (SVC) satu diantara beberapa teknologi yang umum digunakan untuk memperbaiki faktor daya secara dinamis dan juga menjaga profil tegangan dalam sistem tenaga listrik [4]. SVC mampu mengatur daya reaktif yang cepat dan akurat yang merupakan bagian dari perangkat Flexible AC Transmission System (FACTS) [5]. Secara umum SVC terdiri dari kombinasi Thyristor Controlled Reactor (TCR) dan Thyristor Switched Capacitor (TSC) yang berfungsi untuk menyuplai daya reaktif secara dinamis atau menyerap daya reaktif sesuai dengan kondisi sistem [6].

Meskipun SVC juga memiliki peran dalam menjaga stabilitas sistem dan memperbaiki faktor daya, SVC juga dapat menimbulkan distorsi harmonik pada TCR dikarenakan karakteristik switching nonlinier [7], [8]. Distorsi harmonik muncul karena gelombang arus tidak lagi sinusoidal dimana dalam jangka waktu yang lama akan mengakibatkan rugi – rugi daya, kegagalan proteksi, penurunan efisiensi, dan panas berlebih pada peralatan sistem tenaga [9]. Berdasarkan latar belakang masalah maka perlu dilakukan analisis terhadap harmonik yang ditimbulkan oleh SVC dengan tujuan untuk memastikan bahwa kualitas daya tetap dalam batas yang diizinkan sesuai dengan standar IEEE 519 – 2014.

Metode yang banyak digunakan dan juga lebih efektif untuk menganalisis harmonik adalah melalui pendekatan berbasis simulasi [10]. Dengan simulasi memungkinkan pemodelan yang komprehensif dari SVC termasuk kontrol sudut penyalan thyristor serta karakter dinamis switching kapasitor, dengan begitu maka harmonik yang muncul dapat diamati secara terperinci [11]. Pada simulasi juga dapat menganalisis frekuensi dengan Fast Fourier Transform (FFT) untuk mengidentifikasi komponen harmonik dominan juga menghitung nilai Total Harmonic Distortion (THD) secara akurat [12], [13].

Penelitian ini menyajikan pemodelan dan simulasi SVC tipe 1 TCR ditambah dengan 3 TSC pada sistem tenaga untuk mengevaluasi harmonik yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan analisis FFT untuk mengidentifikasi spektrum harmonik serta evaluasi penggunaan filter pasif harmonik untuk mitigasi harmonik. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam merancang sistem kompensasi daya reaktif yang efisien dan sesuai dengan standar kualitas daya.

## 2. Material and methods

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Matlab/Simulink untuk pemodelan sistem tenaga. Pada simulasi ini akan menyajikan harmonik yang ditimbulkan oleh SVC melalui blok Powergui – FFT Analysis Tool. Model SVC yang digunakan terdiri dari 1 unit TCR dan 3 unit TSC yang terhubung dengan sumber tegangan 3 fasa sinusoidal. Bentuk arus harmonik yang muncul berasal dari TCR yang dikendalikan oleh sudut penyalan yang diatur. Sedangkan besar kebutuhan daya reaktif ditentukan oleh TSC yang dikendalikan. Hasil simulasi dibandingkan dengan standar IEEE 519 – 2014. Harmonik yang muncul di mitigasi dengan filter pasif harmonik.

### 2.1 Definisi dan Fungsi SVC

Satu dari beberapa perangkat yang termasuk dalam keluarga FACTS yang berfungsi untuk mengatur daya reaktif (VAR) pada sistem tenaga secara dinamis disebut dengan SVC. Dalam menjaga kestabilan tegangan dan meningkatkan kualitas daya SVC bekerja sebagai kompensator shunt yang dapat menyerap atau menyuplai daya reaktif dengan sangat cepat [14].

