

Perbaikan Gangguan Tegangan dan Arus Menggunakan *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) pada Sistem Distribusi PT. DSS Power Plant

Wahyuni Martiningsih¹, Fenti Mira¹

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

Informasi Artikel

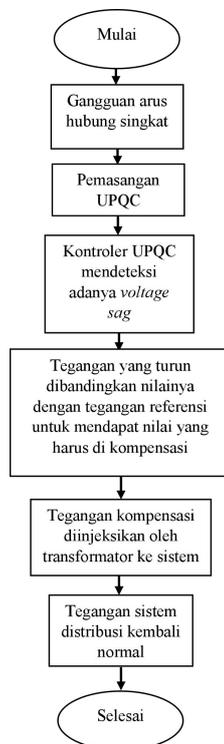
Naskah Diterima : 1 Maret 2019

Direvisi : 15 Mei 2019

Disetujui : 9 Juni 2019

*Korespondensi Penulis :
y_martiningsih@untirta.ac.id

Graphical abstract



Abstract

Phase to ground fault is one factor that causes power quality problems. The most common electrical power disruptions is voltage sag. In practice, power quality disturbances cannot be avoided. The purpose of this study was to determine the compensation function of the unified power quality conditioner (UPQC). UPQC has a controller that can regulate DC energy storage to compensate system every time voltage sag occurs. The controllers are based on the dq0 theory. The results of the simulation show that voltage of 66.2% can be compensated by UPQC to 100.4% in the 380 V system. UPQC performance is quite reliable because it can compensate voltage when a fault occurs.

Keywords: Power quality, voltage sag, distribution system

Abstrak

Gangguan listrik tiga fasa ke tanah merupakan salah satu faktor yang menyebabkan permasalahan kualitas daya. Salah satu gangguan kualitas daya listrik yang sering dijumpai ialah *voltage sag*. Pada praktiknya, gangguan kualitas daya tidak dapat dihindari. Tujuan dari penelitian ini ialah mengetahui fungsi kompensasi pada *unified power quality conditioner* (UPQC). UPQC memiliki kontroler yang dapat mengatur media penyimpanan energi DC untuk mengkompensasi tegangan sistem yang turun. Kontroler yang digunakan didasari oleh teori dq0. Hasil dari simulasi menunjukkan tegangan sebesar 66,2% dapat dikompensasi UPQC menjadi 100,4% pada sistem 380 V. Kinerja UPQC cukup bisa diandalkan karena alat ini dapat mengkompensasi tegangan saat terjadi gangguan.

Kata kunci: Kualitas daya, *voltage sag*, UPQC, sistem distribusi

© 2019 Penerbit Jurusan Teknik Elektro UNTIRTA Press. All rights reserved

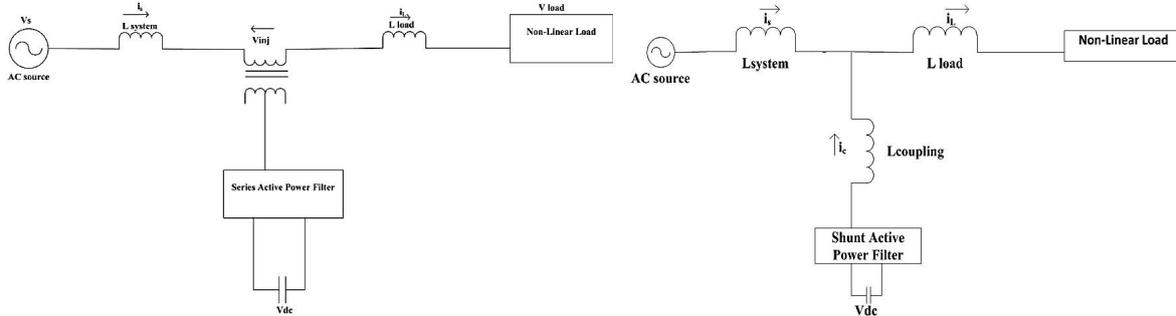
1. PENDAHULUAN

Sistem daya listrik yang kompleks diperlukan untuk memenuhi semua kebutuhan, baik di industri maupun rumah tangga. Kualitas daya harus dijaga karena beban listrik akan bekerja lebih baik dengan sistem yang stabil. Gangguan sistem listrik berkaitan dengan kualitas daya yaitu faktor daya, harmonisa, *sag*, *swell*, *interruptions*, dan *unbalanced condition* [1] [2] [3]. Istilah kualitas daya adalah konsep yang membahas tentang baik atau buruknya sistem listrik saat mengalami gangguan [4] Kualitas daya yang buruk akan berakibat pada naiknya rugi-rugi daya, kinerja peralatan yang tidak normal dan gangguan jalur komunikasi [5].

