

# Analisis Penggunaan *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) pada Sistem Daya Elektrik

Rachmadi Setiawan, Hadi Suyono, dan Harry Soekotjo Dachlan

**Abstrak**—Paper ini berisi tentang analisis dan pemodelan *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) yang digunakan untuk memperbaiki profil tegangan di PT. Kutai Timber indonesia (KTI) akibat penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*) karena adanya gangguan temporer. UPQC dipasang seri dan paralel (paralel) pada tegangan rendah 380 Volt. Analisis *voltage sag* dilakukan dengan tiga kondisi yaitu hubung singkat satu fasa ke tanah, hubung singkat tiga fasa dan *starting* motor kondisi beban bertingkat. Variasi beban bertingkat adalah 50 %, 75 % dan 100 %. Simulasi dilakukan dengan menggunakan program *Power System Computer Aided Design* (PSCAD). Hasil simulasi menunjukan bahwa untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah, tegangan dapat dikompensasi dari 0.882 pu menjadi 0.965 pu. Sedangkan kompensasi tegangan untuk gangguan tiga fasa dari 0.218 pu menjadi 0.224 pu. Untuk gangguan motor starting pada beban bertingkat kompensasi tegangan dari 1.1 pu menjadi 1 pu pada beban 50%, 1.02 pu menjadi 0.982 pu pada beban 75%, dan 0.93 pu menjadi 0.978 pu pada beban 100%.

**KataKunci:** UPQC, Voltage sag, load flow, PSCAD.

## I. PENDAHULUAN

Pada era modern saat ini sistem daya elektrik adalah suatu jaringan yang kompleks, dengan pembangkit tenaga listrik yang berada di wilayah pusat tenaga listrik dihubungkan secara interkoneksi pada jaringan transmisi untuk disalurkan pada pusat-pusat beban. Pusat beban yang dimaksud adalah konsumen pengguna tenaga listrik di perkotaan dan area industri yang banyak menggunakan beban motor listrik dan perangkat elektronik semikonduktor.

Sebagaimana diketahui pada beban industri, bahwa proses *starting* motor listrik dengan kapasitas besar menimbulkan dampak pada jaringan distribusi yang berakibat penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*). *Voltage sag* adalah penurunan tegangan dengan durasi waktu singkat yang disebabkan oleh gangguan pada

Rachmadi Setiawan adalah mahasiswa Program Magister Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Minat Sistem Tenaga Listrik; (email [ramsetiawan@gmail.com](mailto:ramsetiawan@gmail.com))

Hadi Suyono, dosen pada Program Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya,

Harry Soekotjo Dachlan, dosen pada Program Magister Teknik Elektro, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya.

sistem dan *starting* motor dengan kapasitas daya besar. Penurunan tegangan sesaat ini berpengaruh terhadap kontinuitas operasional industri karena dapat mengganggu kinerja dari peralatan-peralatan yang sensitif terhadap perubahan tegangan seperti : *relay*, kontaktor dan *PLC*.

Menurut penelitian yang dilakukan oleh Byung Moon bahwa UPQC dapat digunakan sebagai alat kompensasi untuk mengatasi *voltage sag*, *voltage swell*, *voltage imbalance*, serta *voltage interruption*. [1]

Secara khusus gangguan *voltage sag* pada area industri juga terjadi pabrik industri pengolahan kayu PT. Kutai Timber Indonesia (KTI) Probolinggo, yang menjadi objek penelitian dengan lokasi di Jalan Tanjung Tembaga Baru/Pelabuhan Probolinggo. PT. Kutai Timber Indonesia (KTI) Probolinggo bergerak dibidang pengolahan kayu dengan hasil produksi *Plywood* (P1), *Wood Working* (P2) dan *Partikel Board* (Pb).