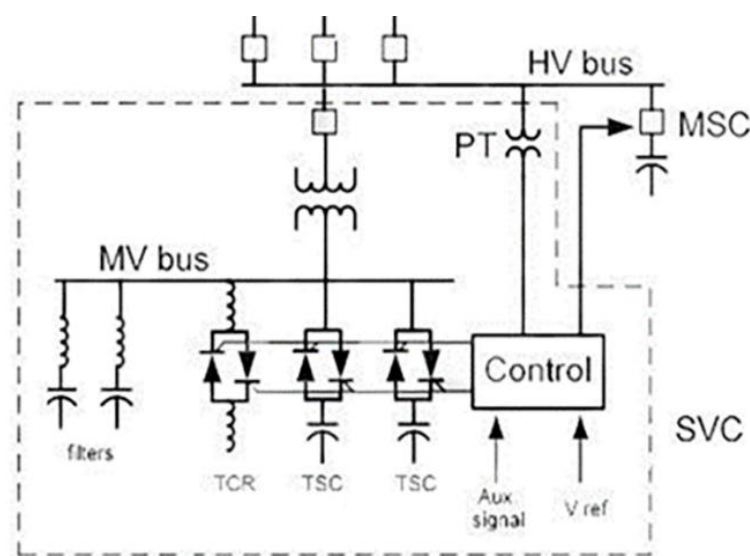


Figure 1: Rangkaian SVC

## 2.2 Komponen Utama SVC

Secara umum SVC terdiri dari dua komponen utama yang dikendalikan secara elektronik. Pertama TCR yang merupakan reaktor induktif yang dihubungkan seri dengan sepasang thyristor antiparalel. Dengan mengatur sudut penyalan thyristor antar  $90^\circ$  sampai  $180^\circ$  maka nilai daya reaktif yang diserap dapat dikendalikan. Kedua TSC yang merupakan bank kapasitor yang dikendalikan oleh thyristor akan meninjeksikan daya reaktif ke sistem pada saat dibutuhkan. Pada saat TCR menyerap daya reaktif dan TSC menyuplai daya reaktif, maka memungkinkan pengaturan daya reaktif keduanya secara kombinasi ke sistem secara presisi.

## 2.3 Mekanisme Kerja SVC

Pada jaringan sistem tenaga SVC terhubung secara paralel (shunt) dengan kombinasi kerja dengan mengatur TCR dan TSC. Sistem pengendali SVC bekerja secara terus menerus untuk memantau tegangan sistem. SVC bekerja berdasarkan kendali tegangan tegangan tertutup (closed – loop control). Tegangan referensi dibanding sistem kendali akan memantau tegangan bus. Pada kondisi adanya penyimpangan maka kontrol akan mengaktifkan TCR atau TSC sesuai dengan kebutuhan. Jika tegangan sistem terlalu rendah maka sistem memerlukan daya reaktif kapasitif kemudian TSC akan aktif maka thyristor akan menutup rangkaian kapasitor dan kapasitor akan menyuntikkan daya reaktif ke sistem untuk menaikkan tegangan. Jika tegangan sistem terlalu tinggi akan dibutuhkan daya reaktif induktif sehingga TCR akan aktif dengan sudut penyalan disesuaikan, maka arus reaktor meningkat lalu menyerap daya reaktif dari sistem untuk menurunkan tegangan. Jika tegangan stabil status TSC dan pengaturan sudut penyalan disesuaikan agar sistem tetap pada tegangan referensi. Daya reaktif yang diserap oleh TCR dapat dimodelkan sebagai berikut :

$$Q_{TCR}(\alpha) = \frac{V^2}{X_L} \cdot f(\alpha) \quad (1)$$

Dimana  $f(\alpha)$  adalah merupakan fungsi nonlinier sudut penyalan, sedangkan pemodelan TSC dimodelkan dengan persamaan :