Salah satu permasalahan kualitas daya pada industri adalah jatuh tegangan (*voltage sag*). Berdasarkan IEEE Standard 1159-1995, *voltage sag* merupakan penurunan tegangan rms dengan besar antara 10% sampai 90% dari tegangan nominal dan berlangsung selama 0,5 siklus sampai satu menit [6]. *Voltage sag* ini merupakan masalah yang harus diatasi karena tegangan yang tidak stabil

dapat mengganggu kerja peralatan – peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan seperti PLC, kontaktor, dan *relay*.

Beban yang digunakan dalam simulasi ini merupakan beban non-linear. Upaya penelitian terbaru telah dilakukan untuk memanfaatkan perangkat yang disebut *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) untuk menyelesaikan hampir semua permasalahan kualitas daya [7]. UPQC terdiri dari kombinasi rangkaian filter aktif seri dan shunt untuk mengkompensasi daya serta gangguan arus dan tegangan secara bersamaan [8].



Gambar 1. Desain Kontrol Dasar dari Filter Aktif Seri (Kiri) dan Shunt (Kanan) [9]

Selain memiliki filter seri dan shunt, UPQC juga terdiri dari media penyimpanan energi DC dan transformator yang dihubungkan secara seri dan paralel. Unit kontrol dapat dibagi menjadi tiga yaitu: inverter seri, inverter paralel, dan DC link. Kerja kedua filter diatur oleh unit kontrol. Kontrol seri untuk membangkitkan sinyal tegangan referensi dan kontrol paralel untuk membangkitkan sinyal arus referensi [10]. Kontrol dari kedua filter dilakukan dengan mengkonversi gelombang tegangan 3 fasa menjadi komponen d-q sesuai dengan transformasi Park [11].

a. APF Seri

Fungsi APF ini untuk mengkompensasi tegangan yang jatuh akibat adanya gangguan pada sistem distribusi. Untuk mengkonversi koordinat dq0 ke abc dibutuhkan nilai ωt yang akan dihitung melalui PLL (*Phase Locked Loop*). Tegangan suplai dikonversi ke koordinat dq0 dari bentuk abc. Kemudian tegangan ini dibandingkan dengan tegangan referensi

b. APF Shunt

Strategi dasar yang digunakan untuk menjalankan kontrol pada APF ini menggunakan teori p-q. Komponen daya osilasi ini memungkinkan kita untuk menghitung arus kompensasi dalam koordinat $\alpha\beta$. Kemudian kita bisa arus kompensasi untuk mengurangi harmonisa yang akan diinjeksikan ke sistem dengan menggunakan persamaan inversnya.

2. METODE PENELITIAN

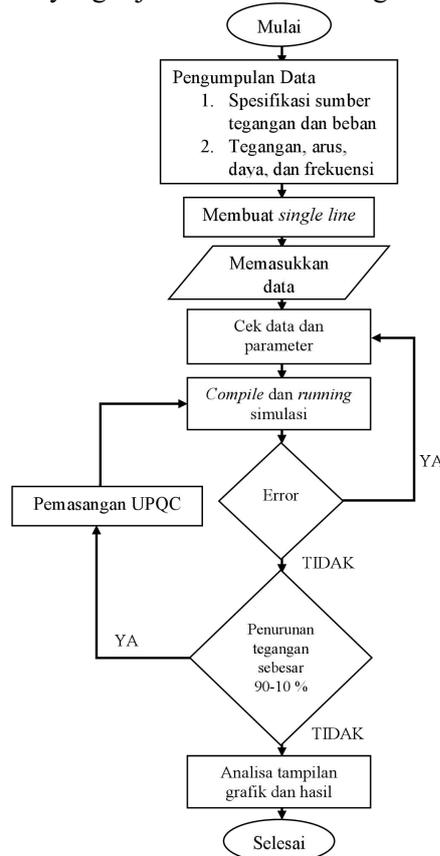
2.1 Metode Penelitian

Proses penelitian terbagi menjadi beberapa tahap yang dilakukan berdasarkan urutan dalam melakukan penelitian:

