

Pemulihan Voltage Sag Menggunakan Dynamic Voltage Restorer Pada Sistem Distribusi Dengan Metode Artificial Neural Network

Fadil Muhammad¹, Rezha Andriyanto¹, Anggoro Suryo P¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon, Banten.

Informasi Artikel

Naskah Diterima : 15 Nopember 2021

Direvisi : 17 Nopember 2021

Disetujui : 18 Nopember 2021

doi: 10.36055/setrum.v10i2.13094

*Korespodensi Penulis :

rezha1998@gmail.com

Abstract

Electrical power quality problems that often occur in distribution systems are voltage sag. Voltage sag in distribution systems is generally caused by short circuit faults. The quality of electric power is said to be good if it meets the requirements, which include power that has a voltage with a value close to 1 pu. To reduce the impact of poor power quality, a compensation device called a Dynamic Voltage Restorer (DVR) is used. DVR is an electronic-based power device that is connected in series on the power line. In this study, voltage sag recovery will be simulated that occurs due to single-phase to ground, two-phase to ground, three-phase to ground, and inter-phase short circuit using a DVR with Artificial Neural Network (ANN) control. In the three-phase distribution channel using Dynamic Voltage Restorer modeling with ANN control that has been made. The simulation results show that the DVR with ANN control can recover voltage up to 0.9912 with a THD of 2.26% for a duration of 0.2 seconds to 0.6 seconds.

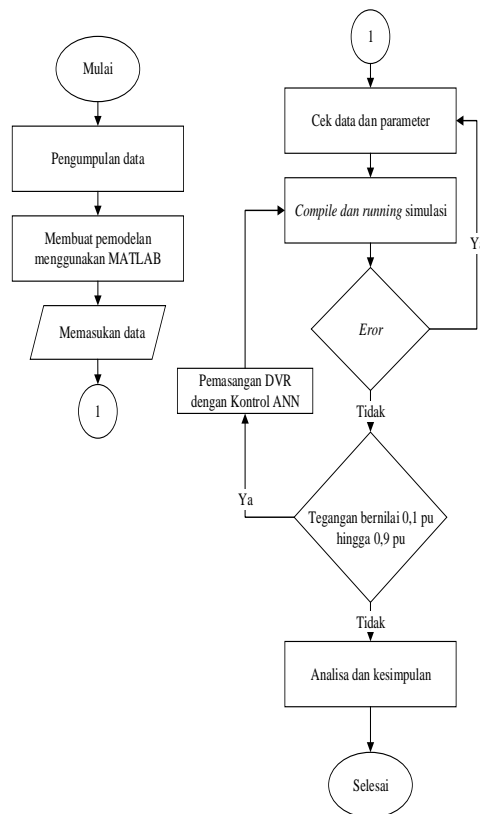
Keywords: Voltage Sag, Dynamic Voltage Restorer (DVR), Artificial Neuron Network (ANN), short circuit interruption

Abstrak

Permasalahan kualitas daya listrik yang sering terjadi pada sistem distribusi adalah voltage sag. Voltage sag pada sistem distribusi umumnya diakibatkan oleh gangguan hubung singkat. Kualitas daya listrik dikatakan baik jika memenuhi persyaratan yang diantaranya adalah daya yang memiliki tegangan dengan nilai mendekati 1 pu. Untuk mengurangi dampak dari kualitas daya yang buruk, maka digunakanlah perangkat kompensasi yang disebut Dynamic Voltage Restorer (DVR). DVR adalah perangkat daya berbasis elektronik yang terhubung seri pada saluran tenaga. Pada penelitian ini akan disimulasikan pemulihan voltage sag yang terjadi akibat gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah, dan antar fasa menggunakan DVR dengan kontrol Artificial Neural Network (ANN). Pada saluran distribusi tiga fasa dengan menggunakan pemodelan Dynamic Voltage Restorer dengan kontrol ANN yang telah dibuat. Hasil simulasi menunjukkan bahwa DVR dengan kontrol ANN mampu memulihkan tegangan hingga 0.9912 dengan THD 2,26% pada durasi 0,2 detik sampai 0,6 detik.

Kata kunci: Voltage Sag, Dynamic Voltage Restorer (DVR), Artificial Neuron Network (ANN), Gangguan Hubung Singkat.

© 2021 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved



1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik untuk perumahan, komersial dan industri terus meningkat pada setiap tahunnya. Suplai daya dari sumber ke beban tersebut harus dikirim dengan suatu kontinuitas pelayanan dan kualitas yang baik[1]. Akan tetapi, dalam prakteknya sistem tenaga banyak terdapat beban tidak linier, yang berpengaruh secara signifikan pada kualitas daya dari suplai. Akibat adanya beban non linier ini, bentuk gelombang dari suplai menjadi tidak murni sinusoidal[2] Kontinuitas

suplai daya dapat ditunjukkan dengan minimnya jumlah gangguan dan durasi pemadaman. Kualitas ditentukan oleh parameter listrik seperti tegangan dan frekuensi sistem tenaga listrik, yang harus berada dalam rentang standar operasi yang diperbolehkan. Salah satu permasalahan sistem tenaga listrik berhubungan dengan kualitas adalah *voltage sag*. Sekitar 80% masalah kualitas daya berhubungan dengan gejala *voltage sag* [1].

Voltage Sag merupakan penurunan tegangan rms dengan besar antara 10% sampai 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 [2] siklus sampai satu menit. Kedip tegangan dapat menyebabkan kesalahan operasi atau kegagalan fasilitas pelanggan yang sangat sensitif terhadap perubahan besaran yang kecil. Penurunan tegangan dalam saluran daya juga terjadi akibat pengoperasian beban yang berat, atau oleh gangguan pada saluran sistem transmisi maupun pada saluran sistem distribusi daya listrik, dapat mengubah karakteristik beban seperti motor induksi dan mesin las. *Voltage sag* dapat menyebabkan masalah serius pada beban sensitif, karena beban ini sering jatuh secara *off-line* karena *voltage sag*. Akibatnya, beberapa fasilitas industri mengalami pemadaman produksi yang mengakibatkan kerugian ekonomi [3]. Dalam beberapa proses seperti industri semikonduktor atau industri makanan, *voltage sag* dalam durasi yang sangat singkat dapat menghabiskan banyak biaya [4]. *Voltage sag* adalah masalah kualitas daya utama untuk industri manufaktur semikonduktor dan berkelanjutan, dan juga untuk sektor hotel dan telekomunikasi [5]. Menurut standar IEEE 1159-1995, IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality, [1][2][3] definisi *sag* adalah penurunan nilai rms tegangan atau arus pada frekuensi daya selama durasi waktu dari 0,5 cycles (0,01detik) sampai 1 menit [2]. Rentang perubahan dari 0,9 sampai 0,1 pu [3] pada harga rms besaran tegangan atau arus. Berdasarkan standar IEEE Std 141-1993 *voltage sag* yang mencapai 0,25–0,5% akan menyebabkan terjadinya kedip pada lampu penerangan [6]

Voltage sag merupakan salah satu faktor penyebab berkurangnya kualitas daya listrik, namun hal ini tidak bisa dihindari karena saat terjadinya gangguan tidak dapat diketahui dengan pasti. Oleh sebab itu dilakukan antisipasi apabila terjadi *voltage sag*. Salah satu cara yang dilakukan adalah dengan menggunakan *Dynamic Voltage Restorer (DVR)*. *Dynamic Voltage Restorer (DVR)* adalah suatu peralatan elektronika daya yang berfungsi untuk melindungi peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan akibat gangguan kedip tegangan [7]. DVR telah banyak diteliti dan memiliki rangkaian yang berbeda-beda. Penelitian ini dilakukan untuk mencari desain sistem DVR metode *artificial neural network (ANN)*. Metode dengan kontrol ANN dapat melakukan pelatihan dan respon lebih cepat. Pada penelitian ini akan dilakukan pemodelan sistem kontrol DVR untuk melakukan pemulihan terhadap tegangan yang hilang akibat gangguan dari *voltage sag*. Kemudian ANN digunakan sebagai kontrol injeksi tegangan dari DVR untuk memulihkan tegangan yang mengalami *voltage sag*. Proses simulasi dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak matlab.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Penyelesaian penelitian terdapat beberapa langkah kerja yang dilakukan sebagai berikut:

1. Studi literatur bertujuan untuk mencari referensi yang dapat membantu dalam melaksanakan penelitian. Literatur yang digunakan berupa jurnal penelitian, dan buku mengenai, *voltage sag*, DVR, kualitas daya dan sistem distribusi listrik.
2. Mengumpulkan data sebelum membuat pemodelan berupa parameter yang digunakan, besar beban, gangguan dan lain – lain.
3. Data yang telah didapatkan kemudian digunakan merancang pemodelan pada perangkat lunak Simulink Matlab.
4. Merancang pemodelan DVR dengan kontrol ANN yaitu tanpa gangguan dan dengan gangguan pada sistem distribusi.
5. Melihat *voltage sag* yang timbul pada beban sensitif dan memberikan tegangan kompensasi dari rangkaian DVR hingga tercapai nilai tegangan beban sebesar 1 pu atau mendekati
6. Melakukan analisis dan membuat laporan dengan hasil yang sudah didapa

2.2 Parameter Pengujian

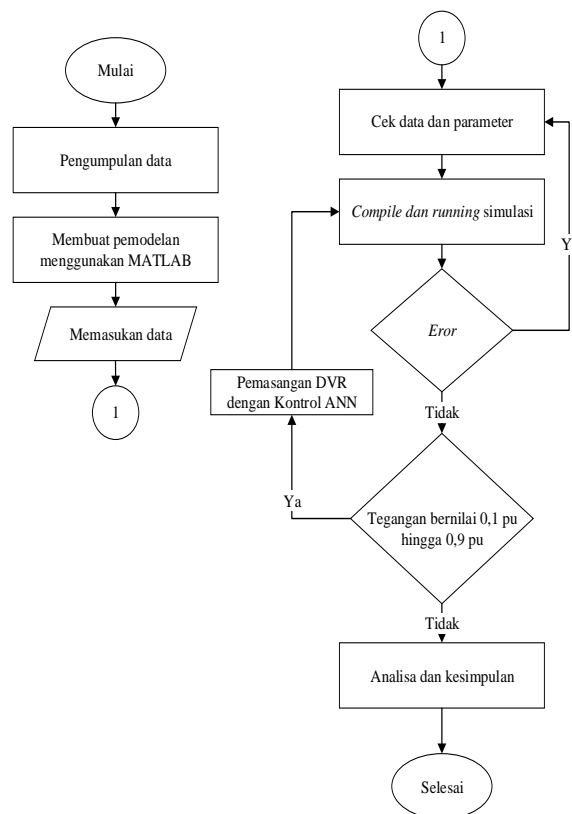
Berikut ini merupakan parameter pengujian yang digunakan yang ditampilkan pada Tabel 1