$$Q_{TSC} = \frac{V^2}{X_C} \quad (2)$$

## 2.4 Harmonik Yang Dihasilkan SVC

Komponen gelombang arus dan tegangan yang memiliki frekuensi kelipatan dari frekuensi fundamental dalam sistem tenaga listrik disebut dengan harmonik. Akibat dari karakteristik peralatan yang nonlinier maka menimbulkan harmonik pada beban sehingga bentuk gelombang dari sumber yang awalnya berbentuk sinusoidal akan rusak karena adanya harmonik. Pada SVC harmonik terutama muncul dari TCR karena kendali sudut penyalan sebagian dipotong arus reaktornya, hanya sebagian kecil siklus konduksi yang dilewatkan ketika  $\alpha$  mendekati sudut  $180^\circ$  sehingga arus terdistorsi. Dengan menggunakan deret Fourier arus yang lewat pada TCR dapat dianalisis. Karena sistem tiga fasa arus ini mengandung harmonik orde ganjil ( $n = 3, 5, 7$ , dan seterusnya) kecuali harmonik orde triplen ( $n = 3, 9$ , dan seterusnya). Untuk arus yang melewati TCR dapat menggunakan persamaan (3) berikut :

$$i(t) = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} I_n \sin(n\omega t) \quad (3)$$

Untuk komponen harmonik orde ke - n dari arus TCR dapat menggunakan persamaan (4) berikut :

$$I_n(\alpha) = \frac{4V_m}{n\pi\omega L} \cdot \sin(n\alpha) \quad (4)$$

Dimana :

- $I_n$  = amplitudo arus harmonik orde ke - n
- $V_m$  = amplitudo tegangan
- $\omega$  = frekuensi sudut
- $L$  = induktansi reaktor
- $\alpha$  = sudut penyalan

## 2.5 Standar Harmonik

Kerusakan peralatan, resonansi, rugi - rugi, dan turunnya kualitas daya merupakan penyebab dari harmonik. Harmonik arus merupakan kelipatan dari frekuensi dasar (50 Hz) arus listrik yang diakibatkan karena adanya beban nonlinier seperti VFD (Variable Speed Drive), UPS (uninterruptable Power Supply), atau peralatan FACTS seperti SVC. Standar internasional yang digunakan untuk membatasi harmonik arus adalah IEEE 519 - 2014 [15]. Standar harmonik ini dapat berupa batas Total Harmonic Distortion (THD) yang diukur pada PCC (Point of Common Coupling) yang dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan Individual Harmonic Distortion (IHD) ditentukan berdasarkan current short circuit ratio (ISCR), dimana untuk mendapatkan ISCR ini adalah dengan membandingkan arus hubung singkat (ISC) dengan arus beban (IL) seperti ditunjukkan pada Tabel 2.

**Tabel 1: THD Arus Maksimum (Pada Titik PCC)**

| Tegangan Sistem | THD arus maksimum (%) |
|-----------------|-----------------------|
| <69 KV          | 5                     |
| 69 - 161 kV     | 8                     |
| >161 kV         | 12                    |

**Tabel 2: Arus Harmonik Individual Berdasarkan Orde Harmonik**

| $\frac{I_{SC}}{I_L}$ | Orde harmonik (dalam %) |                  |                  |                  |             | Total Demand Distortion (TDD) |
|----------------------|-------------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|-------------------------------|
|                      | $h < 11$                | $11 \leq h < 17$ | $17 \leq h < 23$ | $23 \leq h < 35$ | $35 \geq h$ |                               |
| <20                  | 4,0                     | 2,0              | 1,5              | 0,6              | 0,3         | 5,0                           |
| 20 - 50              | 7,0                     | 3,5              | 2,5              | 1,0              | 0,5         | 8,0                           |
| 50 - 100             | 10,0                    | 4,5              | 4,0              | 1,5              | 0,7         | 12,0                          |
| 100 - 1000           | 12,0                    | 5,5              | 5,0              | 2,0              | 1,0         | 15,0                          |
| >1000                | 15,0                    | 7,0              | 6,0              | 2,5              | 1,4         | 20,0                          |

## 2.6 Filter Pasif Single Tuned

Filter pasif single tuned merupakan filter yang terdiri dari tiga buah komponen yaitu R, L, dan C (Figure 2). Filter ini akan membelokkan arus yang frekuensinya sama dengan frekuensi resonansi jika impedansinya kecil pada frekuensi resonansi. Untuk merancang frekuensi resonansi pada filter dapat menggunakan persamaan (5)(4) berikut :