- a) Identifikasi masalah yaitu dengan merumuskan latar belakang hingga tujuan dalam penelitian ini.
- b) Studi literatur, yaitu pencarian referensi yang dapat membantu dalam melaksanakan penelitian. Literatur yang digunakan berupa skripsi, jurnal penelitian, thesis, dan buku mengenai kualitas daya dan sistem distribusi listrik.
- c) Observasi, yaitu mengumpulkan data sebelum membuat pemodelan berupa spesifikasi alat, besar beban, gangguan dan lain – lain
- d) Data yang telah didapatkan kemudian digunakan merancang sistem distribusi listrik dengan menggabungkan sumber tegangan, transformator, serta beban non linear pada perangkat lunak Simulink Matlab.
- e) Melakukan pengujian dengan pemberian gangguan pada sistem distribusi
- f) Melihat jatuh tegangan yang timbul pada beban sensitif dan memberikan tegangan kompensasi dari rangkaian UPQC hingga tercapai nilai tegangan beban sebesar 1 pu atau mendekati

2.2 Diagram Alir Penelitian

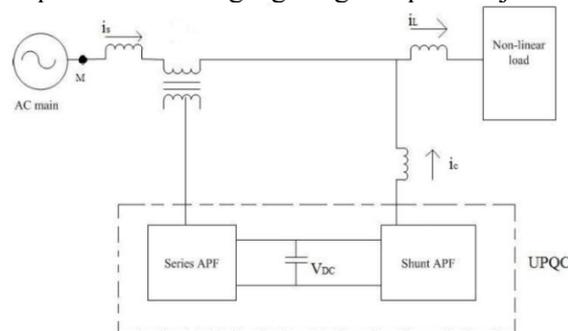
Secara sederhana proses simulasi perbaikan kualitas daya pada sistem distribusi ini dilakukan dengan menggunakan software Matlab yang dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

2.3 Perancangan Penelitian

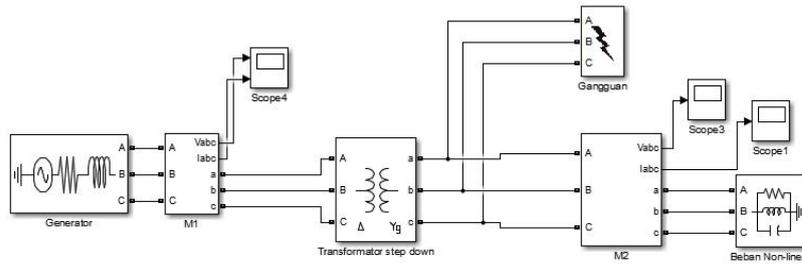
UPQC yang dirancang terdiri dari dua VSI yang masing-masing terpasang secara seri dan paralel dan dihubung ke sistem distribusi menggunakan transformator seperti gambar di atas. Dengan ini, UPQC diharapkan dapat memperbaiki nilai tegangan agar dapat menjadi 1 pu saat terjadi gangguan



Gambar 3. Skema UPQC [5]

2.3.1 Rancangan Sistem Distribusi

Pada rancangan ini, *voltage sag* terjadi akibat gangguan yang dibuat secara bervariasi. Di bawah ini merupakan saluran distribusi yang dibuat pada *software* Simulink Matlab sebelum dipasang UPQC. Pada simulasi yang dilakukan, gangguan diberikan pada jaringan 380 V yang mengakibatkan terjadinya *voltage sag* pada beban sensitif. UPQC akan dipasang untuk mengembalikan tegangan menjadi 1 pu. UPQC bekerja dengan mendeteksi tegangan yang turun dan mengembalikannya dengan memberikan tegangan kompensasi untuk mengurangi dampak buruk yang dapat ditimbulkan oleh *voltage sag*.