Tabel 1. Parameter Pengujian

Parameter	Nilai
Tegangan Sumber	20 KV
Daya Transformasi Distribusi	2500 KVA
Frekuensi	50 Hz
Tegangan Lilitan Primer	20 KV
Resistansi Lilitan Primer	2,16 Ohm
Induktansi Lilitan Primer	8,6 mH
Tegangan Lilitan Sekunder	380 V
Resistansi Lilitan Sekunder	0,02 Ohm
Induktansi Lilitan Sekunder	0,08 mH
Resistansi dan Reaktansi Magnetisasi	577 Ohm
Daya Aktif Beban	1500 W
Daya Reaktif Induktif Beban	40 VAR
Daya Reaktif Kapasitif Beban	10 VAR

2.3 Diagram Alir Penelitian

Secara sederhana proses penelitian Pemulihan *Voltage Sag* Menggunakan *Dynamic Voltage Restorer* Pada Sistem Distribusi Dengan Metode *Artificial Neural Network* dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian



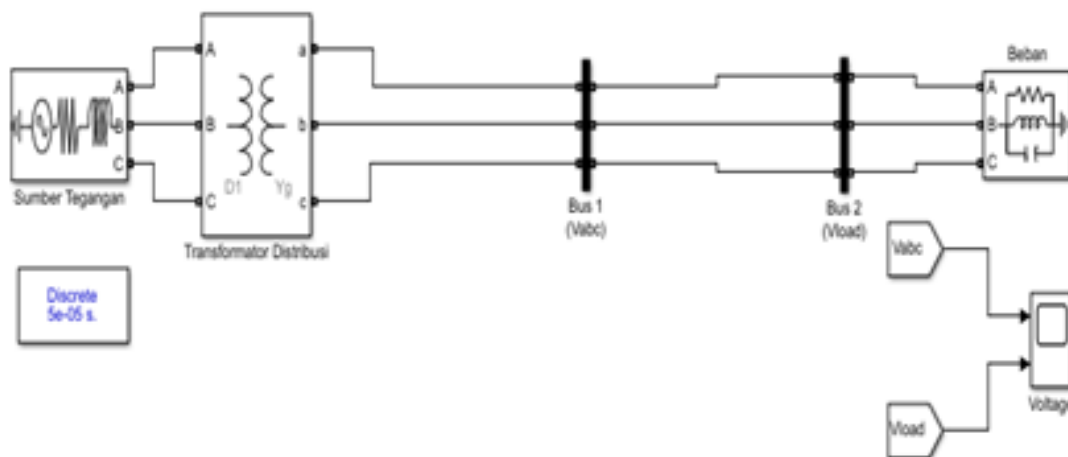
2.4 Perancangan Sistem Distribusi

Sistem Distribusi merupakan bagian yang tidak terpisahkan dari sistem tenaga listrik[8]. Pada sistem distribusi dibedakan atas jaringan distribusi primer dan sekunder. Jaringan distribusi primer adalah jaringan dari trafo gardu induk (GI) ke gardu distribusi[9]. Jaringan distribusi tegangan menengah mempunyai tegangan antara 3 kV sampai 20 kV [8]. Sedangkan tegangan kerja jaringan distribusi sekunder adalah 220/380 volt[10]. PLN sendiri menggunakan tegangan di level 20kV untuk penyaluran distribusi primer dan level tegangan 220/380V untuk penyaluran distribusi sekunder. Batas maksimum pembebanan ditentukan oleh kemampuan hantaran arus dari saluran. Kapasitas transformator dan jatuh tegangan maksimum yang diizinkan pada ujung saluran yang ditetapkan dalam Standar Perusahaan Listrik Negara (SPLN) adalah 10% dan +5% [11].

Semua jaringan distribusi terdiri dari 4 (empat) tipe, yakni sebagai berikut:

1. Jaringan distribusi sistem radial
2. Jaringan distribusi sistem *loop/ring*
3. Jaringan distribusi sistem interkoneksi
4. Jaringan distribusi sistem *spindle*

Pada simulasi ini besar tegangan diatur 20 kV. Tegangan dibangkitkan oleh sumber kemudian mengalir melalui transformator stepdown. Transformator diatur pada daya 2500 kVA dan tegangan 20 kV/380 V terhubung dengan beban. Berikut merupakan perancangan pemodelan sistem distribusi pada Gambar 2.



Gambar 2. Perancangan Sistem Distribusi

2.5 Perancangan *Dynamic Voltage Restorer*

Dynamic Voltage Restorer merupakan peralatan yang digunakan untuk memulihkan tegangan atau memperbaiki mutu tegangan di sisi beban dan posisinya dipasang secara seri antara sumber dan beban. DVR dirangkai secara seri dengan sistem distribusi untuk melindungi peralatan sensitif terhadap terjadinya kedip tegangan [12]. Konfigurasi umum DVR terdiri dari transformator Injeksi, LC filter, *Voltage Source Control* (VSC), Unit Penyimpanan Energi dan unit Kontrol.

Unit penyimpan energi DC berfungsi untuk menyediakan kebutuhan daya aktif selama terjadi kompensasi oleh DVR. Perangkat penyimpan energi DC adalah baterai. Rating baterai DC akan dipilih dengan mempertimbangkan jatuh tegangan tanpa pergeseran sudut fasa. Ukuran baterai harus dipilih sedemikian rupa, sehingga selama jatuh diharapkan magnitudo maksimum dan durasi [13].

Pada dasarnya VSI berfungsi untuk mengkonversi tegangan DC yang dihasilkan oleh unit penyimpanan energi DC menjadi tegangan AC untuk diinjeksikan ke sistem distribusi. VSI dikopling dengan suatu transformator terhadap sistem [13]. Pada inverter satu fasa biasanya digunakan Full Bridge Inverter yang menggunakan empat buah switching. DVR menggunakan tiga unit inverter satu fasa yang dibangun dari jembatan penuh Insulated Gate Bipolar Transistor (IGBT) satu fasa dan dimodulasi dengan *Sinusoidal Pulse Width Modulation* (PWM) yang dipakai sebagai strategi

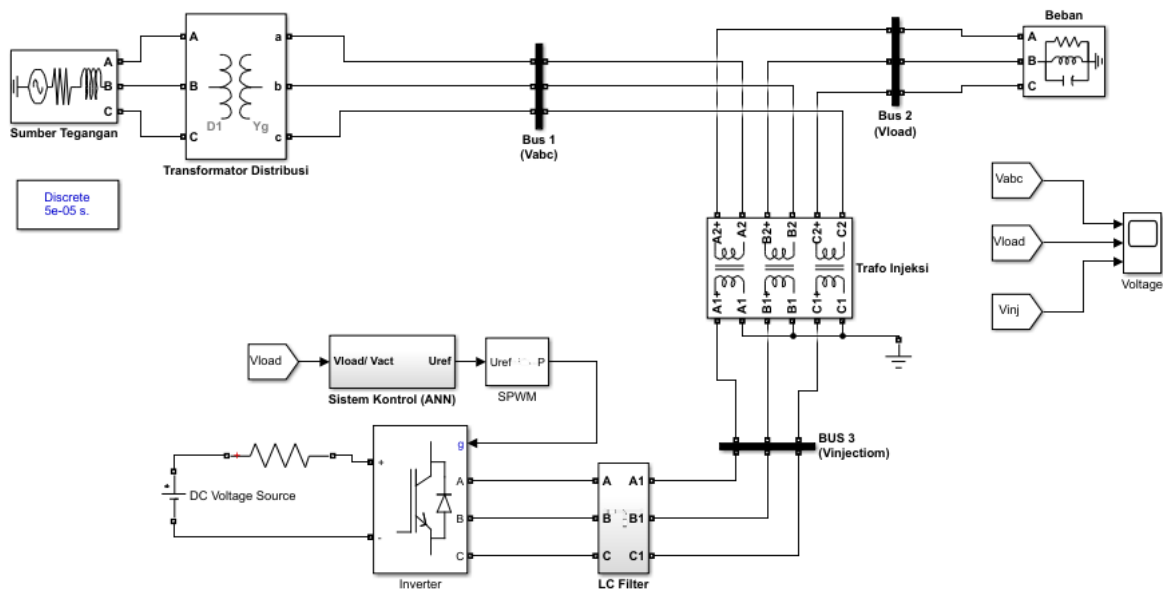
switching VSI. PWM merupakan teknik penyulutan gate switch IGBT pada inverter yang digunakan untuk mengendalikan indeks modulasi.

Metode untuk pengaturan pensaklaran pada VSI menggunakan PWM. Secara umum, cara kerja PWM adalah dengan memanipulasi lebar sinyal yang dinyatakan dengan pulsa. PWM ini memanfaatkan sinyal sinusoidal sebagai sinyal referensi untuk dibandingkan dengan sinyal carrier. PWM pada inverter digunakan untuk mengendalikan modulasi amplitudo yang dapat mengatur tegangan keluaran inverter[14].

LC Filter terdiri dari induktor dan kapasitor, yang dapat diletakkan pada sisi tegangan rendah dari transformator penginjeksi tegangan [15]. Dengan menempatkan filter pada sisi inverter, harmonisa yang terjadi bersumber dari VSI dapat dicegah untuk masuk pada transformator [13].

