

# DAMPAK PEMASANGAN *SHUNT* KAPASITOR PADA MOTOR TERHADAP IMPULS TEGANGAN JARINGAN TENAGA LISTRIK BER-*CAPACITOR BANK*

Oleh: Ignatius Riyadi Mardiyanto MT.<sup>1</sup>, Prof.Dr. Ontoseno Penangsang M.Sc.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Teknik Konversi Energi-Politeknik Negeri Bandung

<sup>2</sup>Teknik Elektro-Institut Teknologi Sepuluh Noverber

## Abstrak

*Pemasangan capacitor bank untuk memperbaiki faktor daya akan menyebabkan lonjakan tegangan saat terjadi pemutusan atau hubung singkat. Berdasarkan standar withstand voltage, kondisi transient tegangan dan arus dapat terjadi akibat adanya gangguan lonjakan tegangan, arus maupun frekuensi pada komponen di sekitar capacitor bank tersebut tidak boleh melebihi tegangan withstand. Penerapan penambahan capacitor bank dan dampaknya terhadap lonjakan tegangan disimulasikan melalui perangkat lunak Alternative Transients Program (ATP™). Penggunaan metode ATP™ (Alternative Transients Program) bertujuan untuk mensimulasikan dampak peletakan kapasitor yang memungkinkan perbaikan faktor daya dan lonjakan tegangan. Penambahan capacitor bank mengakibatkan lonjakan transient tegangan overshoot melebihi tegangan withstand 10 kV dalam waktu lebih dari 0,15 detik. Peletakan shunt capacitor pada motor yang telah menggunakan capacitor bank dapat mengurangi lonjakan tegangan di bawah tegangan withstand sebesar 70% selama 0,15 detik.*

**Kata Kunci:** Faktor Daya, Capacitor Bank, Overshoot, Withstand Voltage

## PENDAHULUAN

Dewasa ini permasalahan penghematan listrik telah menjadi topik yang sangat diminati. Penghematan listrik ini diantaranya adalah dengan cara melakukan perbaikan kualitas daya dengan cara melakukan perbaikan efisiensi pemakaian seperti dengan melakukan perbaikan faktor daya. Yakni dengan cara melakukan pemasangan *capacitor bank* pada jaringan beban induktif sehingga yang dirasakan oleh sistem adalah hanya sebagai daya aktif. Perubahan kualitas daya ini dapat dilihat pada penurunan arus pada *upstream* jika *capacitor bank* diaktifkan. Adanya *capacitor bank* diharapkan dapat memperbaiki kualitas tegangan sehingga *voltage drop* menjadi lebih kecil.

Pemasangan *capacitor bank* sebagai komponen perbaikan kualitas daya khususnya

sebagai komponen yang mampu memperbaiki faktor daya sudah lazim dilakukan. Perubahan dan penurunan beban listrik akan mengakibatkan beban menjadi kapasitif sehingga berdampak pada kegagalan sistem kendali. Dengan adanya permasalahan tersebut, dampak terhadap kerusakan komponen jaringan, trafo regulator tegangan beban, akan dicermati dengan cara melakukan simulasi *software*. Simulasi dimaksudkan untuk menggambarkan kualitas tegangan pada jaringan beban dimana *capacitor bank* tersebut diletakkan. Hipotesis terhadap kerusakan komponen tersebut adalah karena adanya tegangan tembus yang melewati batas ketahanan komponen terhadap tegangan *withstand*. Tinjauan difokuskan pada permasalahan tegangan lebih pada jaringan beban motor listrik tersebut karena *transient* dari suatu keadaan ke keadaan lainnya, yakni

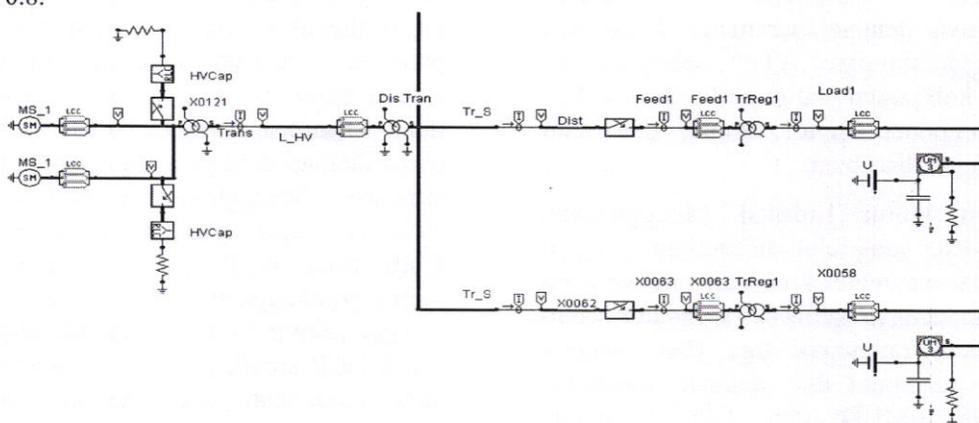
jika terjadi intervensi oleh adanya gangguan kedaruratan. Gangguan kedaruratan jaringan beban motor di sini adalah pada gangguan arus lebih hubung singkat yang menyebabkan beban diputus oleh relai.

