

# **STUDI PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN INDUKTIF DENGAN KOMPENSATOR REAKTIF SERI MENGUNAKAN SAKELAR PEMULIH ENERGI MAGNETIK**

*Fauzan<sup>1</sup>, F. Danang Wijaya<sup>2</sup>, Bambang Sutopo<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Elektro FT UGM*

*Jln. Grafika 2 Yogyakarta 55281 INDONESIA*

*<sup>1</sup>[Ozan.pnl@gmail.com](mailto:Ozan.pnl@gmail.com), <sup>2</sup>[fdwijaya2000@gmail.com](mailto:fdwijaya2000@gmail.com),*

*<sup>3</sup>[bsutopo1910@yahoo.com](mailto:bsutopo1910@yahoo.com)*

## **INTISARI**

*Today, most of the load of electrical power system is inductive that has low power factor so that the necessary equipment that can compensate the inductive reactance produced by the load. One of the equipment that can be used to compensate the inductive reactance is “SAKELAR PEMULIH ENERGI MAGNETIK” / MERS (Magnetic Energy Recovery Switch) which work to regulate the set time of charging and discharging of capacitor by controlling the ignition angle shift of mosfet gate on the connecting structure of magnetit energy recovery switch. MERS is installed between the voltage source and a single phase induction motor as the load so that it can set the supply voltage to the load. MERS which is used to repair the power factor and it can affect the terminal voltage on the induction motor that can affect the changes in rotation speed of induction motor. Reactance value capacitor will be high when capacitance value of the capacitor is low, reactance value of MERS will be small when the angle shift of mosfet gate bigger. When the reactance valve of MERS the voltage waveform in the capacitor is not-*

*continuous, when reactance value of MERS is equal with reactance value of capacitor its waveform is balance, reactance value of capacitor is smaller than reactance value of MERS its voltage waveform is dc-offset. The result of study showed that MERS can repair the power factor to 0,999 and it affects the changes in the terminal voltage of inductive load so tha it effect on the speed of rotation of single phrase induction motor.*

***Kata kunci - reaktansi, MERS, kapasitor***

## **A. PENDAHULUAN**

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat utama bagi penduduk dan industri, baik yang berada di pedesaan maupun yang di perkotaan. Tanpa energi listrik sulit rasanya bagi penduduk maupun industri menjalankan aktifitasnya.

Oleh sebab itu penyediaan daya listrik merupakan suatu hal sangat penting dalam suatu industri. Berfungsisebagai pembangkitan dan penyaluran daya listrik guna memenuhi kebutuhan listrik untuk mengoperasikan motor-motor listrik sebagai penunjang aktifitas kerja di industri tersebut.

Sejalan dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi yang sudah maju, tidak begitu susah untuk memperoleh sistem penyaluran daya listrik yang handal dan efektif. Didukung sumber daya manusia (SDM) yang berkualitas tentunya suatu perusahaan akan dengan mudah memperoleh kehandalan suatu sistem yang dibutuhkan untuk mendukung aktivitas kerja yang optimal.

Umumnya beban di suatu industri kebanyakan bersifat induktif yang mempunyai faktor daya rendah sehingga menyebabkan daya reaktif meningkat dan menyebabkan arus bebanyang tinggi sehingga perlu adanya suatu peralatan untuk mengatasi hal tersebut.

Peralatan yang digunakan untuk memperbaiki faktor daya adalah kempensator reaktif seri yang menggunakan sakelar pemulih

energi magnetik yang sering juga disebut *MERS*(*Magnetic Energy Recovery Swicth*). Sakelar pemulih energi magnetik ini dipasang di antara sumber tegangan listrik dengan beban.

Peralatan ini diharapkan dapat mengatur tegangan beban dan mengatasi drop tegangan yang terjadi di saluran sehingga tegangan yang dikirim oleh sumber penyedia daya listrik dapat seluruhnya diterima oleh beban.

## **B. DASAR TEORI**

### **B.1. Tinjauan Pustaka**

Faktor daya (PF) adalah merupakan perbandingan antara daya aktif (P) satuannya watt (W) dengan daya semu (S) satuannya volt ampere (VA). Daya aktif merupakan besarnya daya yang digunakan oleh peralatan listrik untuk dapat beroperasi secara optimal. Sedangkan daya semu merupakan besarnya daya yang ditransmisikan oleh PLN (Perusahaan Listrik Negara), dimana besarnya daya semu merupakan penjumlahan trigonometri daya aktif dengan daya reaktif, satuan daya reaktif adalah volt ampere reaktif (VAR).