Fungsi dasar Transformator Injeksi Tegangan adalah untuk menaikkan tegangan supply AC yang dihasilkan oleh VSI menjadi tegangan yang dibutuhkan. Rating pada inverter dan transformator injeksi menjadi suatu batasan untuk menentukan kedip tegangan maksimum yang dapat dikompensasi. Apabila arus pada jaringan lebih besar dari arus DVR maka suatu switch by pass akan aktif untuk mencegah arus dengan nilai yang cukup besar mengalir melalui DVR [16].

Pemodelan DVR (*Dynamic Volage Restorer*) dalam sistem yaitu terdiri dari blok sistem kontrol dengan ANN (*Artificial Neural Network*), SPWM, trafo injeksi dan filter LC. Penempatan DVR pada simulasi yaitu dipasang seri antara sumber dan beban. Pemodelan DVR tertera pada Gambar 3



Gambar 3 Pemodelan Dynamic Voltage Restorer

2.5.1 Blok Sistem Kontrol ANN (*Artificial Neural Network*)

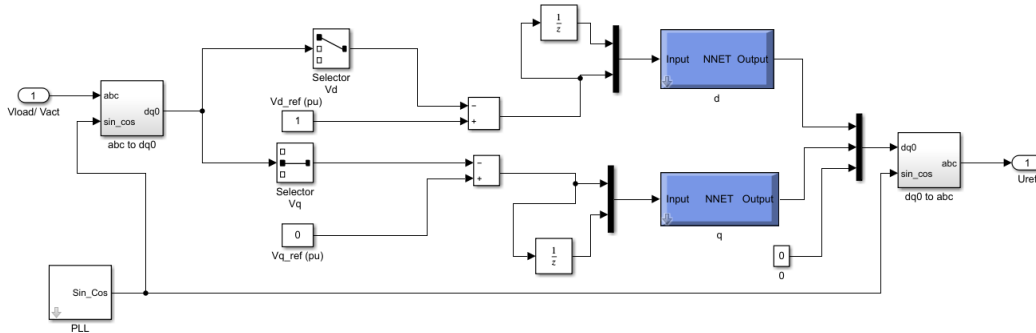
Fungsi utama dari controller pada DVR adalah mendeteksi terjadinya kedip tegangan pada sistem. Untuk mengatur pengendali pada DVR tersebut digunakan transformasi dq0 atau transformasi Park Metode dq0 [17] tersebut akan memberikan informasi kedalaman jatuh dan pergeseran fasa disertai titik awal dan titik akhir jatuh tegangan tersebut dan setelah di transformasi menggunakan transformasi dq0, tegangan harus dikembalikan dalam bentuk semula [18]. Proses transformasi dari sistem tiga fasa ke sistem dq0 ditunjukkan pada persamaan 1 dan 2 [17]:

$$\begin{bmatrix} Vd \\ Vq \\ V0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & \cos(\omega t + 120) & \cos(\omega t - 120) \\ -\sin(\omega t) & -\sin(\omega t + 120) & -\sin(\omega t - 120) \\ \frac{1}{2} & \frac{1}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} \quad (1)$$



$$\begin{bmatrix} Va \\ Vb \\ Vc \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\omega t) & -\sin(\omega t) & 1 \\ \cos(\omega t - 120) & -\sin(\omega t - 120) & 1 \\ \cos(\omega t + 120) & -\sin(\omega t + 120) & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Vd \\ Vq \\ V0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Diagram blok yang digunakan untuk merancang pemodelan sistem kontrol ANN dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4 Pemodelan Sistem Kontrol ANN

Sistem kontrol ANN terdiri dari tegangan referensi dan tegangan output dari transformasi park. Kemudian tegangan tersebut dibandingkan untuk mendapatkan nilai tegangan error, tegangan error akan muncul apabila terjadi tegangan sag pada sistem. Hasil perbandingan nilai tegangan error tersebut yang akan dikontrol ANN untuk mendeteksi voltage sag, yang selanjutnya akan dikembalikan dengan invers transform park. Hasil invers transform park sistem menghasilkan besaran tegangan beban yang turun dan perlu dikompensasi DVR. Tegangan error akan dikonversi ke sinyal pulsa untuk mengatur gate VSI dengan menggunakan *Sinusoidal Pulse Width Modulation (SPWM)* agar DVR dapat mengkompensasi tegangan sag pada beban.

2.6 Deteksi Tegangan sag dengan kontrol ANN

Deteksi tegangan sag menggunakan kontrol ANN, yang mana ANN digunakan untuk menentukan kompensasi tegangan beban dari deteksi tegangan sag secara real time yang sesuai dengan tegangan maksimal beban dari setiap penurunan tegangan input yang diberikan ANN menggunakan data dari hasil perbandingan antara tegangan referensi dengan tegangan keluaran pada transformasi park untuk digunakan sebagai pelatihan kontrol ANN. Data input sistem dan output target yang digunakan sebagai pelatihan terdiri dari 10000 data dari pelatihan PI. Kemudian proses data dibagi menjadi dua sub. Sub pertama 70% dari sampel yang digunakan untuk melatih ANN, dan Sub kedua 30% digunakan untuk menguji dan memvalidasi jaringan sistem, sehingga dihasilkan model yang diinginkan untuk mengkompensasi tegangan sag pada beban. Sistem kontrol ANN terdiri dari tegangan referensi dan tegangan output dari transformasi park. Kemudian tegangan tersebut dibandingkan untuk mendapatkan nilai tegangan error, yang mana tegangan error akan muncul apabila terjadi tegangan sag pada sistem. Hasil perbandingan nilai tegangan error tersebut yang akan dikontrol ANN untuk mendeteksi tegangan sag, yang selanjutnya akan dikembalikan dengan invers transform park. Hasil invers transform sistem menghasilkan besaran tegangan beban yang turun dan perlu dikompensasi DVR. Tegangan error akan dikonversi ke sinyal pulsa untuk mengatur gate VSI dengan menggunakan *Pulse Width Modulation (PWM)* agar DVR dapat mengkompensasi tegangan sag pada beban.

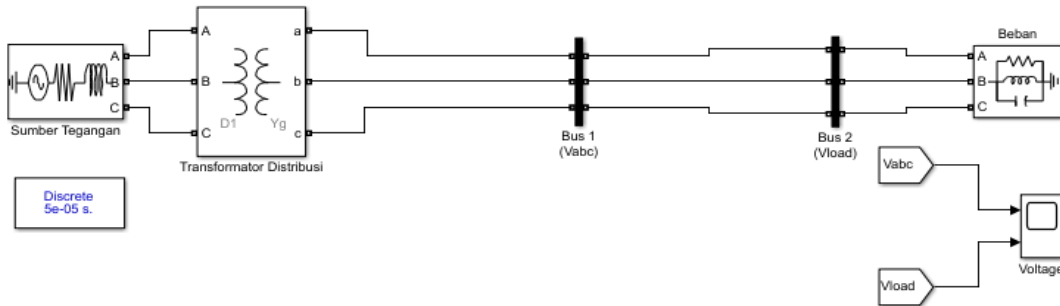
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi Sebelum Terjadi Gangguan

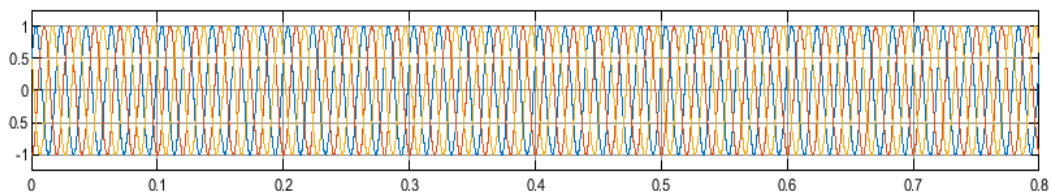
Pengujian ini dilakukan dua kali. Pengujian pertama dilakukan pada sistem distribusi normal yang tidak menggunakan DVR sedangkan pengujian kedua dilakukan pada sistem distribusi normal yang dipasang DVR.

3.1.1 Hasil Simulasi Sistem Distribusi Normal Tanpa DVR

Rangkaian simulasi sistem distribusi normal tanpa DVR dapat dilihat pada Gambar 5. Pada Gambar 6 tegangan sumber tiga fasa terlihat dalam keadaan stabil (1 pu), hal ini disebabkan belum adanya gangguan atau bebas dari gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah dan antar fasa. Sehingga tegangan bernilai sebesar 1 pu inilah yang harus dipertahankan oleh sistem agar tercipta kualitas daya yang baik.



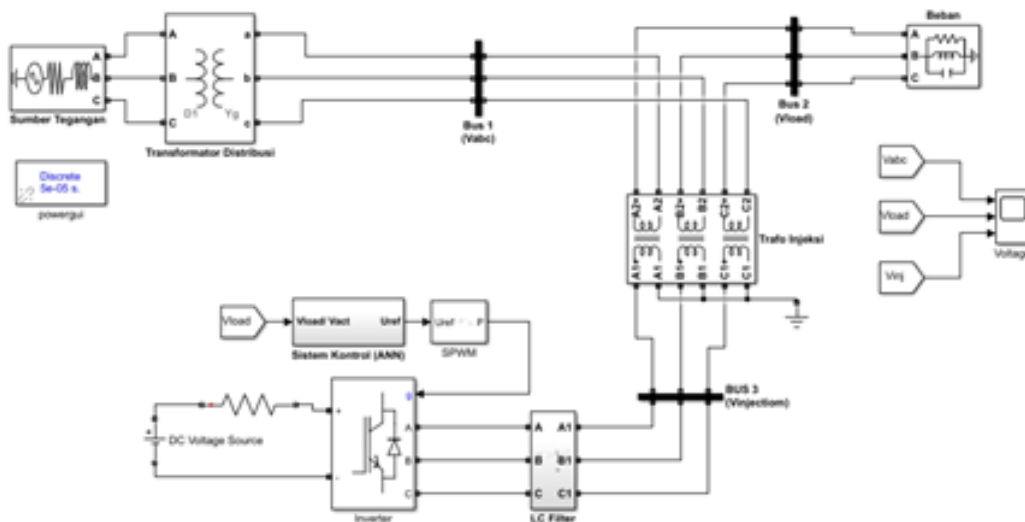
Gambar 5 Rangkaian Simulasi Sistem Distribusi Normal Tanpa DVR