Makalah ini membahas komponen *capacitor bank* sebagai komponen perbaikan faktor daya pada jaringan beban dan pengaruhnya terhadap tegangan pada beban sebagai komponen *downstream* maupun pada jaringan *upstream*. Dan akan diperlihatkan pengaruh penambahan komponen filter pasif jenis *shunt* kapasitor pada motor dengan jaringan ber-*capacitor bank* terhadap tegangan *overshoot* karena aktifnya rele arus lebih. Perangkat simulasi yang digunakan adalah *software open source ATP™ (Alternative Transients Program)* oleh SINTEF Energy Research. Gambaran komponen untuk simulasi jaringan dengan beban berupa motor induksi 3 fasa, daya nominal 100 kW yang difungsikan sebagai penggerak pompa. Motor listrik dikendalikan dengan menggunakan regulator tegangan menggunakan trafo regulator yang dipasangkan pada setiap *upstream* motor. Jaringan menggunakan kabel tanah, dengan proteksi berupa relai *over current*. Secara garis besar parameter komponen simulasi dituliskan sebagai berikut.

- 1) Motor induksi. Model rangkaian dari komponen motor induksi dapat diikuti pada makalah oleh José Gonçalves, dkk [1]. Data motor yang digunakan sebagai salah satu contoh kasus adalah motor jenis induksi, tegangan nominal 1 kV, daya aktif nominal 100 kW, slip 0.02, efisiensi nominal 0.9, faktor daya 0.8.

- 2) Kabel tanah. Kabel yang digunakan adalah kabel tanah dengan *single core cable*, tiga fasa dibundel menjadi satu, bagian inti dengan:  $Rho\ 2.3 \times 10^{-8}$  ohm.m, diameter dalam 2 cm, *relative permittivity* 2.7, *relative permeability* 1. Bagian selubung dengan diameter dalam 4 cm diameter luarnya adalah 4.3 cm,  $Rho\ 2.3 \times 10^{-8}$  ohm.m, dengan *relative permittivity* 2.7.
- 3) Trafo regulator tegangan. Regulator tegangan untuk beban menggunakan trafo regulator dengan tap bagian sekunder mempunyai nilai sampai dengan  $\pm 15\%$ , input tegangan adalah 1 kV, dengan perbandingan primer sekunder nominalnya 1:1 dengan jenis kopling Y-d.
- 4) *Over current relay*. *Over current relay* dipasang setelah regulator tegangan dengan *setting* waktu *instantaneous* sekitar 0.02 detik.
- 5) *Circuit breaker*. *Circuit breaker* didekati dengan model simulasi menggunakan kombinasi rangkaian RLC (resistor-induktor-kapasitor). Model *circuit breaker* tersebut telah dijelaskan antara lain oleh Caroline Vollet, Benoit de Metz-Noblat dalam makalahnya, yakni *Vacuum Circuit Breaker Model: Application Case to Motors Switching* [2].
- 6) Trafo distribusi. Untuk menurunkan tegangan digunakan trafo distribusi dengan tegangan transmisi adalah 34.5 kV. Trafo distribusi ini menurunkan tegangan dari 34.5 kV menjadi 1 kV, dengan kopling Y-y.

Secara keseluruhan jaringan sistem dengan sumber berupa turbin gas dengan tegangan keluaran 11.5 kV digunakan untuk mensuplai motor-motor listrik untuk pompa dan proses produksi lainnya dengan tegangan motor sekitar 1 kV, digambarkan secara sederhana seperti Gambar 1.



Gambar 1. Single Line Sistem Penuplai Motor

Dampak ketahanan motor disimulasikan dengan menggunakan *standard IEC 60034-15,1995* tentang ketahanan motor dengan

tegangan nominal di bawah 3 kV terhadap tegangan lebih, pengujian dengan cara *withstand test* dilakukan selama waktu 1 menit

untuk mengetahui ketahanan terhadap tegangan lebih rms nilainya adalah  $2 \times$  nilai nominal + 4 kV tersebut<sup>[3]</sup>. Untuk ketahanan transformator terhadap tegangan lebih dapat diikuti pada IEC 60076-3, yakni untuk 3.6 kV-rms<sup>[4]</sup>. Tegangan lebih, yang dapat dikenakan selama 60 detik dengan frekuensi sebesar frekuensi sumber, adalah 10 kV-rms. Untuk frekuensi yang lebih tinggi harus diperhitungkan pengurangan waktu tegangan lebih yang dipapar komponen tersebut.