Gambar 4. Rancangan Sistem Distribusi

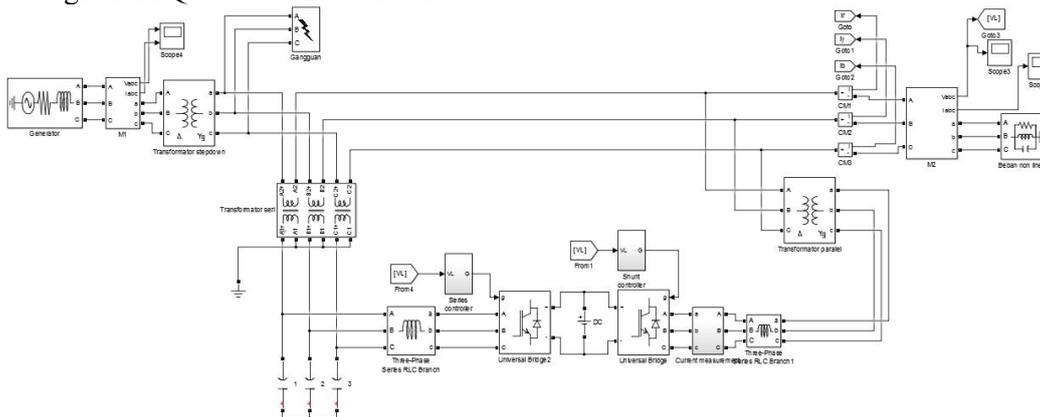
2.3.2 Merancang Kontroler UPQC

UPQC memiliki dua kontroler yang terpasang masing-masing dipasang seri dan paralel. Kontroler akan mendeteksi jika terjadi jatuh tegangan dibawah 90%. Kontroler seri menghitung nilai referensi yang akan diinjeksikan dan membandingkan komponen tegangan pada sumber tegangan dan tegangan beban. Output kontroler ini bekerja dengan menggunakan PWM generator.

Kontroler yang dipasang paralel terhadap jaringan berfungsi untuk membandingkan arus beban dengan arus referensi dan mengkompensasi daya reaktif.

2.3.3 Transformator Seri dan Paralel

Kedua transformator ini merupakan penghubung antara sistem distribusi listrik dengan UPQC. Transformator bertugas untuk menyalurkan tegangan pada sistem yang terhubung dengan beban yang dilindungi untuk mengembalikan nilainya agar mendekati 1 pu. Rasio dari transformator harus tepat agar tegangan yang dihasilkan sesuai [5]. Di bawah ini merupakan rangkaian yang dibuat untuk menghubungkan UPQC ke sistem distribusi



Gambar 5. Rancang UPQC Secara Keseluruhan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Simulasi

Setelah parameter diperoleh, dirancanglah model UPQC dengan software Matlab Simulink. Simulasi diuji dengan kondisi tanpa gangguan dan dengan gangguan.

Tabel 1. Parameter yang Digunakan

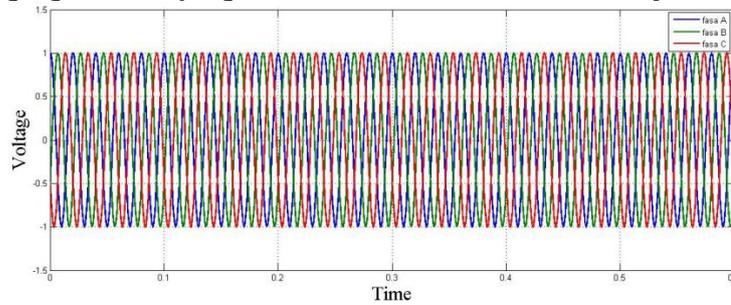
Parameter	Nilai
Tegangan sumber	20 KV
Frekuensi sistem	50 Hz
Tegangan lilitan primer	20 KV
Induktansi lilitan primer	8,6 mH
Tegangan lilitan sekunder	380 V
Induktansi lilitan sekunder	0,08 mH
Resistansi dan reaktansi, agnetisasi	577 Ω
Daya aktif beban	280 KW
Daya reaktif induktir beban	40 KVAR
Daya reaktif kapasitif beban	10 KVAR

Hasil rancangan kompensator UPQC seperti yang terlihat pada gambar 5, UPQC sudah dihubungkan ke sistem distribusi yang sesuai dengan kondisi sistem distribusi PT. DSS Power Plant. UPQC yang dirancang diharapkan dapat mengatasi gangguan yang sering terjadi di PT. DSS tersebut. Gangguan yang sering terjadi adalah gangguan 1 Fasa ke tanah. Tetapi untuk menguji kemampuan dari UPQC yang dirancang maka diujicobakan untuk beberapa kondisi gangguan.