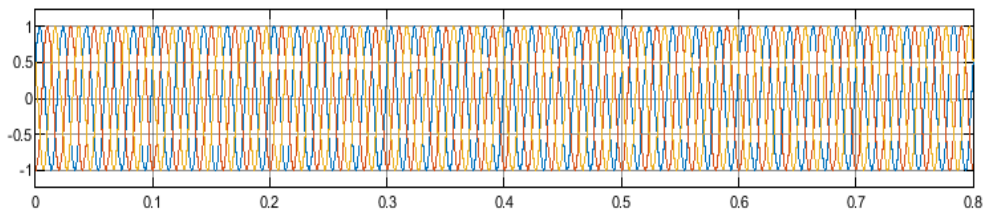
Gambar 6 Hasil Simulasi Tegangan Sebelum Gangguan Tanpa DVR

3.1.2 Hasil Simulasi Sistem Distribusi Normal Dengan DVR

DVR secara umum terdiri dari beberapa komponen yaitu, unit penyimpanan DC, sistem kontrol, PWM, Inverter, low pass filter, dan transformator injeksi tegangan seperti yang terlihat pada Gambar 7. Hasil dari simulasi sistem distribusi normal dengan DVR dapat dilihat pada Gambar 8



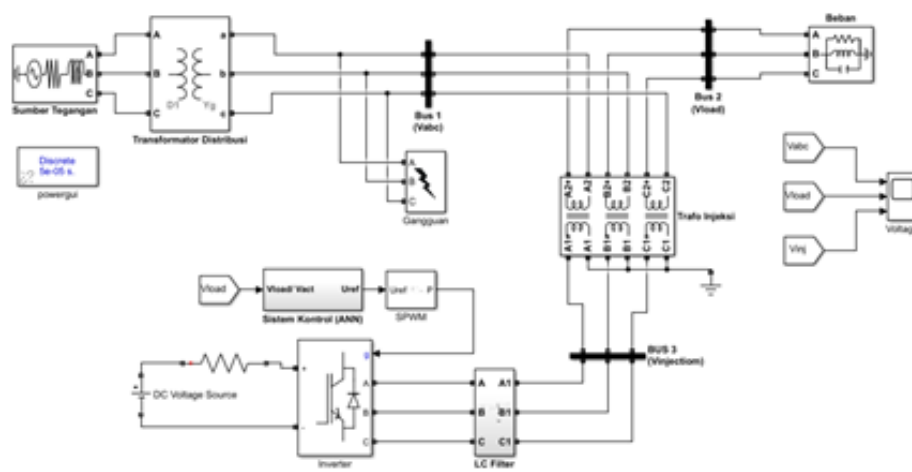
Gambar 7 Rangkaian Simulasi Sistem Distribusi Normal Dengan DVR



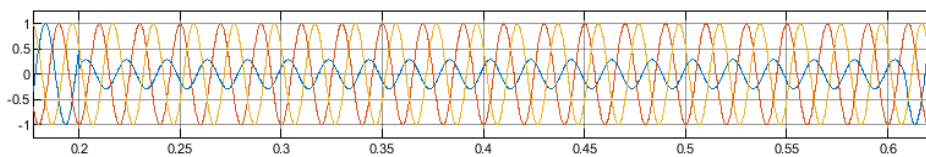
Gambar 8 Hasil Simulasi Tegangan Sebelum Gangguan Dengan DVR

3.1 Hasil Simulasi Saat Mengalami Gangguan

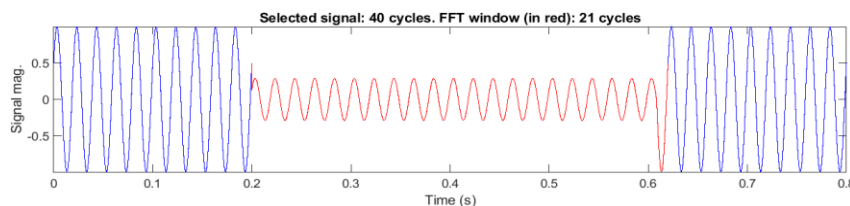
Simulasi Sistem distribusi pada penelitian ini dilakukan dengan gangguan yang berbeda – beda pada sistem sebelum dipasang dan setelah dipasang DVR dengan menggunakan kontrol ANN seperti pada Gambar 9. Gangguan yang diberikan bervariasi yaitu gangguan satu fasa ke tanah tanpa DVR seperti pada Gambar 10 dan Gambar 11, dengan DVR seperti pada Gambar 12 dan 13. dua fasa ke tanah tanpa DVR seperti pada Gambar 14, Gambar 15 dan Gambar 16, dengan DVR seperti pada Gambar 17, Gambar 18 dan Gambar 19. Tiga fasa ke tanah tanpa DVR seperti pada Gambar 20, Gambar 21, Gambar 22 dan Gambar 23 dan dengan DVR seperti pada Gambar 24, Gambar 25, Gambar 25 dan Gambar 27. Yang terakhir adalah gangguan antar fasa dengan DVR seperti pada Gambar 28, Gambar 29 dan Gambar 30 dan dengan DVR seperti pada Gambar 31, Gambar 32 dan Gambar 33. Semua gangguan diberi parameter yang sama, yaitu diasumsikan mulai 0.2 sampai 0.6 detik dan resistansi gangguan sebesar 0.05 Ohm.

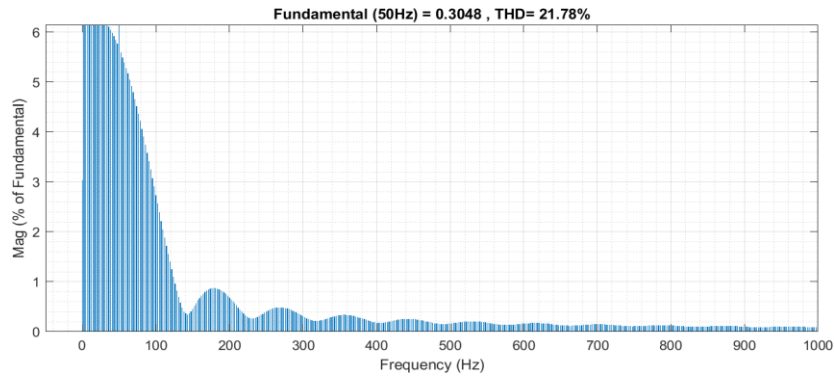


Gambar 9 Simulasi Sistem Distribusi Saat Terjadi Gangguan Setelah Dipasang DVR Dengan Kontrol ANN

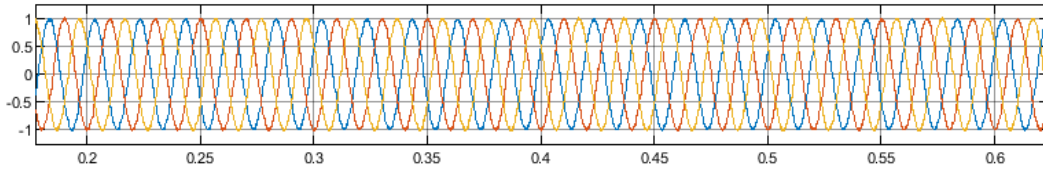


Gambar 10 Hasil Simulasi Saat Gangguan Satu Fasa Ke Tanah Tanpa DVR

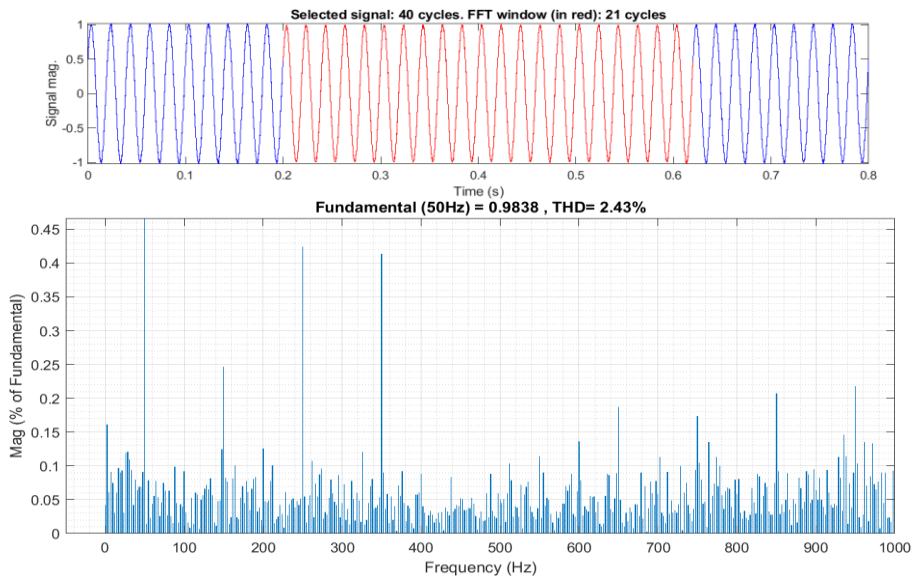




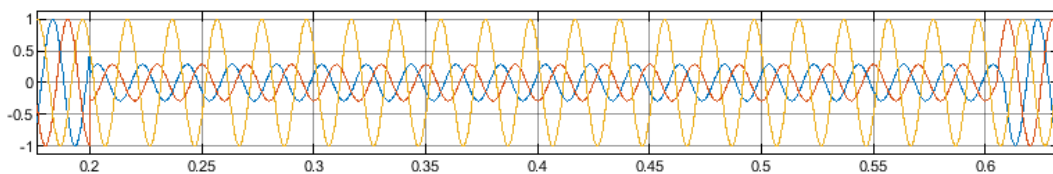
Gambar 11 Hasil Simulasi Saat Gangguan Satu Fasa Ke Tanah Tanpa DVR pada Fasa A