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Untuk menentukan besar kapasitansi (C) dapat digunakan persamaan (6) berikut ini :

$$Q_c = \frac{V^2}{X_c} \Rightarrow C = \frac{1}{2\pi f_r X_c} \quad (6)$$

Untuk menentukan besar induktansi (L) dapat digunakan persamaan (7) berikut ini :

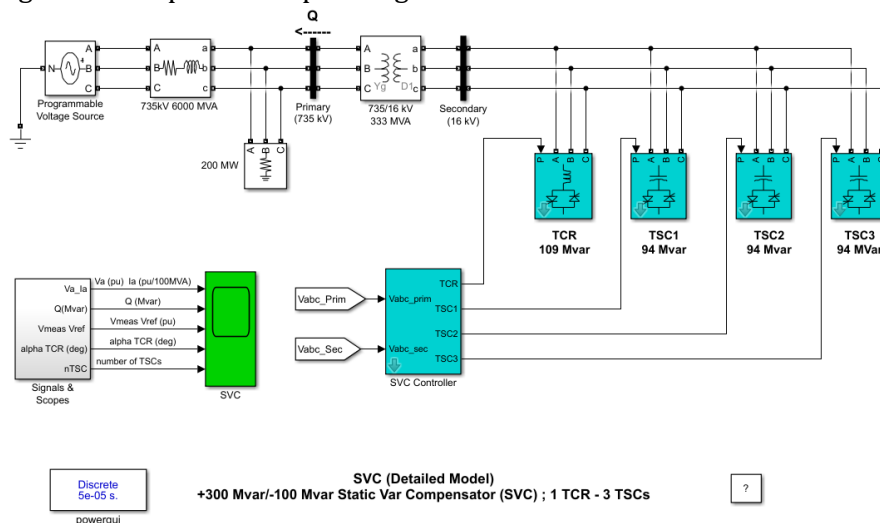
$$X_L = X_c \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f_r)^2 C} \quad (7)$$



Figure 2: Filter Pasif Single Tuned

## 3. Results and discussion

Pada penelitian ini dilakukan dengan simulasi sistem tenaga 3 fasa 16 kV dengan menggunakan SVC dengan tipe 1 TCR ditambah 3 TSC. PCC pada penelitian ini pada bus 16 kV kemudian dianalisis FFT terhadap harmonik arus fasa. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa akibat adanya TCR yang bekerja dengan mengatur sudut penyalan menimbulkan distorsi harmonik yang signifikan. Pemodelan rangkaian SVC sebelum pemasangan filter dapat dilihat pada Figure 3.



### Figure 3: Pemodelan Rangkaian SVC Tanpa Filter

Analisis FFT dari pemodelan rangkaian SVC pada Figure 3 menunjukkan bahwa THD yang muncul sebesar 13,89%, dimana arus sistem mengalami distorsi harmonik cukup besar karena jauh diatas standar IEEE 519 – 2014. Sistem menghasilkan harmonik dominan pada orde ke-5 dan ke-7 sesuai karakteristik TCR pada SVC. Dengan kondisi THD yang tinggi ini perlu dilakukan pemasangan filter. Tidak hanya itu beberapa harmonik genap juga muncul seperti orde ke-2, ke-4, dan ke-6 dimana harmonik ini muncul karena sudut penyalan TCR yang tidak simetris dan juga dikibatkan ketidakseimbangan sistem. Pemodelan rangkaian SVC setelah dipasang filter dapat dilihat pada Figure 4. Data harmonik yang muncul sebelum dan sesudah pemasangan filter dapat dilihat pada Tabel 3.