3.1.1 Sistem Distribusi Tanpa UPQC

A. Hasil Simulasi Tanpa UPQC saat Kondisi Normal

Pengujian ini dilakukan pada sistem distribusi yang tidak mengalami gangguan. Sistem pada simulasi ini memiliki tegangan 20 kV yang diturunkan oleh transformator menjadi 380 V.

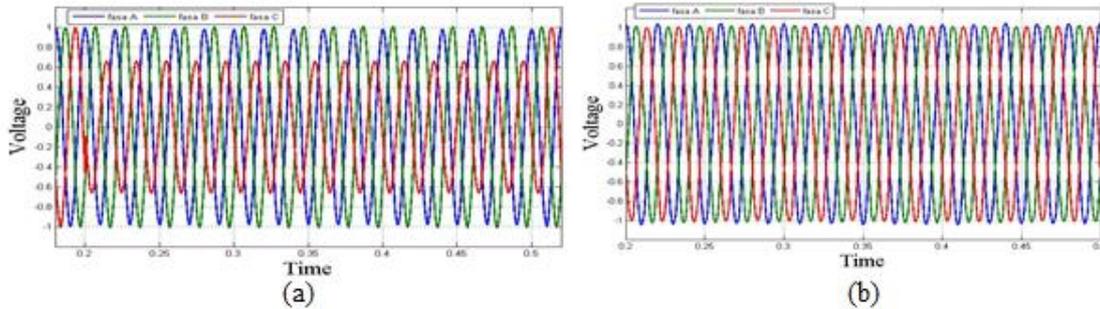


Gambar 6. Grafik Tegangan Kondisi Normal Tanpa UPQC

Gambar 6 adalah pada kondisi belum terjadi tersebut menggambarkan belum terganggunya sistem distribusi. Grafik yang seperti ini harus dipertahankan oleh sistem agar tercipta kualitas daya yang baik untuk kerja beban yang optimal.

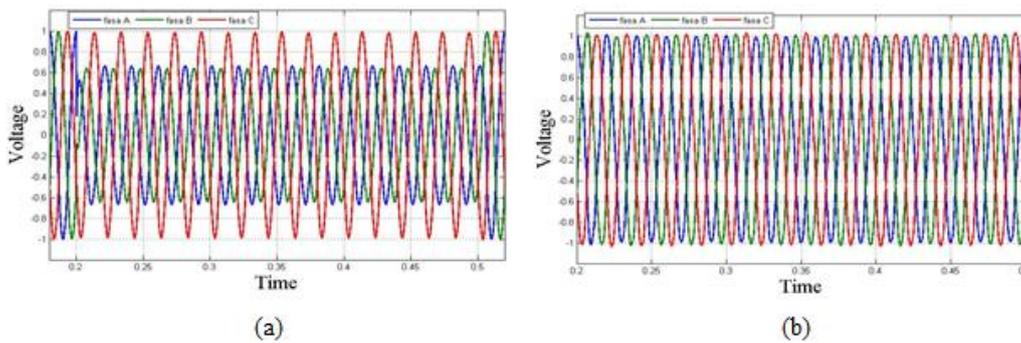
B. Hasil Simulasi Saat Terjadi Voltage sag

Pada percobaan ini dilakukan dengan rangkaian simulasi yang mengalami gangguan *voltage sag*. Gangguan yang diberikan yaitu gangguan satu fasa ke tanah, dua fasa ke tanah, tiga fasa ke tanah, dan antar fasa dengan impedansi gangguan sebesar 0,05 Ω dan resistansi tanah 0,001 Ω .