Pabrik ini beroperasi selama 24 jam dan mendapatkan suplai listrik dari Gardu Induk Probolinggo, kota Probolingo pada level tegangan 20 kV dengan kapasitas daya sebesar 2770 kVA. Pendistribusian tenaga listrik dari Gardu Induk ke lokasi pabrik menggunakan penyulang atau *feeder* khusus yang terhubung dengan dua buah transformator *step-down* 20kV/380V dengan kapasitas masing-masing 1600 kVA.

Pada penelitian ini dilakukan simulasi sistem daya elektrik menggunakan *Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) untuk memperbaiki profil tegangan terhadap penurunan tegangan sesaat (*voltage sag*) yang ditimbulkan oleh masalah gangguan ataupun karena *starting* motor di PT. Kutai Timber Indonesia (KTI).

## II. LANDASAN TEORI

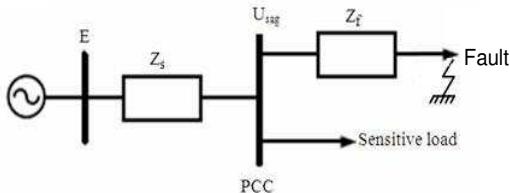
### A. *Voltage Sag*

*Voltage sag* merupakan permasalahan yang sangat penting untuk diselesaikan dalam dunia industri saat ini. Karakteristik beban tak linear dan kecendrungan pemakaian beban induktif sangat mempengaruhi kualitas tegangan.

Dugan (2004) menjelaskan bahwa pengertian *voltage sag* adalah penurunan tegangan *rms* (*root mean*

*square)* pada frekuensi daya antara 0.1 sampai 0.9 pu selama durasi waktu dari 0.5 cycles hingga 1 menit, yang disebabkan oleh gangguan sistem dan *starting motor*. [2]

Untuk menghitung besaran *voltage sag* pada sistem radial dapat dilihat pada contoh model yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Model pembagi tegangan untuk *voltage sag* [3]

Dari Gambar 1 diatas terdapat dua impedansi yaitu:  $Z_s$  (impedansi sumber pada titik kopling bersama) dan  $Z_F$  (impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan). Titik kopling bersama (*point of common coupling / PCC*) adalah titik dimana cabang-cabang arus beban dalam posisi *off* dari arus gangguan. Besaran *voltage sag* dinyatakan dengan persamaan:

$$V_{\text{sag}} = \frac{Z_F}{Z_s + Z_F} * E \quad (2.1)$$

dimana:

$V_{\text{sag}}$  = tegangan *sag* (Volt).

$E$  = tegangan sumber (Volt).

$Z_F$  = impedansi antara titik kopling bersama dan gangguan ( $\Omega$ ).

$Z_s$  = impedansi sumber pada titik PCC ( $\Omega$ ).

*Voltage sag* dikategorikan sebagai gangguan tegangan dengan durasi waktu yang singkat, dimana durasi *voltage sag* dapat dibagi menjadi 3 kategori yaitu: *instantaneous*, *momentary* dan *temporary* [4] sebagaimana ditunjukkan oleh Tabel I.

### B. Unified Power Quality Conditioner

*Unified Power Quality Conditioner* (UPQC) adalah sebuah peralatan kompensasi yang secara konstruksi terhubung secara seri terhadap jaringan distribusi dan terhubung paralel terhadap jaringan yang sama. UPQC juga dikatakan sebagai penggabungan dari *Dynamic Voltage Restorer* (DVR) yang terpasang seri pada saluran distribusi dan *Distribution Static Compensator* (DSTATCOM) yang terpasang secara paralel pada saluran yang bekerja secara bersama, seperti pada Gambar 2.

Komponen seri dari UPQC memberikan injeksi tegangan pada sistem, sehingga performansi tegangan sistem dapat dipertahankan untuk stabil. Sedangkan komponen paralel dari UPQC memberikan injeksi arus yang bersifat kapasitif pada sistem guna pengaturan faktor daya yang lebih baik.