**Tabel 3: Hasil Simulasi Sebelum Dan Sesudah Dipasang Filter**

| Orde Harmonik | Frekuensi  | Standar IEEE 519-2014 | Harmonik sebelum filter | Ket          | Harmonik setelah filter | Ket    |
|---------------|------------|-----------------------|-------------------------|--------------|-------------------------|--------|
| 1             | 50         |                       | 100                     |              | 100                     |        |
| 3             | 150        | 7,0                   | 4,22                    | Sesuai       | 0,01                    | Sesuai |
| 5             | 250        | 7,0                   | 6,68                    | Sesuai       | 0,01                    | Sesuai |
| 7             | 350        | 7,0                   | 1,27                    | Sesuai       | 0,03                    | Sesuai |
| 9             | 450        | 7,0                   | 1,91                    | Sesuai       | 0,03                    | Sesuai |
| 11            | 550        | 3,5                   | 0,73                    | Sesuai       | 0,03                    | Sesuai |
| 13            | 650        | 3,5                   | 0,25                    | Sesuai       | 0,05                    | Sesuai |
| 15            | 750        | 3,5                   | 0,25                    | Sesuai       | 0,08                    | Sesuai |
| 17            | 850        | 2,5                   | 0,61                    | Sesuai       | 0,10                    | Sesuai |
| 19            | 950        | 2,5                   | 0,19                    | Sesuai       | 0,12                    | Sesuai |
| 21            | 1050       | 2,5                   | 0,36                    | Sesuai       | 0,14                    | Sesuai |
| 23            | 1150       | 1,0                   | 0,06                    | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 25            | 1250       | 1,0                   | 0,38                    | Sesuai       | 0,14                    | Sesuai |
| 27            | 1350       | 1,0                   | 0,09                    | Sesuai       | 0,10                    | Sesuai |
| 29            | 1450       | 1,0                   | 0,34                    | Sesuai       | 1,14                    | Sesuai |
| 31            | 1550       | 1,0                   | 0,26                    | Sesuai       | 0,07                    | Sesuai |
| 33            | 1650       | 1,0                   | 0,30                    | Sesuai       | 0,14                    | Sesuai |
| 35            | 1750       | 0,5                   | 0,28                    | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 37            | 1850       | 0,5                   | 0,25                    | Sesuai       | 0,12                    | Sesuai |
| 39            | 1950       | 0,5                   | 0,25                    | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 41            | 2050       | 0,5                   | 0,2                     | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 43            | 2150       | 0,5                   | 0,3                     | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 45            | 2250       | 0,5                   | 0,08                    | Sesuai       | 0,12                    | Sesuai |
| 47            | 2350       | 0,5                   | 0,31                    | Sesuai       | 0,13                    | Sesuai |
| 49            | 2450       | 0,5                   | 0,06                    | Sesuai       | 0,11                    | Sesuai |
|               | <b>THD</b> | <b>5</b>              | <b>13,89</b>            | Tidak Sesuai | <b>0,90</b>             | Sesuai |

Dari data pada Tabel 3 diatas diperoleh semua besaran arus IHD yang muncul sebelum dipasang filter dari orde ke-1 sampai orde ke-49 masih sesuai karena dibawah standar IEEE 519 – 2014 meskipun beberapa cukup tinggi diantaranya orde ke-3 dan ke-5. Sementara itu untuk THD yang muncul melebihi standar IEEE 519 – 2014 untuk sistem < 16 kV yang maksimal batas THD nya adalah 5%. Dari data ini menunjukkan IHD sesuai akan tetapi THD melampaui batas karena akumulasi banyak harmonik kecil. Setelah dipasang filter maka semua harmonik individual tetap sesuai dan nilainya jauh berkurang. Dapat dilihat bahwa harmonik pada orde ke-5 turun drastis dari 6,68% menjadi 0,01%, THD turun dari 13,89% menjadi 0,90% jauh dibawah batas IEEE 519 – 2014 yaitu sebesar 5%. Bentuk gelombang arus harmonik sebelum dipasang filter dapat

dilihat pada Figure 5 sedangkan untuk bentuk gelombang **Figure 5** arus harmonik setelah dipasang filter dapat dilihat pada Figure 7 dan untuk spektrum arus harmonik sebelum dipasang filter dapat dilihat pada Figure 6 untuk spektrum arus harmonik setelah dipasang filter dapat dilihat pada Figure 8.