Memperbaiki faktor daya adalah memperbaiki perbedaan besar sudut daya aktif dengan daya semu yang digunakan dalam rangkaian AC atau perbedaan sudut phasa antara tegangan (V) dan arus (I) yang biasa dinyatakan dalam  $\cos \phi$ .

$$\begin{aligned}\text{Faktor Daya} &= \text{Daya Aktif (P)} / \text{Daya Semu (S)} \quad (1) \\ &= \text{Watt} / \text{Volt Ampere} \\ &= V.I \cos \phi / V.I \\ &= \cos \phi\end{aligned}$$

Faktor daya mempunyai nilai *range* antara 0 – 1 dan dapat juga dinyatakan dalam persen. Faktor daya yang sangat ideal adalah apabila nilai faktor dayanya sangat mendekati satu.

## B.2. Landasan teori

### B.2.1. Beban-beban sistem tenaga listrik

Beban sistem tenaga terdiri dari beberapa jenis diantaranya adalah

1. Beban Resitif
2. Beban Resitif Induktif (RL)
3. Beban Resitif Kapasitif (RC)
4. Beban Resitif Induktif dan Kapasitif (RLC)

#### B.2.1.1. Beban Resitif

Beban resitif murni adalah beban yang tidak mempunyai perbedaan fasa antara arus dan tegangan atau dengan kata lain mempunyai  $\cos\phi = 1$ . Beban resitif murni biasa terdapat pada pemanas listrik ataupun pada lampu pijar.

Rumus besar daya pada beban resistif adalah:

$$P = V \times I \quad (2)$$

dengan:

P = daya (watt)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

#### B.2.1.2. Beban Resitif Induktif (RL)

Beban resitif induktif pada sistem tenaga listrik biasanya terdiri dari motor-motor listrik, lampu TL, pemanas listrik jenis induksi (*induction heating*), transformator dan beban-beban lainnya yang umumnya menghasilkan reaktansi induktif. Beban induktif mempunyai  $\cos\phi$  *lagging* (arus tertinggal daripada tegangan).

Beban resistif induktif mempunyai faktor daya yang rendah sehingga dapat menyebabkan tegangan dan arus

berlawanan fasa sehingga menghasilkan daya reaktif yang besar dan menghasilkan daya watt yang kecil.

### B.2.1.3. Beban Resitif Kapasitif (RC)

Beban resitif kapasitif adalah beban yang mengandung suatu rangkaian hambatan dan kapasitor.

Beban R-C mempunyai faktor daya antara 0–1 “*leading*”. Beban R-C digunakan untuk mengkompensasi daya reaktansi induktif yang ditimbulkan oleh beban- beban induktif sehingga reaktansi induktif menjadi kecil.

Pada beban R-C bentuk gelombang arus mendahului gelombang tegangan sebesar  $\phi^0$ . Untuk menghitung besar reaktansi kapasitif adalah:

$$X_C = 1 / 2\pi f.C \quad (3)$$

dengan:  $X_C$  = Reaktansi kapasitif  
f = Frekuensi  
C = Kapasitansi kapasitor

### B.2.1.4. Beban Resitif Induktif dan Kapasitif (RLC)

Rangkaian bolak-balik yang mempunyai beban resitif murni dipasang seri dengan induktor dan kapasitor akan menghasilkan tambahan energi listrik yang lebih besar, tetapi rangkaian R-L-C seri ini hanya dapat dipergunakan untuk memperbesar daya listrik yang terbatas. Arus maksimum mempunyai nilai fasa yang sama pada setiap komponen.