Dua buah *Voltage Source Inverter* (VSI) dihubungkan pada kapasitor penyimpan energi yang

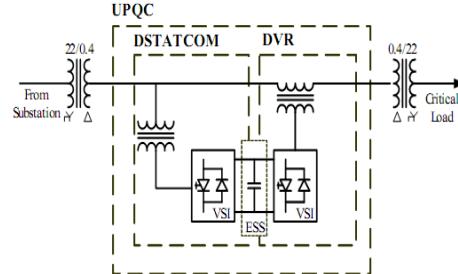
berfungsi sebagai sumber energi. Karena mempunyai konstruksi seri dan paralel dengan dua buah pengontrol VSI, maka UPQC dapat bekerja memberikan injeksi tegangan dan arus kapasitif secara bersama kepada sistem jaringan distribusi.

TABEL I  
TEGANGAN BERDASARKAN STANDAR IEEE 1159 [4]

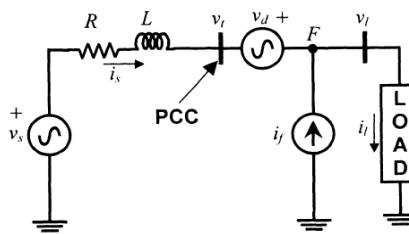
Categories	Typical spectral content	Typical duration	Typical voltage magnitude
1.0 Transients			
1.1 Impulsive			
1.1.1 Nanosecond	5-ns rise	<50 ns	
1.1.2 Microsecond	1-μs rise	50 ns–1 ms	
1.1.3 Millisecond	0.1-ms rise	>1 ms	
1.2 Oscillatory			
1.2.1 Low frequency	<5 kHz	0.3–50 ms	0–4 pu
1.2.2 Medium frequency	5–500 kHz	20 μs	0–8 pu
1.2.3 High frequency	0.5–5 MHz	5 μs	0–4 pu
2.0 Short-duration variations			
2.1 Instantaneous			
2.1.1 Interruption		0.5–30 cycles	<0.1 pu
2.1.2 Sag (dip)		0.5–30 cycles	0.1–0.9 pu
2.1.3 Swell		0.5–30 cycles	1.1–1.8 pu
2.2 Momentary			
2.2.1 Interruption		30 cycles–3 s	<0.1 pu
2.2.2 Sag (dip)		30 cycles–3 s	0.1–0.9 pu
2.2.3 Swell		30 cycles–3 s	1.1–1.4 pu
2.3 Temporary			
2.3.1 Interruption		3 s–1 min	<0.1 pu
2.3.2 Sag (dip)		3 s–1 min	0.1–0.9 pu
2.3.3 Swell		3 s–1 min	1.1–1.2 pu
3.0 Long-duration variations			
3.1 Interruption, sustained		>1 min	0.0 pu
3.2 Undervoltages		>1 min	0.8–0.9 pu
3.3 Overvoltages		>1 min	1.1–1.2 pu
4.0 Voltage unbalance		Steady state	0.5–2%
5.0 Waveform distortion			
5.1 DC offset		Steady state	0–0.1%
5.2 Harmonics	0–100th harmonic	Steady state	0–20%
5.3 Interharmonics	0–6 kHz	Steady state	0–2%
5.4 Notching		Steady state	
5.5 Noise	Broadband	Steady state	0–1%
6.0 Voltage fluctuations	<25 Hz	Intermittent	0.1–7% 0.2–2 Pst
7.0 Power frequency variations		<10 s	

NOTE: s = second, ns = nanosecond, μs = microsecond, ms = millisecond, kHz = kilohertz, MHz = megahertz, min = minute, pu = per unit.

Untuk lebih jelas diagram kontrol dari UPQC dapat dijabarkan pada Gambar 3.