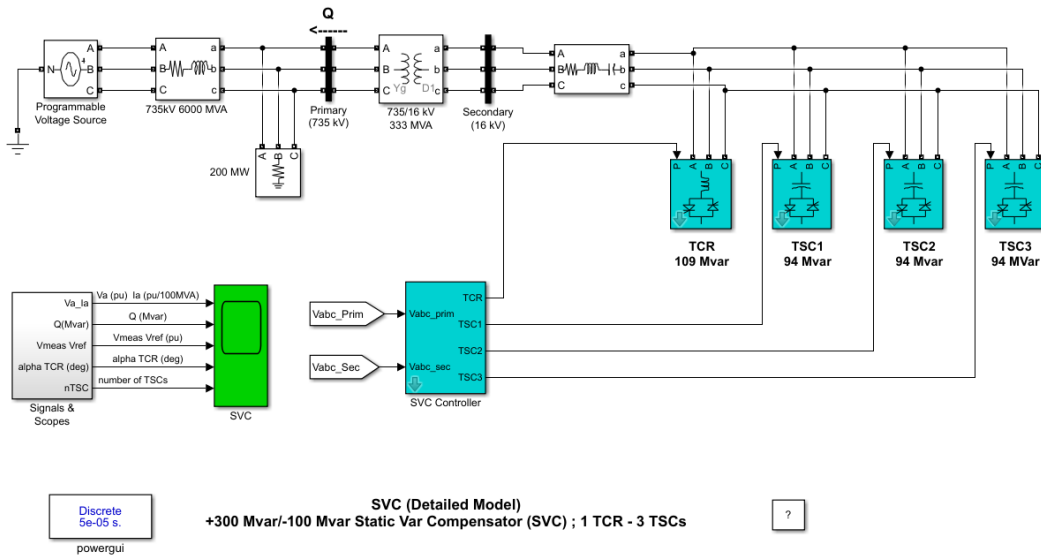


Figure 4: Pemodelan Rangkaian SVC Tanpa Filter

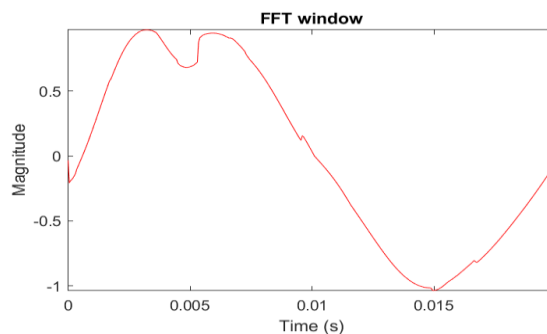


Figure 5: Bentuk Gelombang Arus Harmonik Sebelum dipasang Filter

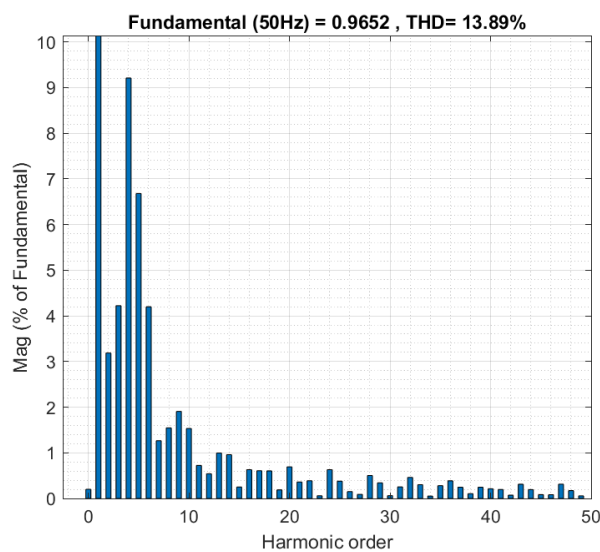
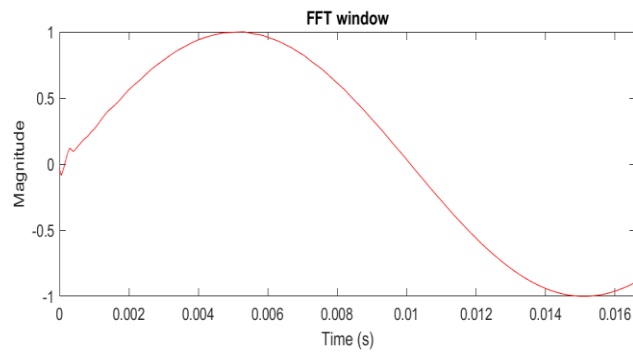
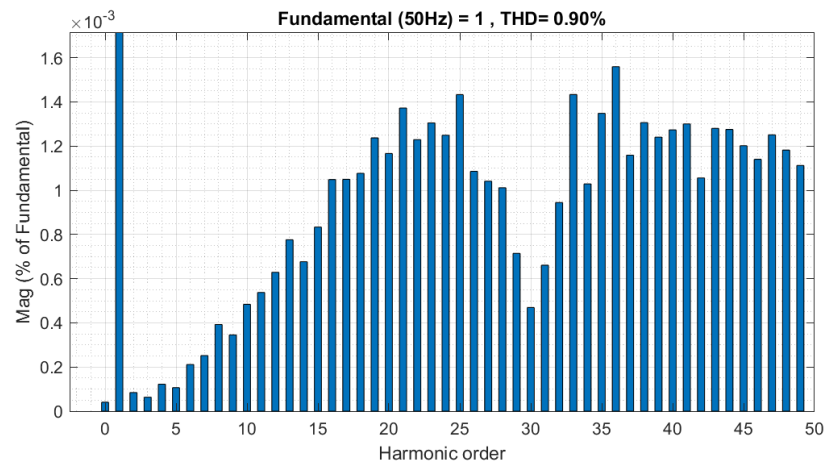


Figure 6: Bentuk Spektrum Arus Harmonik Sebelum dipasang Filter



**Figure 7: Bentuk Gelombang Arus Harmonik Setelah dipasang Filter**



**Figure 8: Bentuk Spektrum Arus Harmonik Setelah dipasang Filter**

#### 4. Conclusion

Setelah dilakukan penelitian diperoleh kondisi awal arus harmonik pada masing – masing orde masih aman akan tetapi akumulasinya menghasilkan THD yang tinggi dan melampaui batas yang telah ditetapkan oleh IEEE 519 – 2014 yaitu sebesar 13,89%. Solusi yang dilakukan yaitu memasang filter single tuned untuk mereduksi arus harmonik pada orde ke-5 yang tergolong cukup tinggi dan hasilnya sangat efektif dalam menurunkan THD lebih dari 90%. Hasil akhirnya adalah semua arus harmonik turun baik itu IHD maupun THD.

#### Author contribution

Konseptualisasi dan analisis formal : Azmi Rizki Lubis.  
Metodologi dan investigasi : Marwan Affandi.  
Penulisan : Muchsin Harahap.

#### Funding statement

Penelitian ini dibiayai oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Medan yang telah memberikan dukungan pendanaan melalui skema Penelitian Dasar Tahun Anggaran 2025 dengan Nomor Kontrak 0018/UN33.8/PPKM/PD/2025, sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik.

## Acknowledgements

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat Universitas Negeri Medan yang telah memberikan banyak kontribusi diantaranya dalam bentuk bantuan dana penelitian dan juga dukungan yang tidak dapat dijelaskan secara terperinci sehingga artikel ini dapat diterbitkan. Tanpa dukungan ini sulit kiranya penulis sampai ke tahap seperti sekarang ini.