Tegangan standar IEC ini secara umum, banyak digunakan oleh produsen komponen daya dalam menguji hasil produksinya. Dengan demikian, batas ketahanan terhadap tegangan uji dapat dijadikan rujukan untuk menentukan batas ketahanan dari komponen yang dapat terkena tegangan di atas nilai uji ketahanannya dalam waktu yang lebih lama dari waktu uji ketahanannya. Beberapa uji lapangan terhadap ketahanan tegangan dengan standar ini kadang menunjukkan nilai yang lebih rendah dan mengalami kegagalan karena kondisi lingkungan yang berbeda, seperti kondisi lingkungan yang lebih lembab dapat menurunkan batas ketahanan tegangan standar. Selain itu, frekuensi dari tegangan yang melampaui batas ketahanan yang mengenai komponen selayaknya menjadi pertimbangan juga untuk menentukan waktu yang dapat dikenakan komponen pada batas tegangan *withstand*.

## METODOLOGI

Untuk membuat simulasi, perlu dilakukan penyesuaian parameter komponen sesungguhnya dengan parameter komponen simulasi pada simulator ATP<sup>TM</sup> sebagai *tools*. Beberapa komponen yang perlu disesuaikan adalah komponen motor, kabel, dan relai untuk jaringan distribusi.

**Komponen Motor Induksi.** Menggunakan nilai parameter yang telah disebutkan di muka, dapat dibuat parameter komponen motor yang disesuaikan dengan *software* simulator yakni menggunakan rangkaian tiga fasa menjadi rangkaian pengganti d-q, dengan induktansi magnetisasi LMUD dan LMUQ adalah 0.034287, dengan komponen stator  $R_d$  dan  $Q_d$  adalah 0.470204 ohm,  $L_d$  dan  $L_q$  adalah 0.001771 H/pu. Untuk komponen resistansi adalah 0.15508 ohm dan induktansi rotor adalah 0.001771 H/pu.

**Komponen Kabel.** Parameter komponen kabel tanah pada nilai yang disebutkan di atas, dapat langsung dimasukkan pada komponen kabel yang ada pada komponen simulator.

**Komponen Trafo Regulator.** Parameter trafo regulator di-*setting* dengan nilai untuk lilitan primer resitansi dan induktansinya sebesar 0.0005127 ohm dan 0.0180688 mH. Resistansi dan induktansi pada belitan sekunder adalah 0.00053 ohm dan 0.0181. Resistansi magnetisasi percabangan adalah 1570909 ohm, dengan arus magnetisasi cabang 1.08 A, dan fluksi magnetisasi percabangannya adalah 6.237 Wb.

**Komponen Over Current Relay.** Relai arus lebih atau *over current relay* (OCR) yang digunakan adalah pengukur arus di atas nilai arus *transient* pada kondisi masuknya motor penggerak pompa maupun pada kondisi masuknya *capacitor bank* jika kapasitor di-*setting* berbeda waktu untuk masuk ke sistem. Tetapi *setting* OCR dibuat di bawah nilai arus hubung singkat terkecilnya. Hasil hitungan untuk arus hubung singkat pada rangkaian ini adalah di atas 1000 A. Arus hubung singkat tersebut dapat dicari dengan cara perhitungan maupun dengan cara melakukan simulasi dari rangkaian dengan sumber-sumber yang mempengaruhinya, kemudian dilakukan pengamatan pada jaringan di atas OCR yang akan merasakan paling awal adanya arus yang nilainya lebih besar dari nilai nominal arus beban tersebut. Dengan cara melakukan simulasi dengan menyambungkan rangkaian secara keseluruhan dan dilakukan simulasi hubung singkat, maka arus hubung singkat dapat diketahui. Demikian juga nilai *transient* pada saat masuknya komponen tambahan seperti *capacitor bank* jika di-*setting* masuk tidak bersamaan dengan beban. Hal ini juga dapat diamati dengan menggunakan rangkaian simulasi. Menggunakan rangkaian setara simulasi, maka diketahui nilai *setting* arus lebih pada OCR pada simulator dengan mempertimbangkan arus *transient* dan arus *startup* sekitar 500 A. Adapun waktu tunda untuk OCR simulasi adalah sebesar 0.02 detik atau mendekati satu perioda gelombang arusnya. Hal ini adalah sesuai dengan *setting* tunda untuk *instantaneous relay over current*.