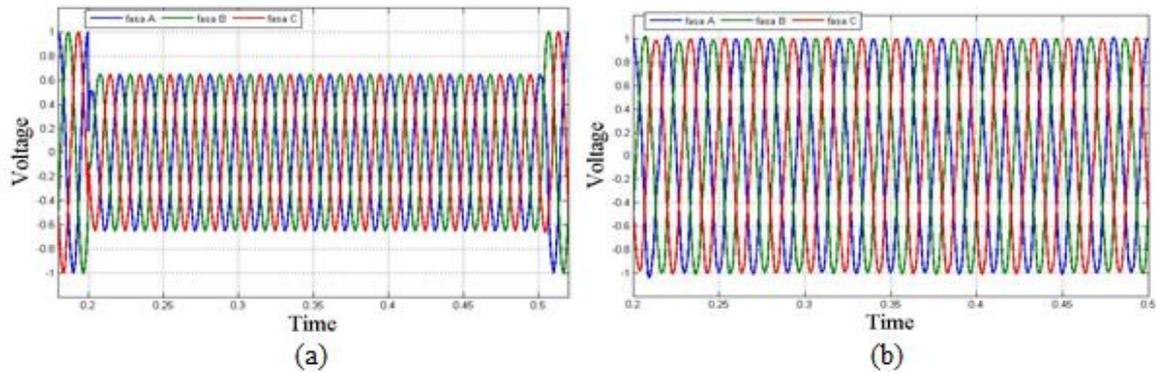
Gambar 7. Gangguan Tegangan Satu Fasa ke Tanah (a), Tegangan dengan UPQC (b)

Gambar 7 hasil simulasi pada saat gangguan 1 fasa ke tanah, terjadi penurunan tegangan pada fasa C sebesar 0,34 pu atau fasa C pada posisi 0,66 pu (Gambar 7a). dengan pemasangan UPQC mampu memperbaiki gangguan dan fasa C kembali pada posisi 1 pu (Gambar 7b).



Gambar 8. Tegangan Gangguan Dua Fasa ke Tanah (a), Tegangan dengan UPQC (b)

Simulasi selanjutnya adalah gangguan 2 fasa ke tanah. Gambar 8a, hasil simulasi gangguan antar fasa dalam hal ini gangguan terjadi antara fasa A dan fasa B. Terjadi penurunan tegangan pada fasa A menjadi 0,63 pu dan fasa B turun menjadi 0,62 pu. Bila gangguan tersebut diabaikan maka akan terjadi gangguan ketidakseimbangan yang mengakibatkan timbulnya harmonisa. Setelah pada sistem distribusi dipasang kompensator UPQC maka grafik tegangan yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8b.

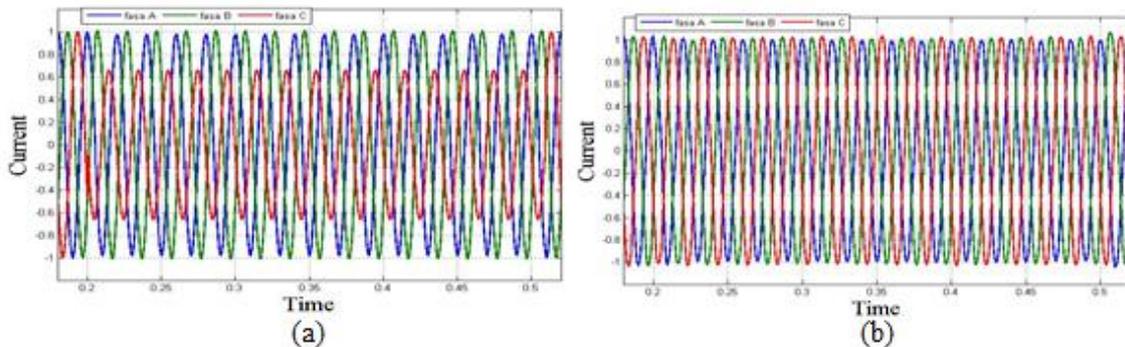


Gambar 9. Grafik Gangguan Tegangan Tiga Fasa ke Tanah (a), Tegangan dengan UPQC (b)

Gangguan hubung singkat tiga fasa termasuk dalam klasifikasi gangguan simetris, karena arus maupun tegangan setiap fasanya tetap seimbang setelah gangguan terjadi. Gambar 9 (a) menunjukkan terjadi penurunan tegangan pada ketiga fasa. Hasil simulasi gangguan, tegangan ketiga fasa turun menjadi 0,65 pu. Stelah dipasangkan UPQC pada sistem maka tegangan kembali normal sekitar 1,04 pu.