## References

- [1] N. G. . Hingorani, Laszlo. Gyugyi, and M. E. . El-Hawary, *Understanding FACTS : concepts and technology of flexible AC transmission systems*. IEEE Press, 2000.
- [2] S. Krisna Nugraha, I. Winarno, and D. Rahmatullah, "Optimasi Nilai Static Var Compensator (SVC) Untuk Perbaikan Jatuh Tegangan Pada Sistem Distribusi 20 KV Menggunakan Metode Particle Swarm Optimization (PSO)," 2021.
- [3] T. T. Vo and M. T. Nguyen, "Harmonic Distortion Reduction in High Power Systems Supplying AC Electric Railway using SVC," in *2021 International Conference on System Science and Engineering (ICSSE)*, 2021, pp. 447–451. doi: 10.1109/ICSSE52999.2021.9538485.
- [4] C. Adiyabazar, M. N. Acosta, and F. Gonzalez-Longatt, "Field Harmonics Measurements and Computer Simulation of an SVC at the Mongolian Transmission Network," in *2021 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies Conference - Latin America (ISGT Latin America)*, 2021, pp. 1–5. doi: 10.1109/ISGTLatinAmerica52371.2021.9542991.
- [5] J. Warner, J. Fenn, S. Hutchinson, and R. Platt, "Impact of system changes on the harmonic performance and rating of an SVC," in *PES T&D 2012*, 2012, pp. 1–7. doi: 10.1109/TDC.2012.6281638.
- [6] M. H. Shawon, Z. Hanzelka, and A. Dziadecki, "Voltage-current and harmonic characteristic analysis of different FC-TCR based SVC," in *2015 IEEE Eindhoven PowerTech*, 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/PTC.2015.7232559.
- [7] K. Wilkosz, M. Sobierajski, and W. Kwasnicki, "The analysis of harmonic generation of SVC and STATCOM by EMTDC/PSCAD simulations," in *8th International Conference on Harmonics and Quality of Power. Proceedings (Cat. No.98EX227)*, 1998, pp. 853–858 vol.2. doi: 10.1109/ICHQP.1998.760154.
- [8] D. Langner *et al.*, "Harmonic Analysis Considerations for SVS Design," in *2020 IEEE/PES Transmission and Distribution Conference and Exposition (T&D)*, 2020, pp. 1–5. doi: 10.1109/TD39804.2020.9299892.
- [9] A. R. Lubis, "Efektivitas Penggunaan Filter Pasif LC dalam Mengurangi Harmonik Arus," *Journal of Electrical Technology*, vol. 2, no. 3, pp. 1–8, 2017.
- [10] N. Sharma, "Network Harmonic Impedance Derivation for Harmonic Filter Designing using Power Flow Program," in *2020 IEEE Kansas Power and Energy Conference (KPEC)*, 2020, pp. 1–6. doi: 10.1109/KPEC47870.2020.9167519.
- [11] M. H. Shawon, Z. Hanzelka, and A. Dziadecki, "Analysis of different configuration for FC-TCR SVC: Simulation and laboratory study," in *2015 Modern Electric Power Systems (MEPS)*, 2015, pp. 1–5. doi: 10.1109/MEPS.2015.7477176.

- [12] M. Jianzong, W. Mingli, and Y. Shaobing, "The application of SVC for the power quality control of electric railways," in *2009 International Conference on Sustainable Power Generation and Supply*, 2009, pp. 1–4. doi: 10.1109/SUPERGEN.2009.5347939.
- [13] G. Shrivastava and S. Chandra, "Control Strategies for a Static VAR Compensator to Upgrade Voltage Stability and Harmonic Contamination in Grid System," in *2023 International Conference on Artificial Intelligence and Smart Communication (AISC)*, 2023, pp. 128–133. doi: 10.1109/AISC56616.2023.10085135.
- [14] J. Arrillaga and N. R. Watson, *Power System Harmonics*. in Wiley InterScience electronic collection. Wiley, 2004. [Online]. Available: <https://books.google.co.id/books?id=mDGfHsEoiN8C>
- [15] "IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems," 2014.