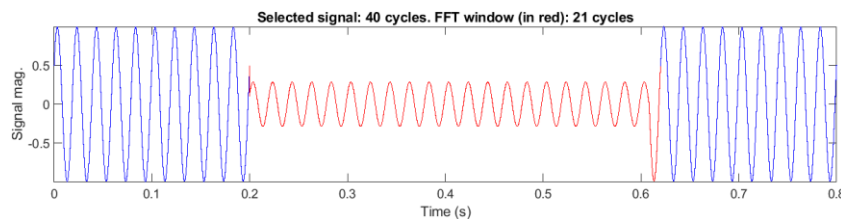
Gambar 12 Hasil Saat Gangguan Satu Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN

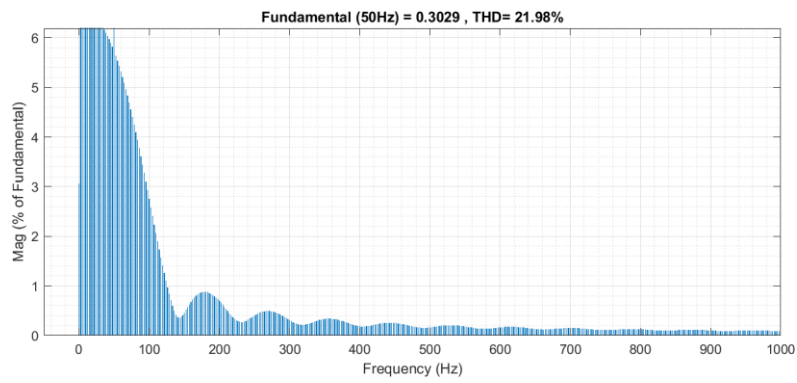


Gambar 13 Hasil Saat Gangguan Satu Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa A

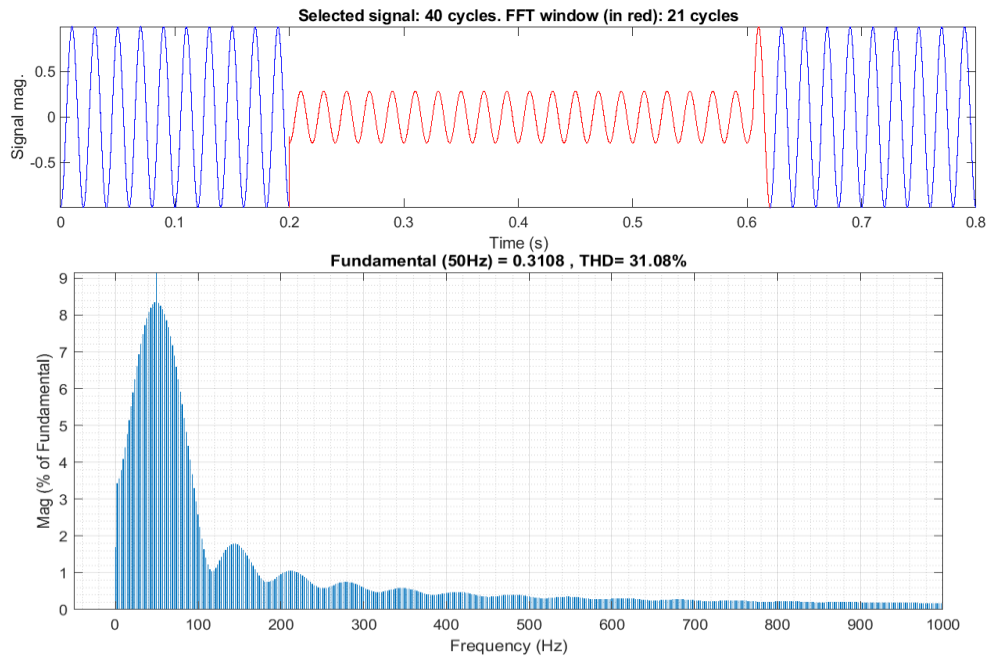


Gambar 14 Hasil Simulasi Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah Tanpa DVR

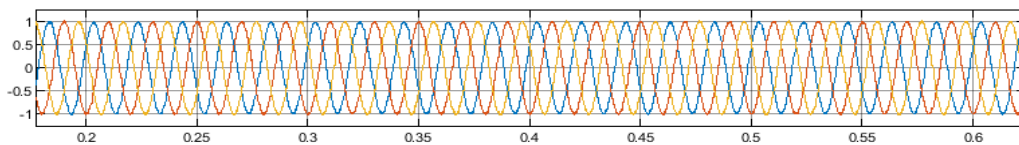




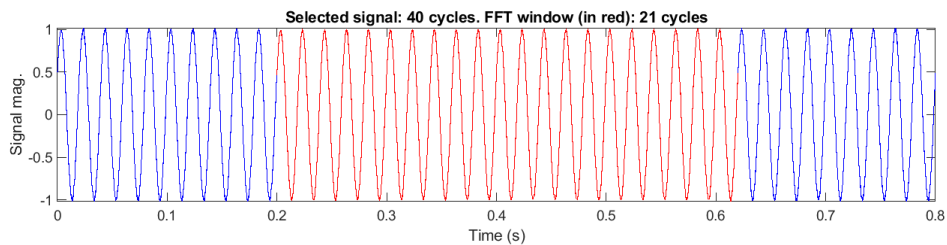
Gambar 15 Hasil Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah Tanpa DVR Fasa B

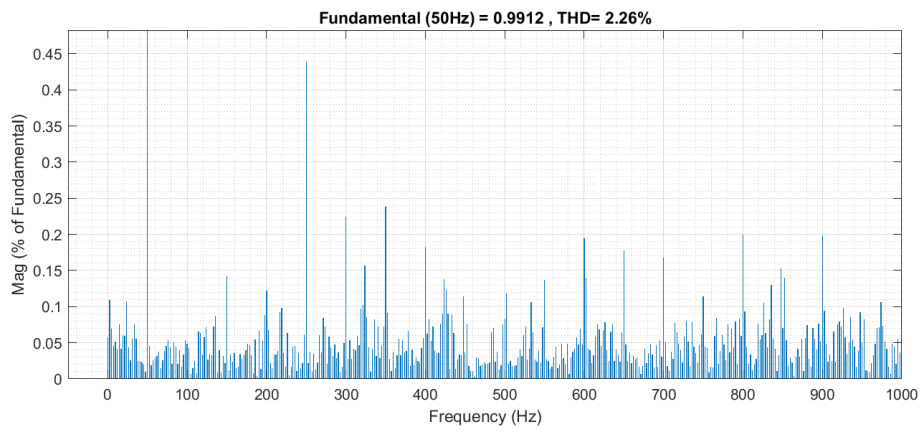


Gambar 16 Hasil Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah Tanpa DVR Fasa B

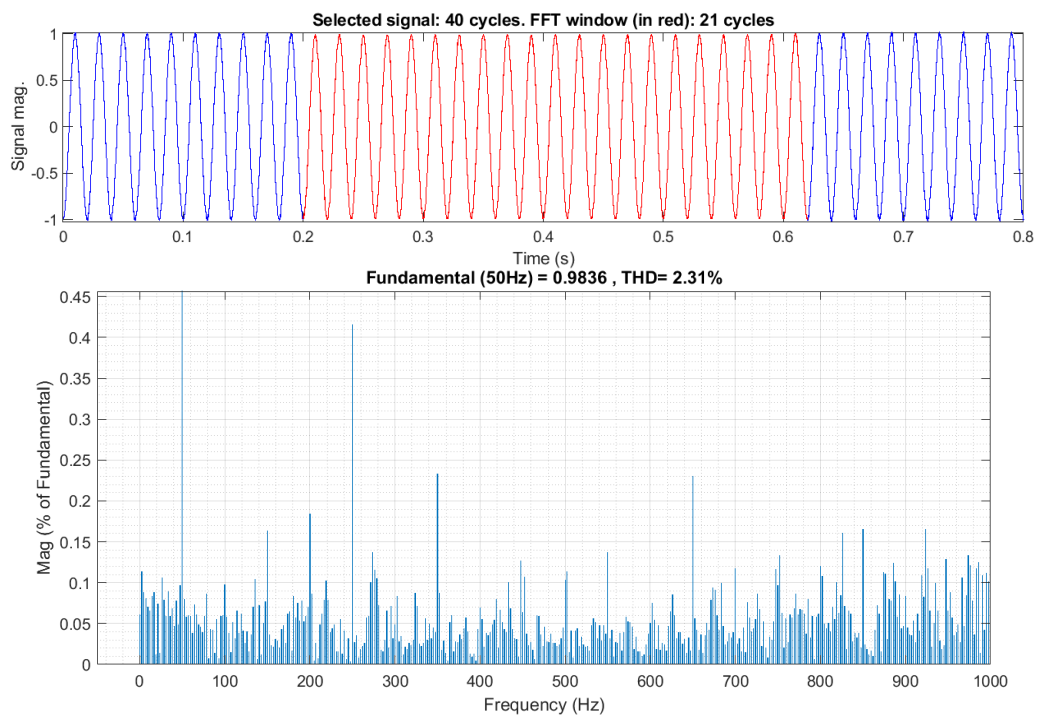


Gambar 17 Hasil Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN

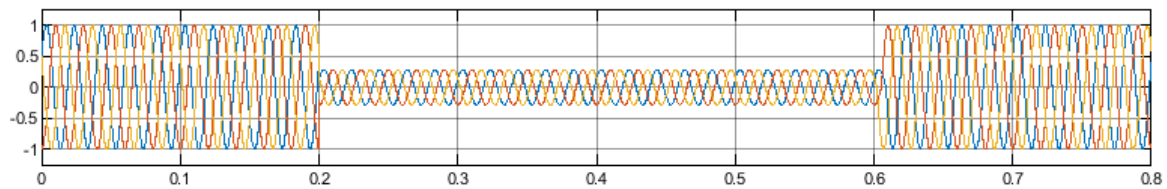




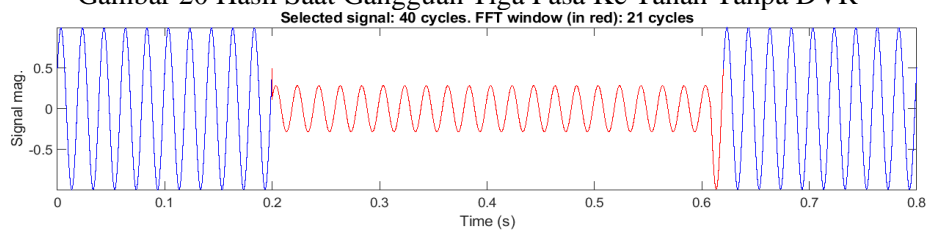
Gambar 18 Hasil Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa A