Gambar 2 Konfigurasi UPQC [5]



Gambar 3 Kompensasi dengan UPQC [6]

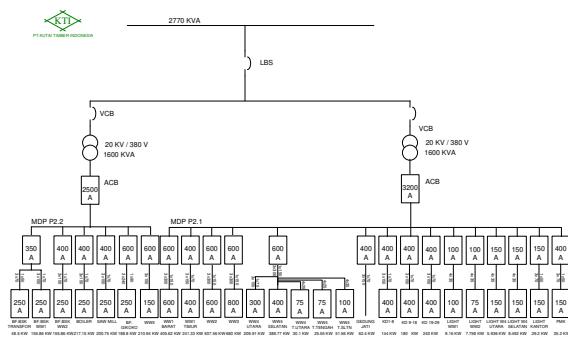
Diasumsikan bahwa kombinasi sumber voltage serial yang ideal dan sumber arus shunt / paralel yang ideal menggambarkan UPQC. Koneksi peralatan pada *Point of Common Coupling* (PCC) secara seri dan paralel, ditunjukkan pada Gambar 3. Tegangan PCC

ditunjukkan pada terminal  $V_t$ ,  $V_l$  sebagai tegangan beban dan  $i_l$  sebagai arus beban. Tegangan sumber dinotasikan sebagai  $V_s$ , sementara  $R$  dan  $L$  mewakili impedansi feeder. Tegangan kompensasi seri dinotasikan sebagai  $V_d$ , sedangkan arus kompensasi paralel dinotasikan sebagai  $I_f$ .

### III. PEMODELAN DAN INPUT DATA

#### A. Data PT. Kutai Timber Indonesia (KTI).

Kebutuhan daya listrik di PT. Kutai Timber Indonesia (KTI) disuplai sumber PLN distribusi 20 kV dari gardu induk kota Probolinggo, dengan *single line* diagram diberikan pada Gambar 4.



terdapat pada MDP P2.2 masih tetap berwarna hitam, hal ini menandakan bahwa bus-bus tersebut kondisi yang diijinkan atau penurunan tegangan masih dalam range standar yang diijinkan yaitu lebih besar dari 342 Volt (+5% dan -10% standar PLN untuk variasi tegangan), oleh karena itu untuk bus-bus pada MDP P2.2 masih bekerja normal.

Nilai tegangan pada bus MDP P2.2 sebelum dan sesudah dilakukan analisis *load flow* diberikan pada Tabel III.

#### B. Hasil Studi Aliran Daya MDP P2.1

Setelah dilakukan *run load flow*, bus-bus yang terdapat pada MDP P2.1 berubah warna menjadi merah. Menandakan terjadinya penurunan tegangan, dimana setiap bus pada MDP P2.1 memiliki variasi penurunan tegangan yang berbeda-beda tergantung dari jumlah beban yang digunakan pada tiap bus. Bus yang mengalami penurunan tegangan yang paling besar berada pada bus WW3 menjadi 285 Volt karena nilai tegangan yang dihasilkan lebih kecil dari tegangan standar yang diijinkan yaitu 342 Volt (-10% standar PLN 380 Volt). Sehingga penentuan lokasi pemasangan UPQC dipilih pada bus MDP 2.1.

Nilai tegangan pada bus MDP P2.2 sebelum dan sesudah dilakukan analisis *load flow* diberikan pada Tabel IV.

TABEL IV  
KONDISI TEGANGAN SESUDAH RUN LOAD FLOW PADA MDP P2.1

Bus	Kondisi tegangan sistem	
	Sebelum run LF (Kondisi normal)	Sesudah run LF Pada MDP P2.1
WW1 BARAT	380 V	298 V
WW1 TIMUR	380 V	297 V
WW2	380 V	298 V
WW3	380 V	285 V
WW4 UTARA	380 V	296 V
WW4 SELATAN	380 V	292 V
WW4 T. UTARA	380 V	304 V
WW4 T. TENGAH	380 V	304 V
WW4 T. SELATAN	380 V	.304 V
G.JATI	380 V	302 V
KD 1-8	380 V	295 V
KD 9-18	380 V	292 V
KD 19-29	380 V	296 V
LIGHT WW1	380 V	304 V
LIGHT WW2	380 V	305 V
LIGHT WW4 UTARA	380 V	305 V
LIGHT WW4 SELATAN	380 V	304 V
LIGHT KANTOR P2	380 V	304 V
PMK	380 V	302 V