**Komponen Circuit Breaker 1 kV.** Rangkaian circuit breaker pada simulasi ini didekati dengan menggunakan rangkaian switch yang

diserikan dengan resistor sebesar  $2 \times 10^{-5}$  ohm, kemudian kedua komponen tersebut diparalel dengan rangkaian seri  $R(Lq/R)C$  dengan masing-masing nilainya disetting sebesar 50 ohm,  $5 \times 10^{-8}$  mH, 1.33 ohm, dan  $2 \times 10^{-11}$   $\mu$ F. Selanjutnya komponen-komponen tersebut diparalel terhadap resistor nilai sebesar 3.9 M $\Omega$ . Komponen setara circuit breaker ini selanjutnya dapat diaktifkan oleh rele untuk memutus saluran di bawahnya jika OCR bekerja.

**Komponen Capacitor Bank.** Capacitor bank dipasang untuk mengkompensasi kebutuhan daya reaktif pada beban motor. Capacitor bank ini disediakan agar arus induktif (arus leading) mendekati nilai arus kapasitif (arus lagging) sehingga pada jaringan upstream arus induktif mengecil. Arus kapasitif ini untuk beban motor pada contoh ini adalah sekitar 250 A, pada capacitor bank dipasang mode bintang (Y) tidak di-ground-kan adalah sekitar 125000  $\mu$ F.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Simulasi dilakukan tanpa dan dengan pemasangan *capacitor bank* menggunakan parameter jaringan beban motor induksi. Simulasi juga dilakukan untuk kondisi seperti tersebut dengan menambahkan filter *shunt* pada motor dan kemudian diamati pengaruh tegangan *overshoot*-nya.

*Setting* waktu simulasi adalah pompa pada saat  $t=0$  dalam keadaan sudah menyala, kemudian pada saat  $t= 0.45$  detik motor penggerak pompa dimatikan dengan menutup (*close*) atau membuka (*open*) *circuit breaker*, hal ini dimaksudkan untuk mengetahui efek putusnya aliran ke motor pada kondisi normal. Pengamatan dilakukan pada tegangan saluran yang menuju motor, tegangan pada saluran, serta arus pada saluran distribusi.

Pengukuran tegangan dan arus beban (*load*) dimaksudkan untuk mengetahui kualitas arus dan tegangan pada komponen regulator tegangan (trafo regulator) pada kondisi jaringan normal dan ketika jaringan distribusi mendapat gangguan hubung singkat. Gangguan hubung singkat disimulasikan

dengan *short circuit* 3 fasa ke *ground*. *Short circuit* tersebut hanya dimaksudkan untuk menunjukkan terjadinya gangguan yang menyebabkan OCR bekerja dan memutuskan rangkaian *circuit breaker*, dan kemudian akibat dari pemutusan oleh OCR tersebut akan diamati sebagai kondisi adanya gangguan pada saluran yang dihubung singkat.

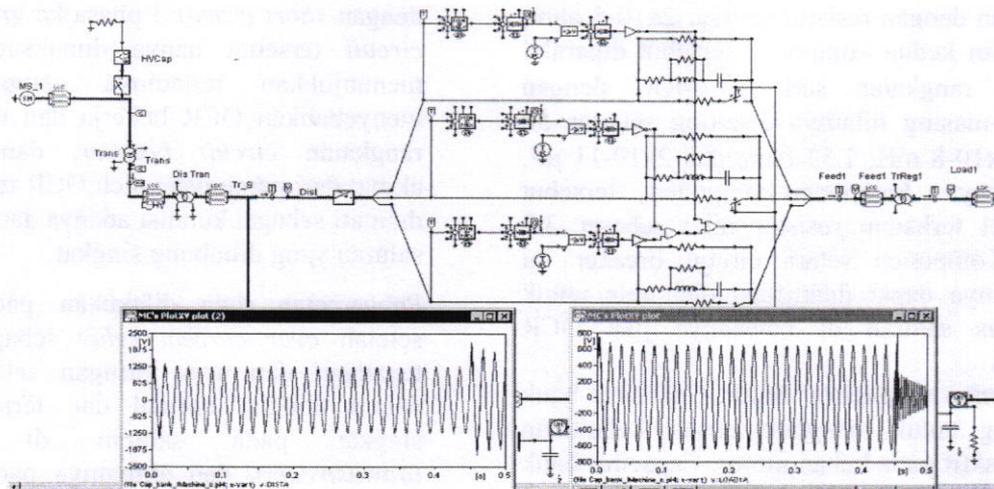
Pengamatan juga dilakukan pada jaringan setelah *over current relay* sebagai kualitas tegangan dan arus jaringan setelah beban, dalam kondisi normal dan terjadi hubung singkat pada saluran di bawahnya (*downstream*), dan akibatnya pada tegangan dan arus saluran *upstream*-nya. Dengan dilakukan pengamatan pada saluran distribusi ini diharapkan dapat diketahui akibat gangguan pada jaringan *downstream* dari *over current relay* sehingga relai menutup dan akibatnya pada saluran di atasnya, yakni karena penutupan relai tersebut pada kualitas tegangan dan arus pada kondisi *transient*, menuju kepada kestabilan yang baru.