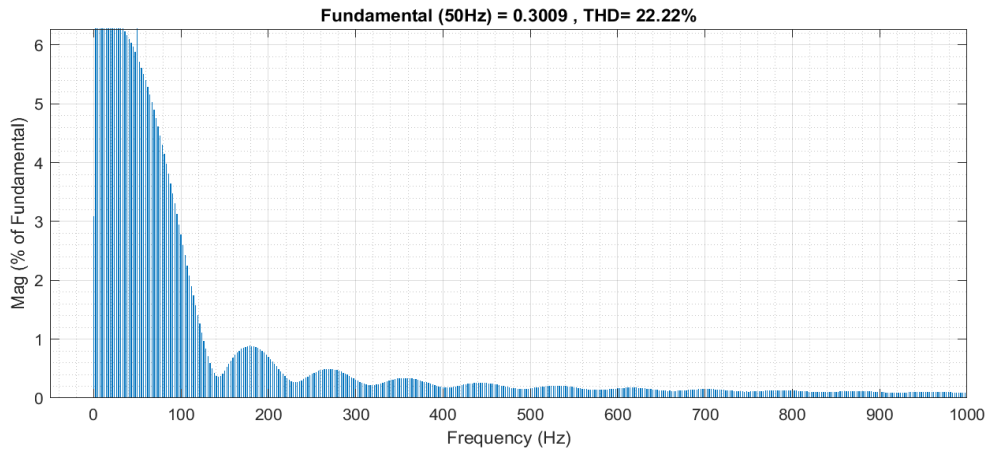


Gambar 19 Hasil Saat Gangguan Dua Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa B

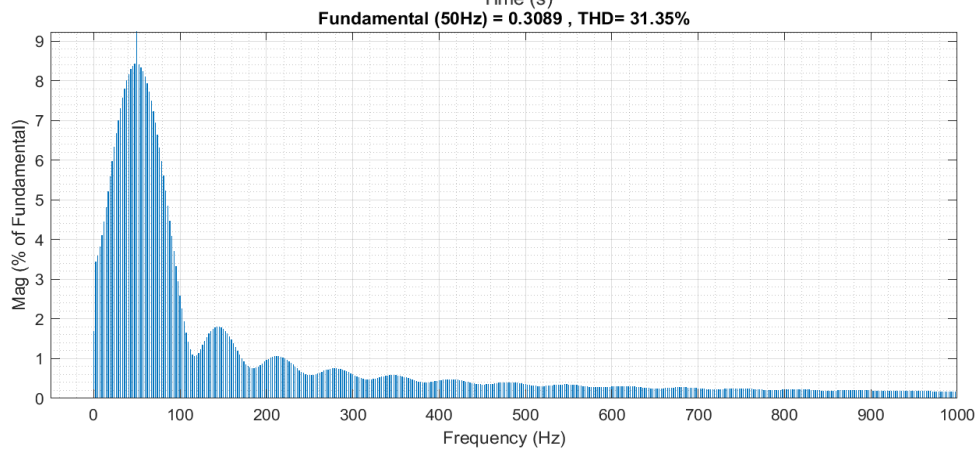
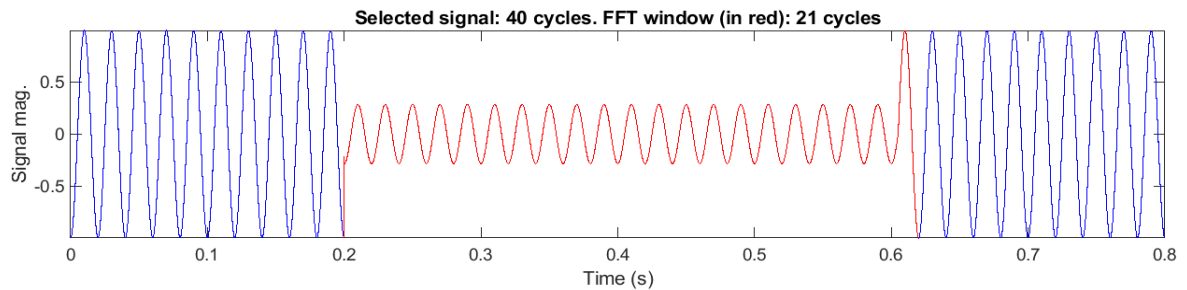


Gambar 20 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah Tanpa DVR

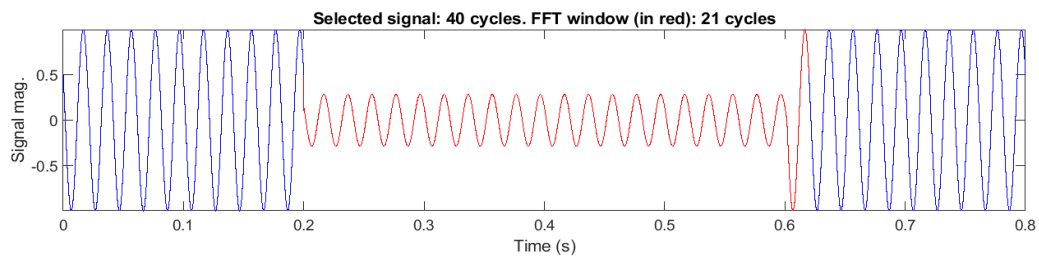


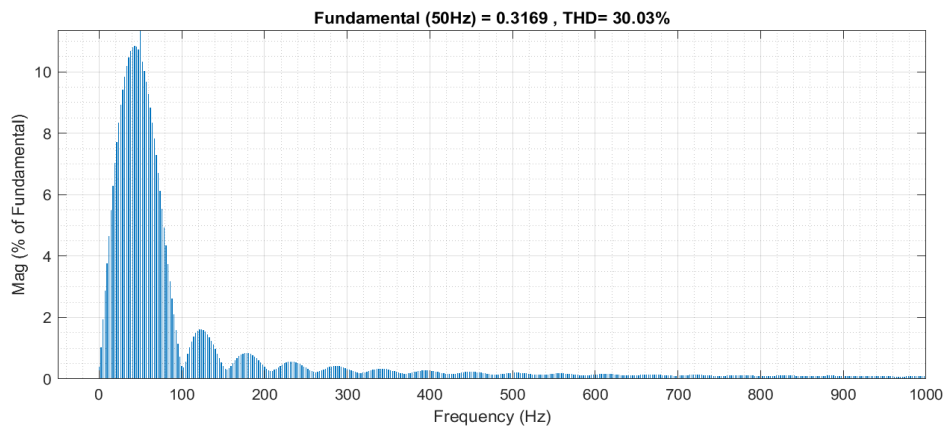


Gambar 21 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah Tanpa DVR Fasa A

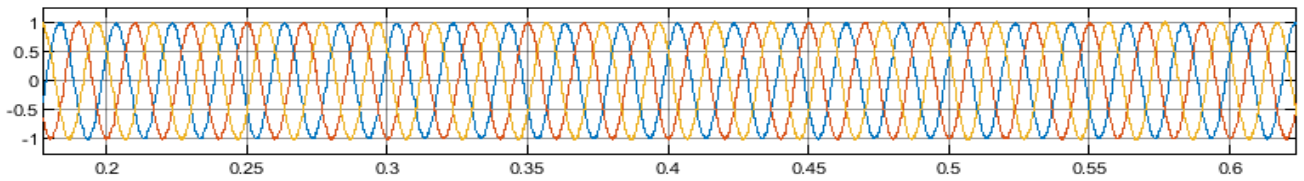


Gambar 22 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah Tanpa DVR Fasa B

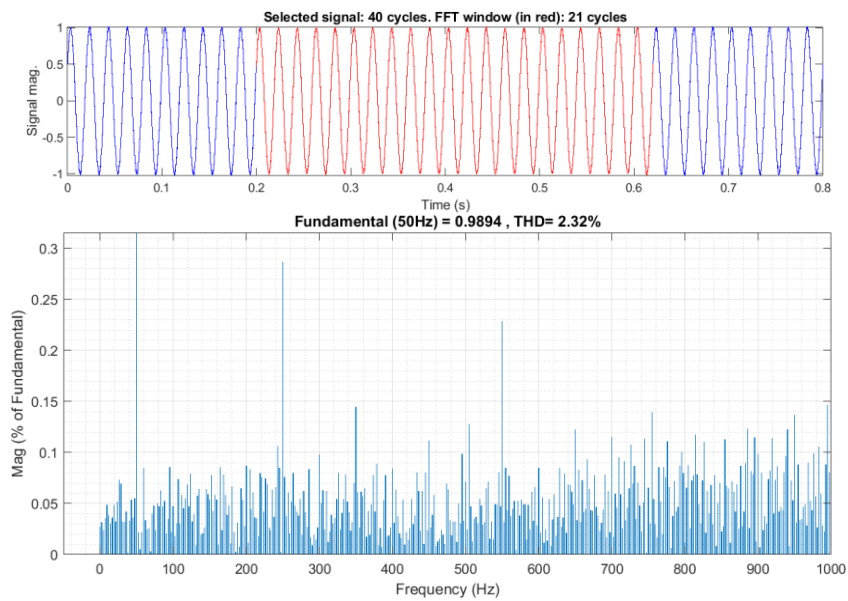




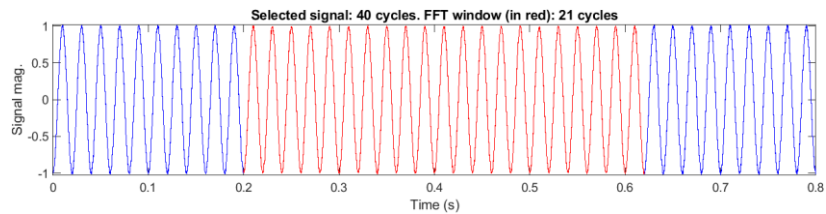
Gambar 23 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah Tanpa DVR Fasa C