Oleh karena arus maksimum yang mengalir dalam setiap komponen besarnya sama maka hubungan antara tegangan maksimum dan arus maksimum memenuhi persamaan yaitu:

$$V = I\sqrt{(R)^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (4)$$

dengan,  $V$  = tegangan maksimum (volt)  
 $R$  = hambatan (ohm)  
 $(X_L - X_C)$  = reaktansi total (ohm)

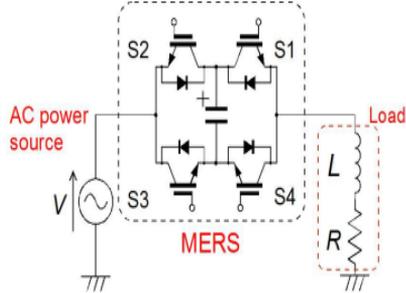
Beda fasa antara tegangan dan kuat arus dapat ditentukan sebagai berikut:

$$\tan \phi = \quad = \quad (5)$$

Apabila  $X_L > X_C$  maka sudut phasanya bernilai positif adalah arus tertinggal dari tegangan ataupun  $\cos \phi$  “lagging”.  $X_L < X_C$  maka sudut phasanya bernilai negatif artinya arus mendahului tegangan ataupun  $\cos \phi$  “leading”. Ketika  $X_L = X_C$  artinya arus dan tegangan mempunyai fasa yang sama ataupun sephasa sedangkan rangkaian bersifat resitif dan dikatakan telah terjadi resonansi.

### B.2.2. Sakelar Pemulih Energi Magnetik (*MERS*)

Prinsip kerja dari sakelar pemulih energi magnetik ini adalah menyerap energi secara dinamis untuk mengisi muatan kapasitor dan melepaskan kembali energi magnetik untuk beban induktif. Gambar 2.1 menunjukkan dasar tata letak dan penempatan perangkat *MERS*. Rangkaian *MERS* hampir sama dengan penyearah gelombang penuh dengan dioda jembatan terdiri dari sebuah kapasitor dihubungkan ke empat buah dioda dan mosfet. Dalam *MERS* pengisian dan pengosongan muatan kapasitor dikendalikan oleh mosfet sebagai sakelar yang berpasangan yang terdiri dari dua buah sakelar yang letaknya berlawanan diagonal satu sama lainnya, dengan satu pasang dinyalakan (*on*) dan yang lainnya dipadamkan (*off*).

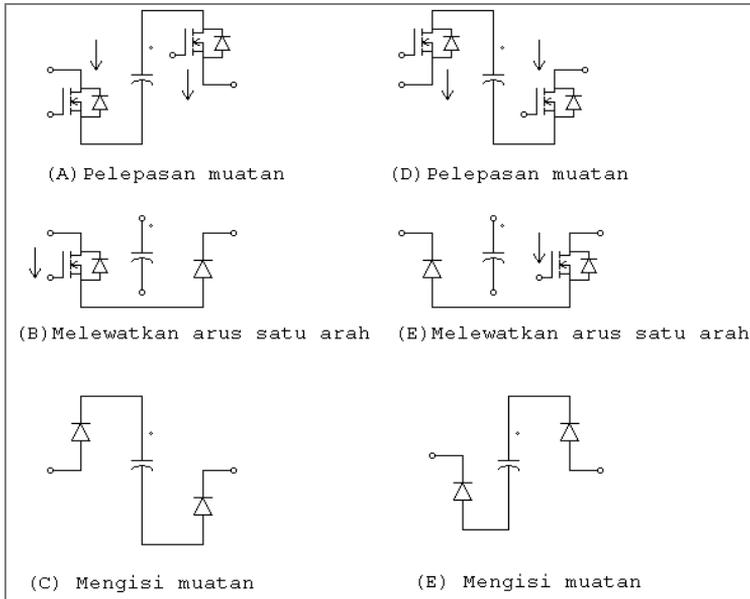


Gambar1 Dasar dan konfigurasi rangkaian *MERS*

Gambar 2.a memperlihatkan pada setengah siklus pertama kapasitor melepaskan muatan melalui sakelar S1 dan sakelar S3, gambar 2.b pada periode kapasitor melepaskan muatan secara penuh, tegangan dan arus pada kapasitor menjadi nol, arus dilewatkan dari sakelar S3 ke dioda D4 kearah yang lebih negatif dan gambar 2.c pada beberapa saat sebelum S2 dan S4 bekerja kapasitor mengisi muatan melalui dioda D2 dan dioda D4.