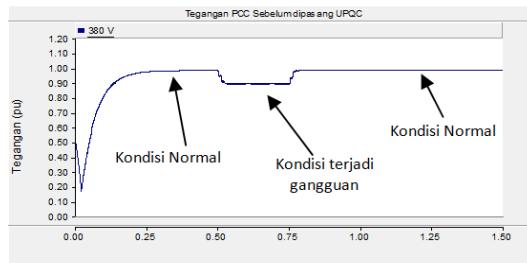
#### V. HASIL SIMULASI

##### A. Gangguan Hubung Singkat Satu Fasa ke Tanah

Gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah pada sistem yang sering terjadi adalah sambaran petir pada salah satu kawat listrik dan kecelakaan saat perbaikan

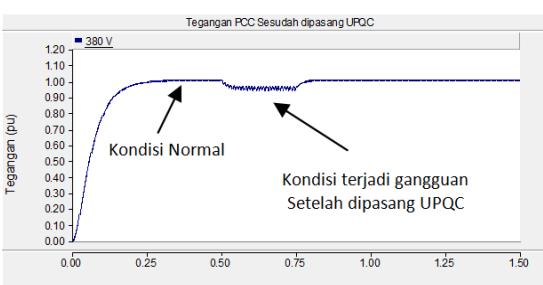
dalam keadaan bertegangan. Hal-hal tersebut dapat menyebabkan terjadinya *voltage sag*.

Simulasi tegangan pada gangguan satu fasa ke tanah sebelum dipasang UPQC diberikan pada Gambar 6.



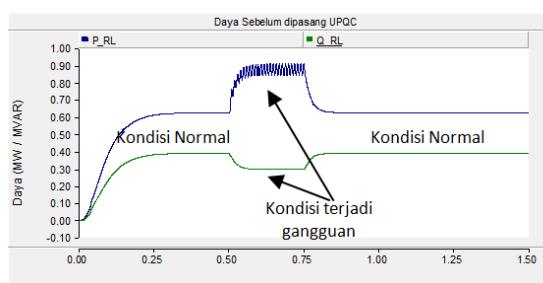
Gambar 6 Bentuk gelombang tegangan sebelum pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Sedangkan simulasi tegangan pada gangguan satu fasa ke tanah sesudah dipasang UPQC diberikan pada Gambar 7.

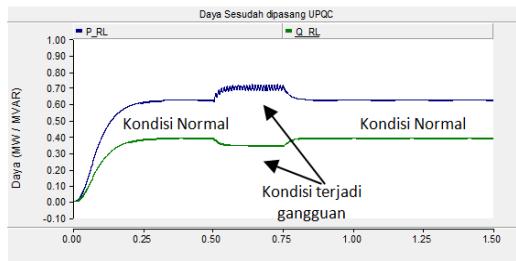


Gambar 7 Bentuk gelombang tegangan sesudah pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Simulasi daya pada gangguan satu fasa ke tanah sebelum dipasang UPQC diberikan pada Gambar 8.



Gambar 8 Bentuk gelombang daya aktif dan reaktif sebelum pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah



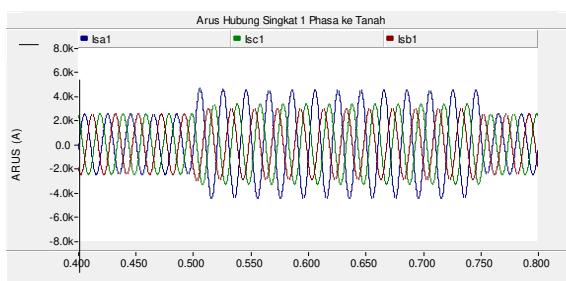
Gambar 9 Bentuk gelombang daya aktif dan daya reaktif sesudah pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke tanah

Sedangkan simulasi daya pada gangguan satu fasa ke tanah sesudah dipasang UPQC diberikan pada Gambar 9, dimana sistem setelah dipasang UPQC mampu mengkompensasi daya aktif sebesar 0.81 MW dan kompensasi daya reaktif sebesar 0.046 MVAR, seperti

diberikan pada Tabel V.