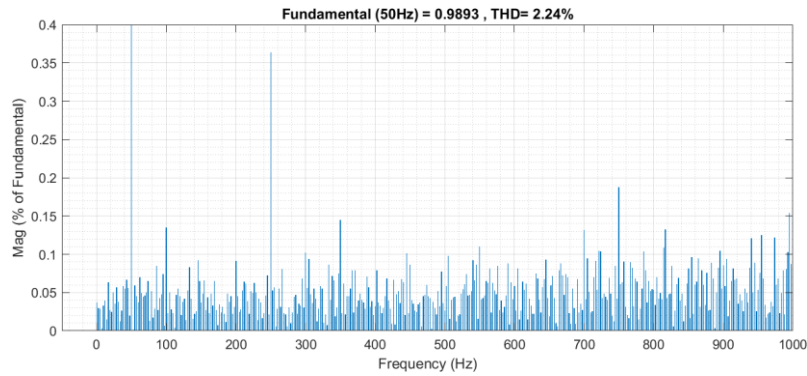


Gambar 24 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN

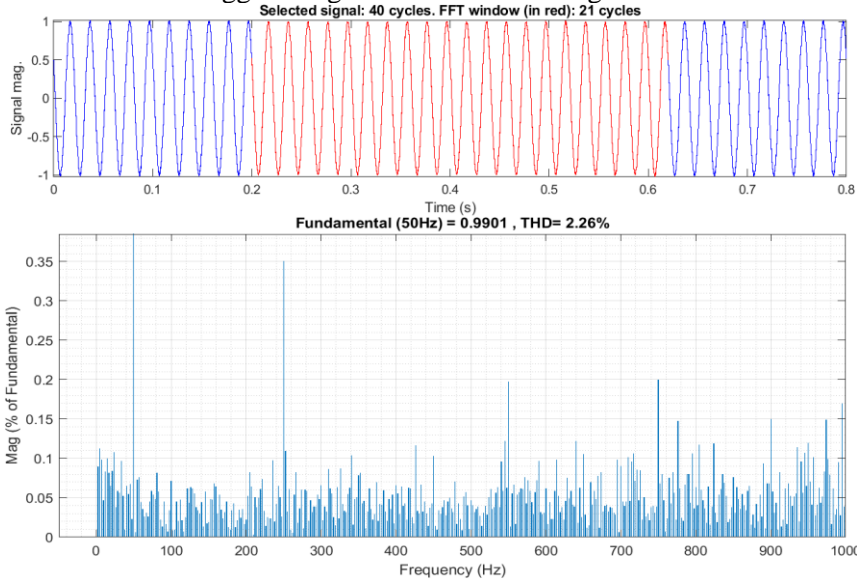


Gambar 25 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa A

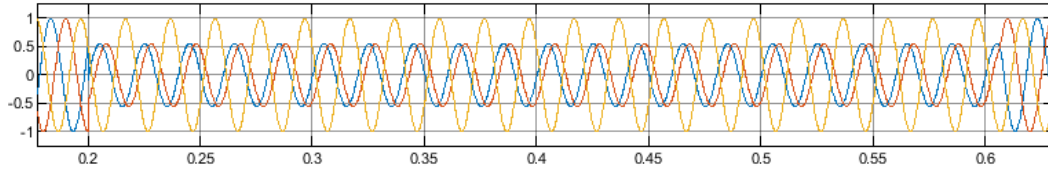




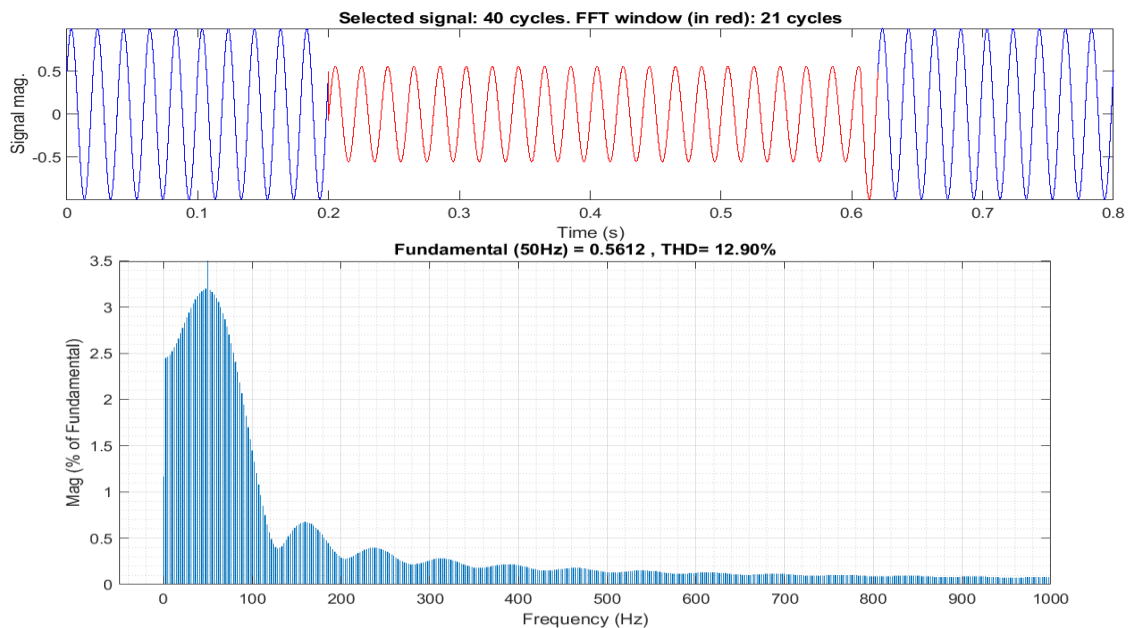
Gambar 26 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa B



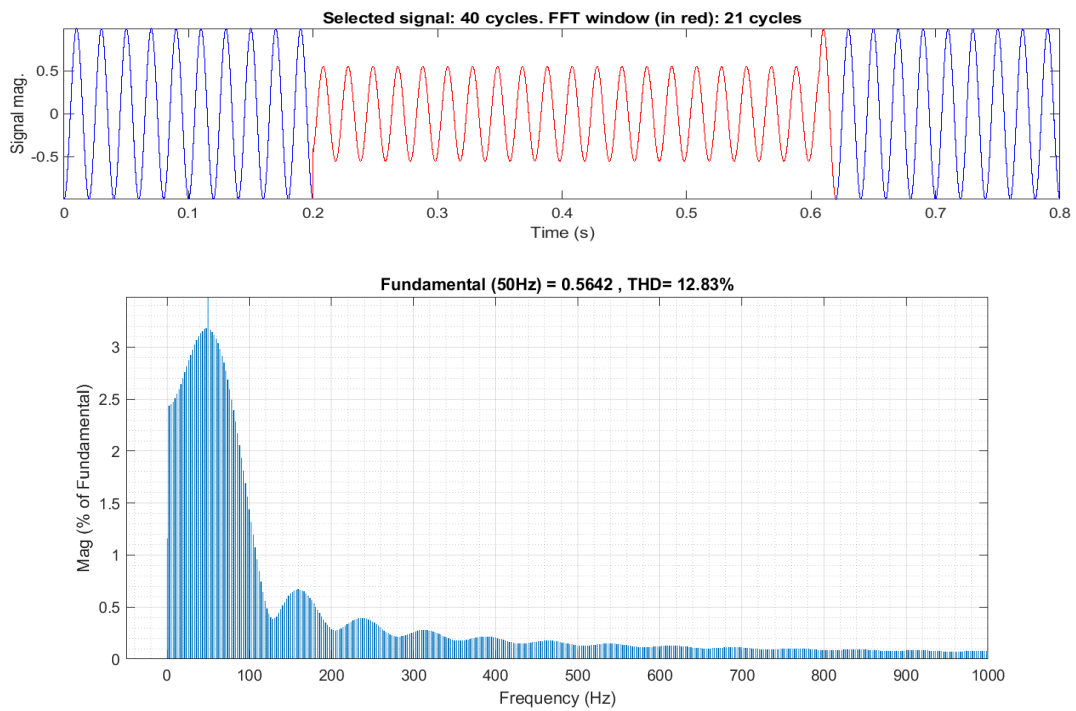
Gambar 27 Hasil Saat Gangguan Tiga Fasa Ke Tanah dengan DVR Kontrol ANN Fasa C



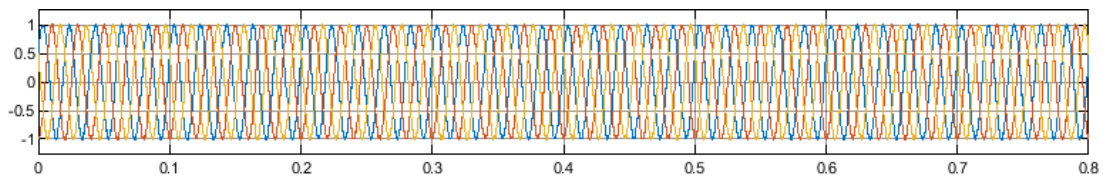
Gambar 28 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Tanpa DVR



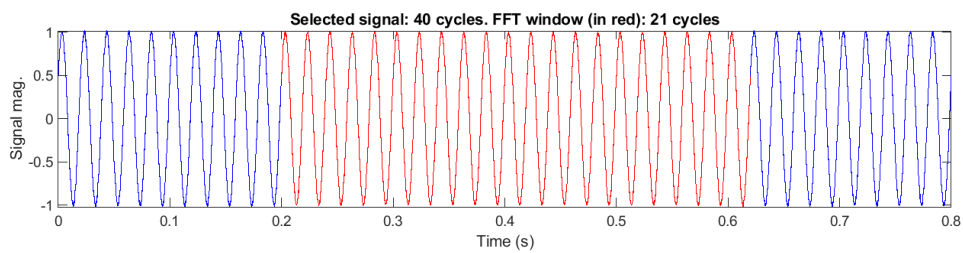
Gambar 29 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Tanpa DVR Fasa A