Gambar 2.d pada setengah siklus kedua kapasitor melepaskan muatan melalui sakelar S2 dan sakelar S4, gambar 2.e pada periode kapasitor melepaskan muatan secara penuh, tegangan dan arus pada kapasitor menjadi nol, arus dilewatkan dari sakelar S4 ke dioda D3 kearah yang lebih negatif dan gambar 2.f pada beberapa saat sebelum S1 dan S3 bekerja kapasitor mengisi muatan dioda D1 dan dioda D3.

Ketika kapasitor telah mengisimuatan listrik secara penuh sakelar S2 dan sakelar S4 akan mulai menggantikannya, karena dioda D2 dan D4 mendapatkan bias maju oleh tegangan kapasitor. Kapasitor tidak akan mulai melepaskan muatansampai sakelar S1 dan sakelar S3 dipadamkan atau terjadi perubahan arah arus.



Gambar. 2 Perbedaan arah arus pada saat pengisian dan pengosongan muatan di kapasitor

Persamaan hubungan antara sudut penyalaaan, beban, frekuensi sumber ( $f$ ), dan nilai  $C$  MERS optimum pada beban induktif diberikan oleh persamaan-persamaan berikut:

$$Z = R + jXL \quad (6)$$

Dengan,  $Z$  = impedansi (ohm)  
 $R$  = hambatan (ohm)  
 $jXL$  = imajiner reaktansi induktif ( ohm)

Nilai  $C$  awal dapat dihitung dengan menganggap rangkaian MERS pada *mode balance* atau pada keadaan resonansi dengan nilai  $XC/XL = 1$ .

$$C = 1/2\pi.f.X_c = 1/2\pi.f.X_L \quad (7)$$

Berdasarkan diagram vektor dengan menggunakan aturan sinus dapat diketahui:

$$\beta + 90^0 + \phi_{\text{beban}} = 180^0$$

$$\beta = 90^\circ - \phi_{\text{beban}} \quad (8)$$

Dengan,  $\beta$  = sudut antara  $V_{\text{beban}}$  dan  $V_{\text{mers}}$

$\Phi$  = sudut faktor daya beban

dan  $\gamma$  (sudut antara  $V_s$  dengan  $V_{\text{mers}}$ ) yang dapat dipe-roleh dari:

$$\gamma = \arcsin \left( \frac{V_{\text{beban}}}{V_s} \times \sin \beta \right) \quad (9)$$

Kemudian  $\alpha$  (sudut penyalaan) dapat ditentukan dengan persamaan:

$$\alpha = \arctan \left( \frac{V_{\text{beban}}}{V_s} \times \sin \beta \right) \quad (10)$$

(Olav J. Fonstelién, 2008)

Langkah selanjutnya menghitung tegangan MERS dan besar kapasitansi optimum:

$$V_{\text{mers}} = V_s \times \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} \quad (11)$$

Dengan,  $V_{\text{mers}}$  = tegangan mers (volt)

$V_s$  = Tegangan sumber pada saat mode balance

$\sin \alpha$  = sudut penyalaan

$\sin \beta$  = sudut antara  $V_{\text{beban}}$  dan  $V_{\text{mers}}$

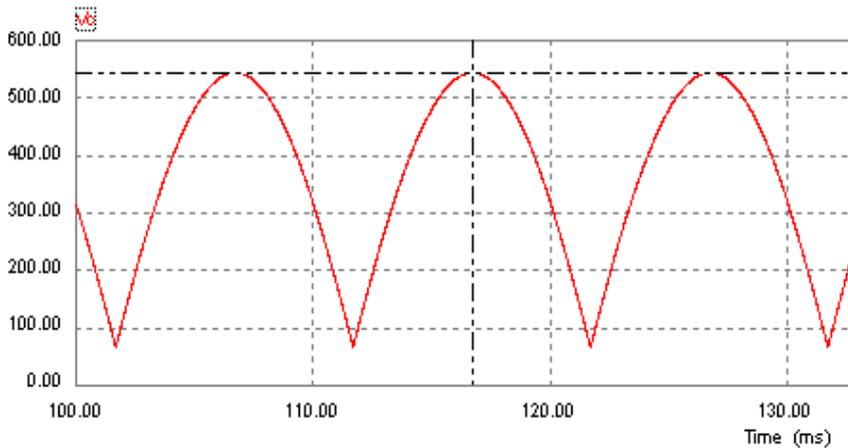
(Olav J. Fonstelién, 2008)