C. Hasil Simulasi Saat Terjadi Gangguan Arus

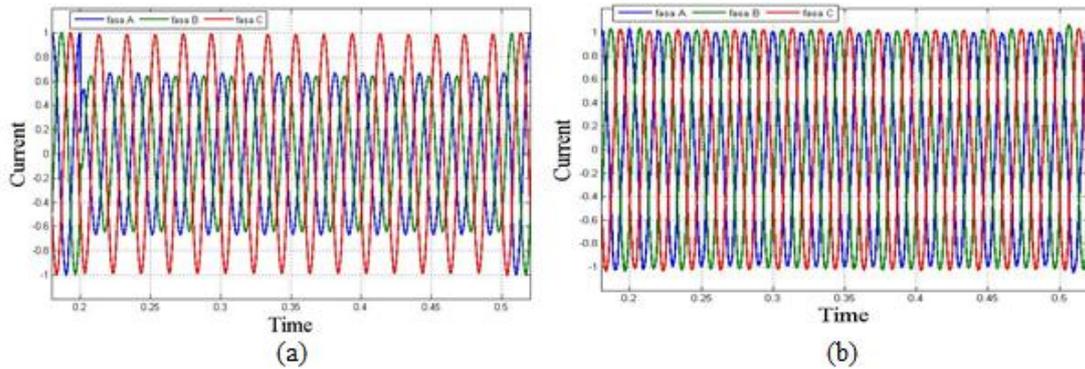
Selain memperbaiki tegangan, UPQC memiliki kontroler shunt yang juga dapat memperbaiki arus di sistem yang mengalami gangguan. Simulasi selanjutnya adalah



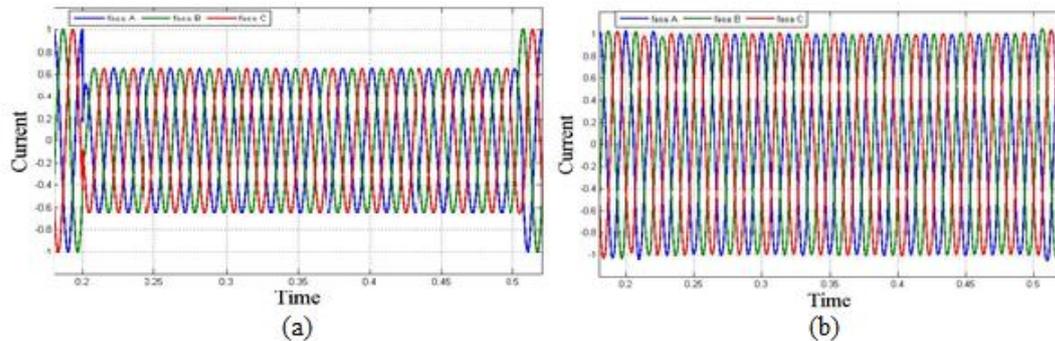
Gambar 10. Grafik Arus Sistem saat Gangguan Satu Fasa ke Tanah (a), Arus dengan UPQC (b)

Tujuan utama dari penggunaan APF paralel adalah untuk memperbaiki *voltage sag* dengan cara menginjeksikan arus yang dibutuhkan oleh sistem saat terjadi gangguan. Nilai arus yang digunakan pada simulasi ini saat $t = 0,3$ detik. Terlihat pada Gambar 10a, nilai I_a sebesar 0,9811 pu, sedangkan I_b sebesar 1 pu sedangkan pada fasa C terjadi gangguan yaitu penurunan I_c menjadi 0,62 pu.

Simulasi selanjutnya dengan memberikan gangguan 2 fasa ke tanah dengan waktu yang sama, yaitu pada saat $t = 3$ detik. Hasil simulasi ditunjukkan seperti pada gambar 11.