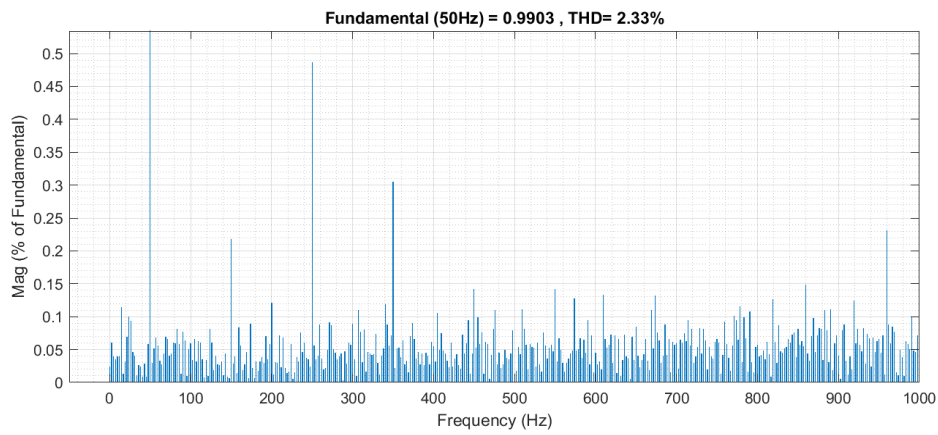


Gambar 30 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Tanpa DVR Fasa B

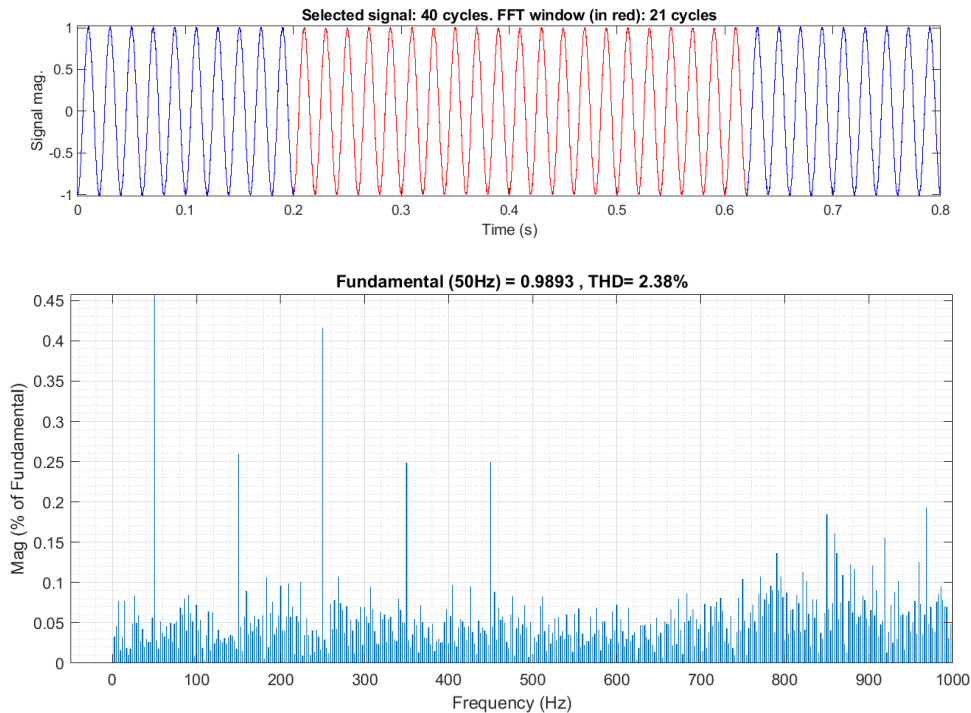


Gambar 31 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Dengan DVR





Gambar 32 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Dengan DVR Fasa A



Gambar 33 Hasil Saat Gangguan Antar Fasa Dengan DVR Fasa B

5. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian dan pembahasan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan:

- a) Pemodelan simulasi Dynamic Voltage Restorer dengan kontrol ANN yang usulkan. Dapat memulihkan tegangan hingga 0.9912 pu, dengan THDv sebesar 2.26% sesuai dengan standar IEEE 519-1992 mampu menjaga THD tetap dibawah nilai toleransi. Pemodelan yang dipasang pada sistem distribusi 20kV dapat bekerja dengan baik dalam menjaga kualitas daya.
- b) DVR dengan kontrol ANN bekerja menginjeksikan tegangan yang diperlukan saat sistem mengalami voltage sag. Blok kontrol ANN akan mendeteksi penurunan tegangan yang terjadi sehingga DVR dapat bekerja sebagai kompensator. Saat sistem tidak mengalami voltage sag, adanya tambahan rangkaian DVR tidak akan mengganggu tegangan yang ada pada sisi beban.

REFERENSI

- [1] C. Wiharya, H. Suyono, and N. Hasanah, "Analisis Voltage Sag pada Sistem Tenaga Listrik PT. Petrochina International Ltd. Sorong," *J. EECCIS*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2014.
- [2] Winarso, "Perbaikan Kualitas Tegangan Menggunakan Dynamic Voltage Restorer (DVR)," *J. Ilm. Foristek*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, 2013.
- [3] M. A. Kabir and M. M. Rahman, "A Technical Investigation of Voltage Sag," *Am. J. Eng. Res.*, vol. 4, no. 10, pp. 1–9, 2017.
- [4] A. Dell'Aquila, M. Marinelli, V. G. Monopoli, and P. Zanchetta, "New Power-Quality Assessment Criteria for Supply Systems Under Unbalanced and Nonsinusoidal Conditions Antonio," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 19, no. 3, pp. 1284–1290, 2004, doi: 10.1109/TPWRD.2004.829928.
- [5] S. Bhattacharyya, J. M. A. Myrzik, and W. L. Kling, "consequences of poor power quality - an overview," *Proc. Univ. Power Eng. Conf.*, no. 1, pp. 651–656, 2007, doi: 10.1109/UPEC.2007.4469025.
- [6] B. P. Hartono, C. Soleh, and T. Hidayat, "Implementasi Perbaikan Kualitas Tegangan Akibat Voltage Sags Unbalance Menggunakan DVR di Gardu Induk Gresik," *Semin. Nas. Inov. Dan Apl. Teknol. Di Ind.*, p. No : 1-6, 2016.
- [7] I. G. A. A. T. Kusuma Putra, I. W. Rinas, and Y. P. Sudarmojo, "Analisis Pengaruh Pemasangan Dynamic Voltage Restorer (DVR) terhadap Kedip Tegangan akibat Gangguan Hubung Singkat 3 Fasa pada Penyulang Kampus," *J. Tek. Elektro*, vol. 16, no. 3, p. 106, 2017, doi: 10.24843/mite.2017.v16i03p17.
- [8] C. Rochman, O. Penangsang, and N. K. Aryani, "Manajemen Gangguan Jaringan Distribusi 20 kV Kota Surabaya berbasis Geographic Information System (GIS) menggunakan Metode Algoritma Genetika," *J. Tek. ITS*, vol. 6, no. 1, pp. 51–56, 2017, doi: 10.12962/j23373539.v6i1.21304.
- [9] U. Ilmi, A. B. Laksono, and A. Syaifuddin, "Studi Analisis Perbandingan Rugi Daya Pada Titik Sambung Pierching Connector Dengan Line Tap Connector Pada Jaringan Tegangan Rendah 220 V Di PT. PLN (Persero) Rayon Lamongan," *J. Tek. Elektro*, vol. 1, pp. 25–32, 2015.
- [10] N. P. S. Utama, "Memperbaiki Profil Tegangan di Sistem Distribusi Primer dengan Kapasitor Shunt," *Tek. Elektro*, vol. 7, pp. 1–50, 2012.
- [11] A. Tanjung, "Rekonfigurasi Sistem Distribusi 20 Kv Gardu Induk Teluk Lembu Dan Pltmg Langgam Power Untuk Mengurangi Rugi Daya Dan Drop Tegangan," vol. 11, no. 2, pp. 160–166, 2014.
- [12] A. Ghosh and G. Ledwich, "Compensation of Distribution System Voltage Using Dynamic Voltage Restorer (DVR)," *IEEE Power Eng. Rev.*, vol. 22, no. 8, p. 71, 2002, doi: 10.1109/MPER.2002.4312528
- [13] A. Fauzan, "Analisis Mitigasi Voltage Sag Akibat Graound Fault Menggunakan Dynamic Voltage Restorer di PT . PLN (Persero) Gardu Induk Kayutangi Kalimantan Selatan," vol. 01, no. September, pp. 41–48, 2017.
- [14] G. Alonso Orcajo, J. M. Cano R, C. H. Rojas G, M. G. Melero, M. F. Cabanas, and F. Pedrayes, "Voltage sags in industrial systems," *Renew. Energy Power Qual. J.*, vol. 1, no. 3, pp. 296–301, 2005, doi: 10.24084/repqj03.278.
- [15] H. N. Tran, P. Q. Dzung, N. A. Le, and T. D. Nguyen, "Dynamic voltage restorer-multilevel inverter based on predictive voltage controller," *IEEE Int. Conf. Sustain. Energy Technol. ICSET*, vol. 0, pp. 174–179, 2017, doi: 10.1109/ICSET.2016.7811777.
- [16] M. Riyasat Azim and M. Ashraful Hoque, "A Fuzzy Logic based Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag and Swell Mitigation for Industrial Induction Motor Loads," *Int. J. Comput. Appl.*, vol. 30, no. 8, pp. 9–18, 2011, doi: 10.5120/3672-5120.
- [17] S. A. Mohammed, "Fuzzy Logic Controller Based Dynamic Voltage Restorer as Voltage Sag Restorer and Harmonics Compensator," vol. 2, no. 3, pp. 53–57, 2013.

- [18] J. G. Nielsen, F. Blaabjerg, and N. Mohan, "Control strategies for dynamic voltage restorer compensating voltage sags with phase jump," Conf. Proc. - IEEE Appl. Power Electron. Conf. Expo. - APEC, vol. 2, pp. 1267–1273, 2001, doi: 10.1109/apec.2001.912528.