Dengan demikian dapat dihitung nilai  $C_{\text{mers}}$  optimum sebagai berikut:

$$C_{\text{mers}} = \frac{Q}{V_{\text{mers}}} = \frac{I_{\text{beban}}}{V_{\text{mers}}} \times \frac{1}{\omega} \quad (12)$$

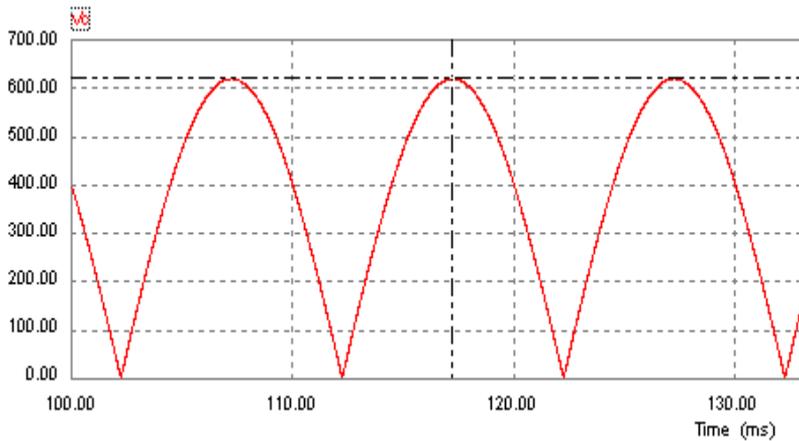
(Olav J. Fonstelién, 2008)

Ada tiga mode operasi yang dapat terjadi yaitu mode *operasidc-offset*, *balance* dan *not-continous*. Tiap mode operasi dapat diketahui dengan melihat gelombang tegangan antar ujung kapasitor ( $V_c$ ).



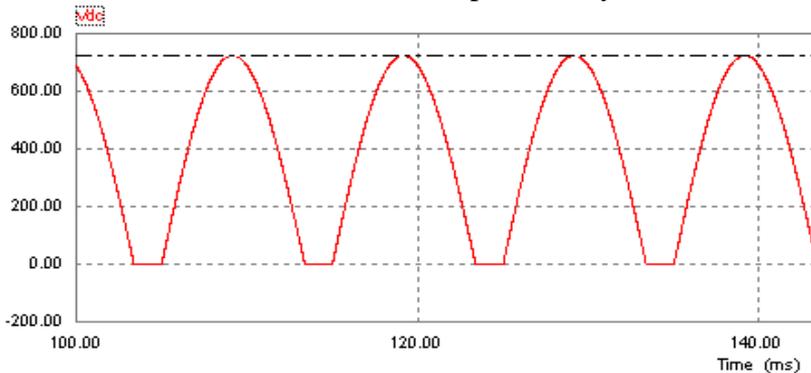
Gambar. 3 Bentuk gelombang tegangan kapasitor ( $V_c$ ) saat mode dc-offset

Pada mode *dc-offset*, tegangan dc antar ujung kapasitor memiliki nilai *offset*. Hal ini dikarenakan waktu pengisian dan pengosongan kapasitor lebih lama dari periode pensakelaran atau periode setengah gelombang tegangan fundamental, sehingga saat muatan yang terdapat pada kapasitor belum kosong sepenuhnya, kapasitor sudah mulai melakukan pengisian muatan lagi. Maka kapasitor masih menyimpan energi dalam bentuk tegangan *dc-offset* tersebut.



Gambar. 4 Bentuk gelombang tegangan kapasitor ( $V_c$ ) saat mode balance

Mode operasi *balance* terjadi apabila waktu pengisian dan pengosongan kapasitor sama dengan periode pensakelaran atau periode setengah gelombang fundamental. Pada mode ini, energi yang disimpan oleh kapasitor dalam bentuk tegangan akan tersalurkan seluruhnya sesuai batas maksimum berdasarkan nilai kapasitansinya.