### Studi Kasus Beban tanpa Capacitor Bank.

Kasus ini ditampilkan untuk menunjukkan simulasi jaringan dan hasil simulasi pengukuran pada jaringan tersebut pada kondisi normal tanpa gangguan, dan juga jika gangguan hubung singkat terjadi pada jaringan beban yang diamati.

#### 1) Kondisi Normal tanpa Capacitor bank

Rangkaian simulasi pada kondisi tanpa gangguan dari saluran daya untuk pompa dengan *over current relay* diantara regulator tegangan dan trafo distribusi. Rangkaian simulasi ini tanpa dipasang *capacitor bank* sebagai kompensator arus reaktif motor. Simulasi dimulai dengan penyalaan pada saat  $t = 0$  dan diputus dengan *circuit breaker* yang di-*setting* pada detik ke 0.45 Rangkaian dan hasil simulasi diperlihatkan pada Gambar 2. Rangkaian pengganti circuit breaker dengan OCR diperlihatkan pada gambar tersebut.

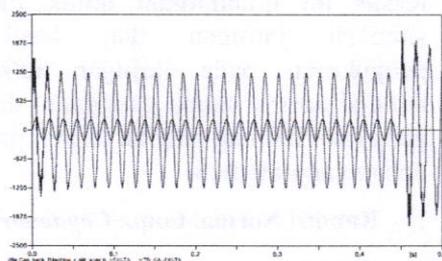


**Gambar 2. Simulasi Rangkaian Saluran Distribusi dengan Beban Motor Tanpa *Capacitor Bank***

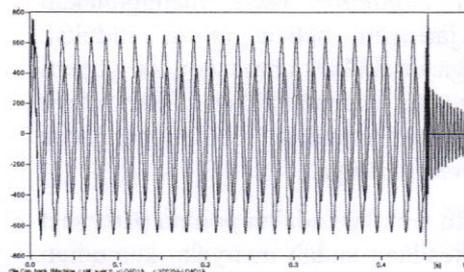
Tegangan dan arus yang mengalir pada motor pada kondisi normal Gambar 3. b), dan tegangan dan arus pada saluran distribusi setelah *over current relay* dan *circuit breaker* tanpa *capacitor bank*.

Terlihat bahwa tegangan beban masih tersisa, walaupun rangkaian sudah diputus

dari jaringan distribusi dan arus dari jaringan ke beban telah menjadi nol, dengan frekuensi yang lebih tinggi dan menurun dengan cepat menuju nol ketika pemutus bekerja pada pengamatan 0.45 detik.



a) Tegangan dan arus pada saluran distribusi



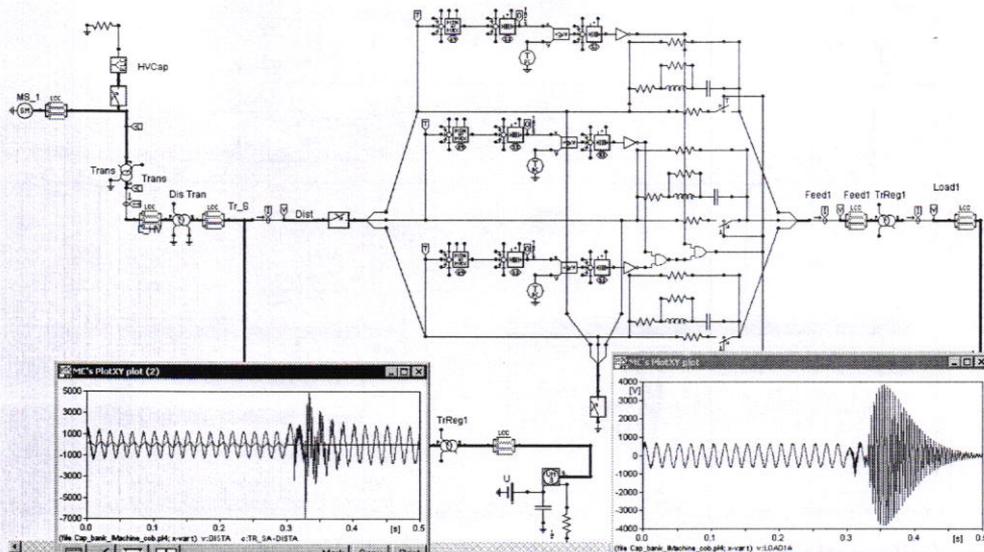
b) Tegangan dan arus beban tanpa kapasitor bank

**Gambar 3. Sinyal pada Saluran Distribusi (a) dan pada Motor (b) Tanpa Komponen Perbaikan Faktor Daya-*Capacitor Bank***

Juga diperlihatkan pada Gambar 3. a) bahwa arus mendahului (*leading*) terhadap tegangan, sehingga untuk memperbaiki kualitas daya dapat dilakukan pemasangan *capacitor bank* sebagai arus *lagging*-nya.