TABEL V  
KONDISI GANGGUAN SATU FASA KE TANAH

BUS	Sebelum pemasangan UPQC			Sesudah pemasangan UPQC		
	Vrms (pu)	P (MW)	Q (MVAR)	Vrms (pu)	P (MW)	Q (MVAR)
MDP	0.88	0.897	0.296	0.96	0.716	0.342
P2.1	2	5				

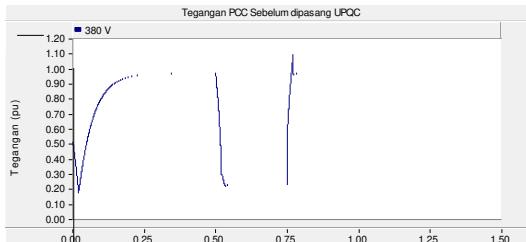


Gambar 10 Bentuk gelombang arus hubung singkat 1 phasa ke tanah

Simulasi arus hubung singkat pada gangguan satu fasa ke tanah diberikan pada Gambar 10.

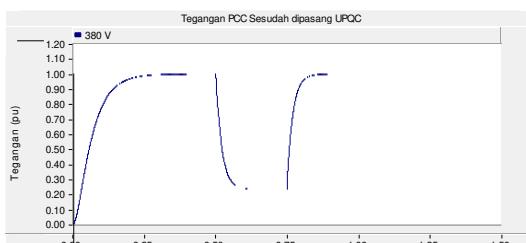
#### B. Gangguan Hubung Singkat Tiga Fasa

Bentuk gelombang tegangan hubung singkat tiga fasa sebelum pemasangan UPQC dapat dilihat pada Gambar 11.



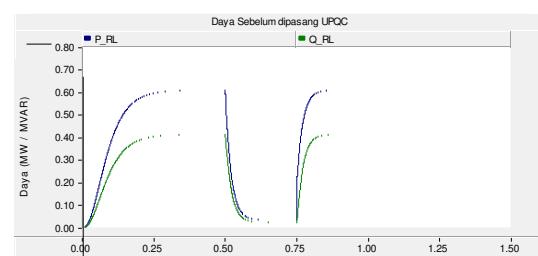
Gambar 11 Bentuk gelombang tegangan sebelum pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat tiga fasa

Simulasi tegangan pada gangguan hubung singkat tiga fasa sesudah dipasang UPQC diberikan pada gambar 12.

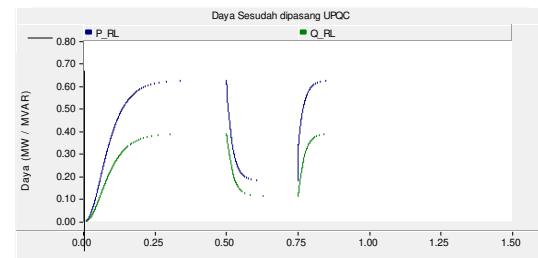


Gambar 12 Bentuk gelombang tegangan sesudah pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat tiga fasa

Pada kondisi normal, tegangan sistem sebesar  $V_{rms} = 1$  pu atau  $V = 380$  Volt. Apabila terjadi *voltage sag* selama kurun waktu  $t = 0.5$  s sampai  $t = 0.75$  s mengakibatkan terjadi penurunan tegangan  $V_{rms} = 0.218$  pu atau  $V = 82.84$  Volt, setelah  $t = 0.75$  sampai  $t = 1.5$  tegangan sistem kembali normal pada  $V_{rms} = 1$  pu atau  $V = 380$  Volt.