Gambar 11. Arus Sistem saat Gangguan Dua Fasa ke Tanah (a), Arus dengan UPQC (b)



Gambar 12. Arus Sistem saat Gangguan Tiga Fasa ke Tanah (a), Arus dengan UPQC (b)

Pada simulasi gangguan hubung singkat 3 fasa ke tanah, dimulai dari detik ke 0,2 sampai detik ke 0,5. Terlihat pada Gambar 12a, terjadi gangguan pada fasa A, fasa B dan fasa C dan terjadi penurunan yang seimbang, yaitu I_a ialah 0,64 pu, sedangkan I_b sebesar 0,64 pu dan I_c sebesar 0,64 pu. Setelah dipasangkan kompensator maka kondisi gangguan dapat dinormalkan kembali seperti yang terlihat pada Gambar 12b.

Dari hasil simulasi yang dilakukan baik gangguan tegangan maupun gangguan arus dilakukan juga perhitungan total distorsi harmonisa (THD) dan hasilnya masih di bawah yang diijinkan, sehingga tidak dilakukan pembahasan lebih lanjut.

4. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. UPQC yang dirancang mampu mendeteksi gangguan tegangan dan arus dan mampu memperbaiki gangguan tersebut ke kondisi normal. Saat sistem berada pada kondisi normal, rangkaian UPQC tidak akan mengganggu tegangan pada beban.
2. Gangguan yang terjadi pada sistem distribusi adalah *voltage sag*, UPQC mampu memperbaiki gangguan tersebut hingga menjadi 1,04 pu dari tegangan nominalnya.
3. UPQC berhasil memperbaiki arus beban yang turun akibat gangguan hubung singkat. Arus sistem distribusi yang turun dapat diperbaiki sampai 0,973 pu.

REFERENSI

- [1] S. Chattopadhyay, M. Mitra, and S. Sengupta, "Sag, Swell, Interruption, Undervoltage, and Overvoltage," *Electr. Power Qual. Dordr. Springer Neth.*, pp. 39-42, 2011
- [2] S. Mishra, C. N. Bhende, and B. K. Panigrahi, "Detection and Classification of Power Quality Disturbances Using S-Transform and Probabilistic Neural Network," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 23, no. 1, pp. 280-287, Jan. 2008.

- [3] A. M. Gaouda, S. H. Kanoun, M. M. A. Salama, and A. Y. Chikhani, "Pattern recognition applications for power system disturbance classification," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 17, no. 3, pp. 677-683, Jul. 2002
- [4] Wahyuni Martiningsih, Rocky Alfan, Rizky, "Power Quality Improvement Caused by Electric Arc Furnace Using Unified Power Quality Conditioner", Proceeding of The 7th Annual Basic Science International Conference – 2017
- [5] P. K. Hota and A. K. Nanda, "Modeling and Simulation Of Unified Power Quality," *Int. J. Appl. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 79–89, 2014.
- [6] C. IEEE Standards Coordinating, *IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality*. 1995.
- [7] M. Vilathgamuwa, "Modelling, Analysis and Control of Unified Power Quality Conditioner - 8th International Conference On Harmonics And Quality of Power Proceedings," 1998.
- [8] V. M. Moreno, A. Pigazo, M. Liserre, A. D. Aquila, P. Bari, and V. Orabona, "Unified Power Quality Conditioner (UPQC) with Voltage Dips and Over-voltages Compensation Capability 3 . Proposed Technique for the Estimation," vol. 1, no. 6, pp. 2–7, 2008.
- [9] R. K. Sinku, *Study Of Unified Power Quality Conditioner For Power Quality Improvement*, no. May. 2015.
- [10] J. Sunitha and M. Ramesh, "UPQC Implements The 3-Phase Shunt And Series Active Power Filter To Compensate Current And Voltage Harmonics," *Int. J. Sci. Eng. Adv. Technol.*, vol. 3, no. 5, pp. 181–186, 2015.
- [11] A. K. Maity, R. Pratihar, S. Sadhu, and S. Dalai, "Biogeography Based PI Controller for Unified Power Quality Conditioner," *IEEE First Int. Conf. Control. Meas. Instrum.*, no. Cmi, pp. 254–258, 2016.