### 2) *Short Circuit* tanpa *Capacitor bank*

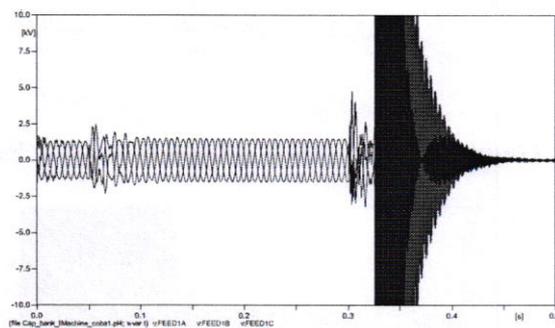
Simulasi untuk terjadinya *short circuit* pada saluran beban dilakukan pada waktu pengamatan 0.3 detik.



**Gambar 4. Saluran Distribusi Motor Jika Terjadi *Short Circuit* Tanpa *Capacitor Bank***

Terlihat bahwa terjadi pada saluran distribusi *upstream* dari pemutus (OCR), sesaat sebelum *relay over current* bekerja karena adanya *short circuit* pada saluran di atas OCR disimulasikan pada waktu 0.3 detik, terjadi lonjakan tegangan transisi sampai pada kondisi stabil yang baru, yakni menuju ke tegangan nol atau beresilasi teredam. Pada saat pemutus

yang dikendalikan oleh OCR mulai bekerja, terjadi transisi tegangan pada saluran *downstream* dari pemutus saluran (OCR) dan timbul *over shoot* tegangan, dengan frekuensi yang berbeda dari frekuensi jala-jala, untuk kemudian menghilang sekitar 0.2 detik dari terjadinya *short circuits*.

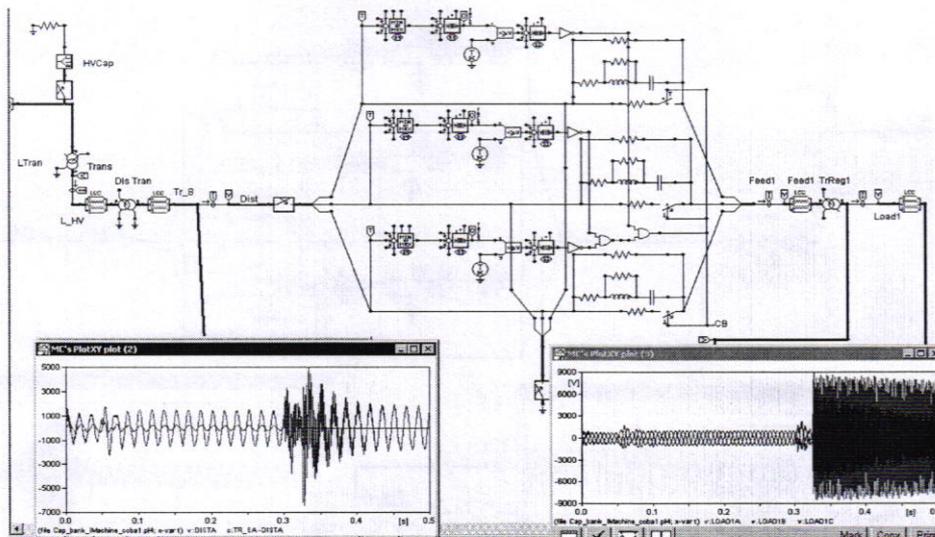


**Gambar 5. Sinyal Tegangan *Upstream* Trafo Regulator Jika Terjadi *Short Circuit***

Pengecekan tegangan setelah pemutusan oleh OCR untuk batas tegangan *withstand* 10 kV pada sisi primer trafo regulator adalah seperti Gambar 5. Pada simulasi hasil pengukuran tersebut terlihat bahwa terjadi *overshoot* tegangan yang melebihi batas *withstand voltage*-nya selama sekitar 0.05 detik sebelum akhirnya menurun menuju nol.