Gambar 13 Bentuk gelombang daya aktif dan reaktif sebelum pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat tiga fasa

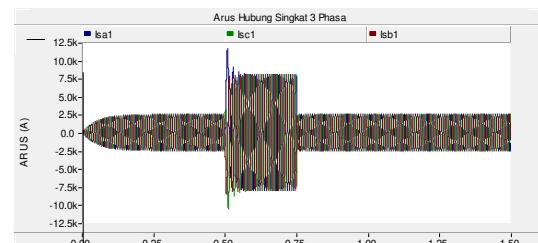


Gambar 14 Bentuk gelombang daya aktif dan daya reaktif sesudah pemasangan UPQC untuk gangguan hubung singkat tiga fasa

Pada Gambar 13 dan Gambar 14 dapat dilihat bahwa bentuk gelombang daya aktif dan daya reaktif pada kondisi normal dan kondisi terjadi gangguan hubung singkat tiga fasa. Hasil simulasi gangguan hubung singkat tiga fasa diberikan pada Tabel VI.

TABEL VI  
KONDISI GANGGUAN HUBUNG SINGKAT TIGA FASA

BUS	Sebelum pemasangan UPQC			Sesudah pemasangan UPQC		
	Vrms (pu)	P (MW)	Q (MVAR)	Vrms (pu)	P (MW)	Q (MVAR)
MDP	0.218	0.031	0.019	0.224	0.188	0.126
P2.1						



Gambar 15 Bentuk gelombang arus hubung singkat 3 phasa

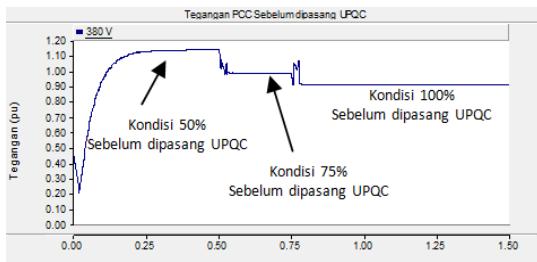
Simulasi arus hubung singkat pada gangguan tiga fasa diberikan pada Gambar 15.

#### C. Starting Motor Secara Bertingkat

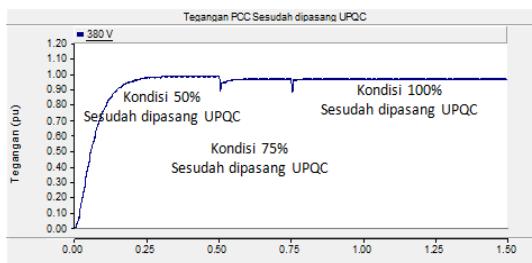
Simulasi beban secara bertingkat pada saat motor starting untuk tegangan sebelum dipasang UPQC diberikan pada Gambar 16 dan simulasinya beban secara bertingkat pada saat motor starting untuk tegangan sesudah dipasang UPQC diberikan pada Gambar 17. Bentuk gelombang tegangan sebelum dan sesudah dipasang UPQC dengan kondisi beban bertingkat yang sama, yaitu 50%, 75% dan 100%.

Hasil simulasi, perbaikan profil tegangan kondisi beban 50%, 75% dan 100% dapat dikompensasi mendekati 1 pu sebagai tegangan nominal yang

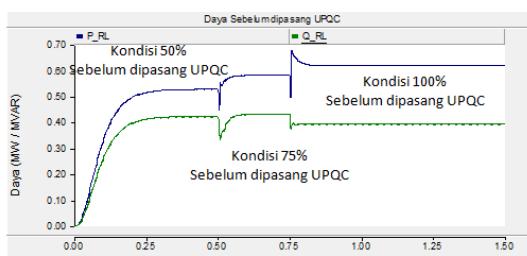
diharapkan.