### **Studi dengan Pemasangan *Capacitor Bank***

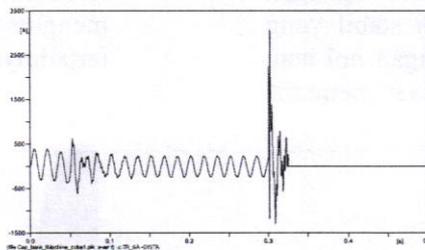
Memakai kapasitor senilai 525000  $\mu\text{F}$  dengan sambungan bintang tanpa pentanahan, dapat meningkatkan faktor daya dari *upstream capacitor bank* ke jaringan distribusi, nilainya menjadi mendekati 1. Hasil simulasi *short circuit* untuk tegangan dan arus pada saluran *downstream* dari sambungan kapasitor tersebut diperlihatkan oleh Gambar 6.



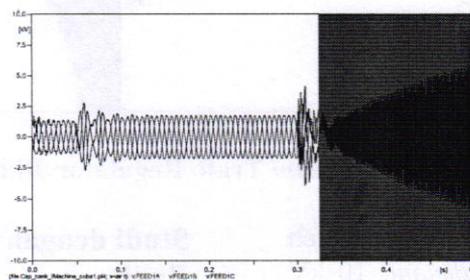
**Gambar 6. Penambahan Kapasitor untuk Perbaikan Faktor Daya dibawah Trafo Regulator**

Pemasangan kapasitor ini dapat menaikkan faktor daya, sehingga arus *upstream* kapasitor mengecil ketika kapasitor aktif, diperlihatkan pada Gambar 7. Pada waktu 0.3 detik dilakukan simulasi *short circuit* sehingga terjadi lonjakan arus yang menyebabkan OCR

bekerja dan memutuskan jaringan. Dari simulasi terlihat bahwa batas tegangan *withstand* sebesar 10 kV, terlampaui dengan waktu lebih dari 0,15 detik, dengan frekuensi osilasi tegangan yang relatif tinggi yakni sebesar 32 x frekuensi jala-jalanya.



**Gambar 7. Arus Downstream Capacitor Bank**



**Gambar 8. Tegangan pada Downstream Capacitor Bank**

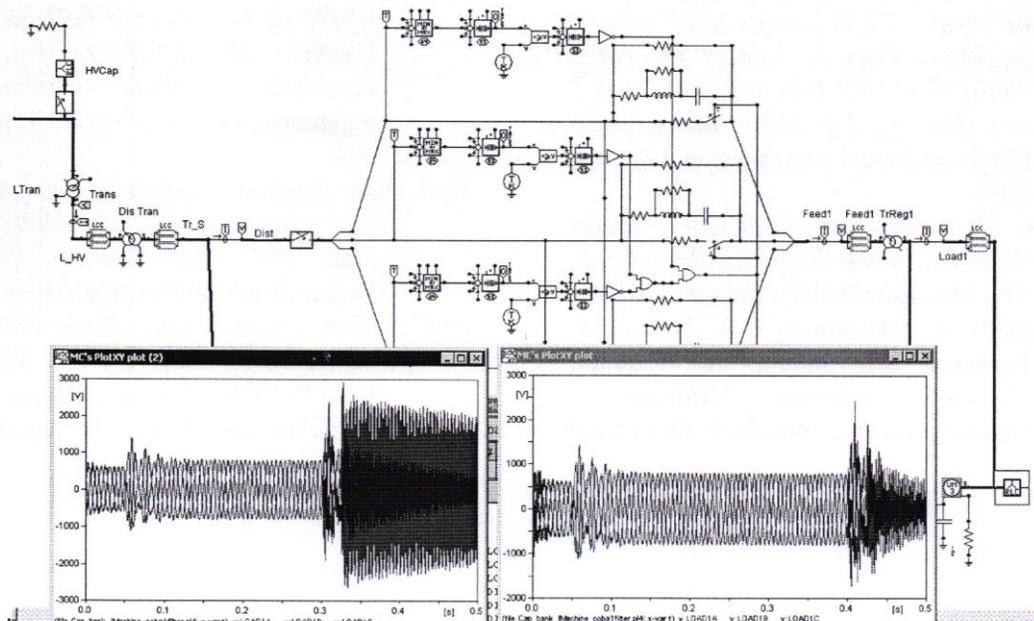
Pemutusan jaringan ini, pada kasus pemasangan *capacitor bank* mendekati komponen beban, akan menyebabkan tegangan *downstream* kapasitor mengalami kenaikan dan transisi waktu penurunan tegangan relatif lama (lihat Gambar 6). Hal ini berbeda dengan ketika tidak dipasang *capacitor bank* (lihat Gambar 4).

### **Pengaruh Filter Shunt Motor pada Perbaikan Faktor Daya**

Pemasangan *capacitor bank* sebagai perangkat perbaikan faktor daya ternyata dapat mengakibatkan terjadinya *over voltage* melebihi tegangan *withstand* komponen pada saluran *downstream capacitor bank*, yakni pada kondisi adanya gangguan yang menyebabkan relai bekerja. Tegangan lebih ini

dikhawatirkan akan merusak komponen karena melebihi batas ketahanan-*withstand* yang dirancang oleh pabrikan. Untuk itu, perlu dilakukan upaya untuk melakukan perbaikan faktor daya tanpa adanya nilai *overshoot* tegangan tersebut. Untuk menghilangkan “tegangan mengambang” pada motor karena terputusnya saluran karena aktifnya relai,

dapat dilakukan dengan memasang komponen filter lolos rendah yang dipasang *shunt* dengan motor. Gambar 9 adalah hasil simulasi pemasangan filter *shunt* kapasitor (masing-masing bernilai 2000  $\mu\text{F}$ ) motor yang sebelumnya telah dipasang *capacitor bank* untuk memperbaiki faktor daya jaringan.



**Gambar 9. Perubahan Tegangan pada *Downstream* Trafo Regulator, Sebelum dan Setelah Motor Dipasang *Shunt* Kapasitor sebagai Filter Tegangan**

Terlihat dari Gambar 9 bahwa dengan memasang filter *shunt* kapasitor maka akan dapat menurunkan “tegangan mengambang” pada *downstream* trafo regulator. “Tegangan menambang” dengan frekuensi tinggi ini akan menurun dengan cepat sehingga dapat diharapkan kurang dari tegangan *withstand*-nya.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan beberapa hal-hal sebagai berikut:

1. Pemasangan *capacitor bank* sebagai komponen perbaikan kualitas daya untuk motor-motor besar mengakibatkan batas tegangan *withstand* sebesar 10 kV terlampaui dengan waktu lebih dari 0,15 detik, dengan frekuensi osilasi tegangan yang relative tinggi yakni sebesar 32 x frekuensi jala-jalanya.
2. Pemasangan *filter shunt* kapasitor dapat mengurangi dampak tegangan *withstand* yang terlampaui sebesar 70% selama 0,15 detik dengan aktifnya OCR pada jaringan beban tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- José Gonçalves, José Baptista, Luís Neves and Filipe Tadeu Oliveira, ‘*Simulation of the effect of voltage transients on an induction motor with ATP/EMTP*’, International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ’09), Valencia (Spain), 15th to 17th April, 2009
- Caroline Vollet, Benoit de Metz-Noblat, *Vacuum Circuit Breaker Model : Application Case to Motors Switching*, International Conference on Power Systems Transients (IPST’07) in Lyon, France on June 4-7, 2007
- CEI-IEC, “IEC 60034-15 Rotating Electric Machine, part 15: Impulse Voltage withstand levels of rotating a.c. machinewith form-wound stator coils”, Bureau Central de Commission Electrotechnique Internationale, Geneva, 1995

- IEC Publication 60076-3, "IEC 60076-3 Power Transformer Part 3: Insulation levels, dielectric tests and external clearances in air", International Electrotechnical Commission, Geneva, 2000
- CEI-IEC, 'IEC 60502-1 Power cables with extruded insulation and their accessories for rated voltages from 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) up to 30 kV ( $U_m = 36$  kV) . Part 1: Cables for rated voltages of 1 kV ( $U_m = 1,2$  kV) and 3 kV ( $U_m = 3,6$  kV)', International Electrotechnical Commission, Geneva, 2004
- J.C Das, *Transients in Electrical Systems Analysis, Recognition, and Mitigation*, The Mc Graw Hill Companies, 2010
- A. Borghetti, F. Napolitano, C.A. Nucci, M. Paolone, M. Sultan, N. Tripaldi, *Transient Recovery Voltages in Vacuum Circuit Breakers Generated by the Interruption of Inrush Currents of Large Motors*, International Conference on Power Systems Transients (IPST2011) in Delft, the Netherlands June 14-17, 2011
- Juan A. Martínez-Velasco, Jacinto Martín-Arnedo, Ferley Castro-Aranda, *MODELING PROTECTIVE DEVICES FOR DISTRIBUTION SYSTEMS WITH DISTRIBUTED GENERATION USING AN EMTP-TYPE TOOL*, *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 18 N° 2, 2010, pp. 258-273
- Thai Dang Nguyen, *Exploring novel methods for power quality disturbance and fault type classification*, ProQuest Dissertations and Theses; 2008
- EMTP User Group, 'Rule Book Alternative transients Program', European EMTP-ATP Users Group e.V., (EEUG) Association in Germany, 1985