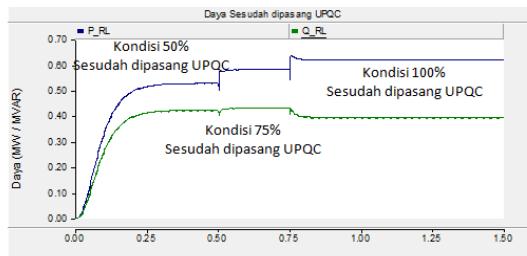
Gambar 16 Bentuk gelombang tegangan sebelum pemasangan UPQC untuk starting motor dengan beban bertingkat



Gambar 17 Bentuk gelombang tegangan sesudah pemasangan UPQC untuk starting motor dengan beban bertingkat



Gambar 18 Bentuk gelombang daya aktif dan reaktif sebelum pemasangan UPQC untuk starting motor dengan beban bertingkat



Gambar 19 Bentuk gelombang daya aktif dan reaktif sesudah pemasangan UPQC untuk starting motor dengan beban bertingkat

Hasil simulasi pada kondisi motor starting dengan beban secara bertingkat diberikan pada Tabel VII.

## VI. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisis yang dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Untuk gangguan hubung singkat satu fasa ke

tanah terjadi perbaikan profil tegangan di titik *Point of Common Coupling* (PCC) saat terjadi gangguan sebelum dipasang UPQC sebesar 0.882 pu dan setelah dipasang UPQC menjadi 0.965 pu.

- Untuk gangguan hubung singkat tiga fasa tidak terjadi perbaikan yang signifikan sebelum dipasang UPQC tegangan PCC 0.218 pu, daya aktif 0.031 MW dan daya reaktif 0.019 MVAR menjadi setelah dipasang UPQC tegangan PCC 0.224 pu, daya aktif 0.188 MW dan daya reaktif 0.126 MVAR sehingga pada penelitian ini dapat dikatakan bahwa UPQC tidak mampu bekerja sebagai kompensasi untuk mengatasi arus hubung singkat tiga fasa.
- Untuk gangguan motor starting pada beban bertingkat 50% kompensasi tegangan dari 1.1 pu menjadi 1 pu, terjadi kelebihan kompensasi sebelum dipasang UPQC akibat kapasitor bank terpasang pada MDP P2.1 beroperasi maksimal sebesar 1270 kVAR. Pada beban bertingkat 75% kompensasi tegangan dari 1.02 pu menjadi 0.982 pu, masih terjadi kelebihan kompensasi tetapi masih dalam ambang batas yang diperbolehkan yaitu maksimum +5% tegangan nominal. Sedangkan pada beban bertingkat 100% kompensasi tegangan dari 0.93 pu menjadi 0.978 pu.

TABEL VII

KONDISI MOTOR STARTING DENGAN BEBAN SECARA BERTINGKAT

BUS WW3	Sebelum pemasangan UPQC			Sesudah pemasangan UPQC		
	V (pu)	P (MW)	Q (MVAR)	V (pu)	P (MW)	Q (MVAR)
Pembebanan 50%	1.1	0.526	0.402	1.0	0.52	0.4
Pembebanan 75%	1.02	0.587	0.42	0.982	0.58	0.412
Pembebanan 100%	0.93	0.606	0.396	0.978	0.61	0.38

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Byung-Moon Han, "Unified Power Quality Conditioner for Compensating Voltage Interruption", Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol.1, No.4, pp.503~512, 2006.
- [2] Dugan, C. Roger, McGranahan, F. Mark, Surya dan Beatty, Wayne. H., "Electrical Power Systems Quality", Second Edition, 2004.
- [3] El-Shennawy, I. Tarek dkk, "A Dynamic Voltage Restorer for Voltage Sag Mitigation in a Refinery with Induction Motors Loads", American J. of Engineering and Applied Sciences 3 (1): 144-15, 2010.
- [4] IEEE Standart 1159-1995. IEEE Recommended Practice for Monitoring Electric Power Quality. New York. USA.
- [5] T. Devaraju, "Role of custom power devices in Power Quality Enhancement: A Review", International Journal of Engineering Science and Technology, vol.2(8), 2010.
- [6] A. Gosh and G. Ledwich, "Power Quality Enhancement Using Custom Power Devices," Kluwer Academic, United States of America, 2002.