Gambar. 5 Bentuk gelombang tegangan kapasitor ( $V_c$ ) saat mode not-continuous

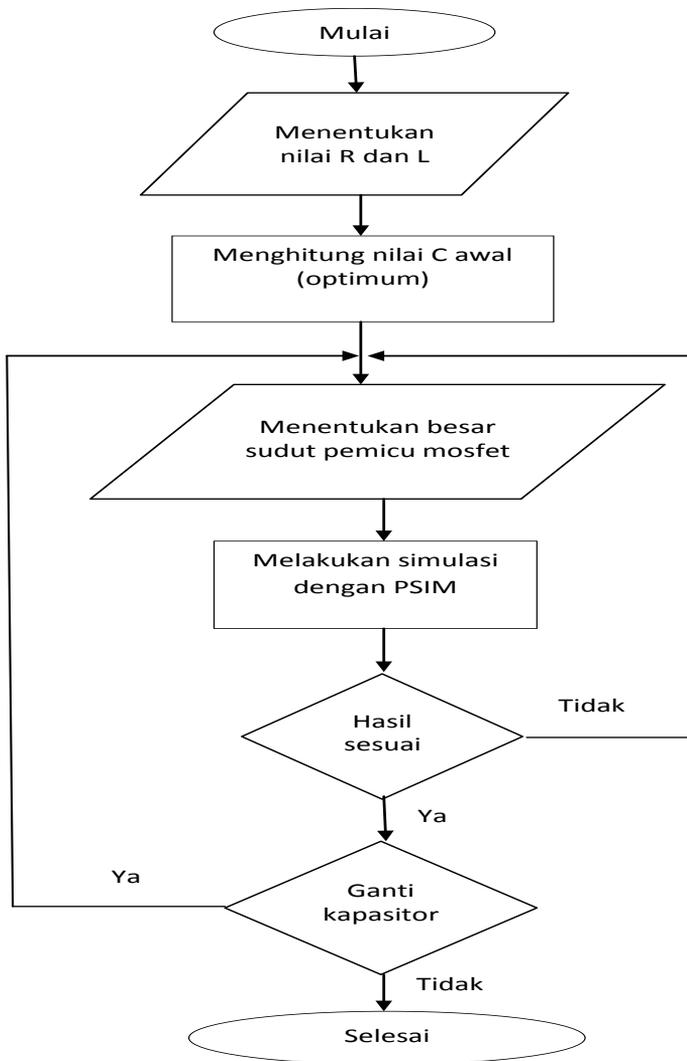
Pada mode operasi *not-continuous* waktu pengisian dan pengosongan kapasitor lebih cepat dari periode pensakelaran atau periode setengah gelombang tegangan fundamental. Maka kapasitor sempat tidak bermuatan untuk sesaat. Sehingga energi dalam bentuk tegangan yang disimpan oleh kapasitor berkurang dari batas maksimum yang mampu ditampung oleh kapasitor.

### **C. METODELOGI PENELITIAN**

Langkah-langkah penelitian pengujian dengan menggunakan simulasi PSIM 9.0.3.400 diilustrasikan dengan *flowchart* seperti pada gambar 3.

Sebelum melakukan simulasi terlebih dahulu menentukan parameter beban yang akan digunakan dalam melakukan penelitian. Parameter beban diketahui dengan mengukur variabel pada beban menggunakan sumber tegangan satu fasa dan memakai alat ukur.

Setelah melakukan pengukuran data awal, dilakukan perhitungan untuk mengetahui data-data yang belum terukur dengan menggunakan alat ukur.



Gambar 6. Tahapan pengujian dengan simulasi

## D. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Penelitian dilakukan menggunakan sumber tegangan satu fasa PLN dengan memakai motor induksi satu fasa (kipas CPU) sebagai beban induktif. Pada rangkaian *MERS* penulis menggunakan mosfet tipe N IRF820 Daya 80 watt,  $V_{DS}$  500 volt,  $R_{DS}$  maksimum 3 ohm dengan arus  $I_D$  pada suhu  $25^0 = 4$  Ampere dan pada suhu  $100^0 = 2,5$  Ampere ( jelasnya lihat *data sheet*)

### D.1. Menentukan nilai Resistor (R), Induktor dan Kapasitor (C)

D.1.1. Nilai resistor (R) dan Induktor (L) dapat ditentukan dengan mengetahui parameter-parameter pada beban induktif adalah:

$$V_s = 225 \text{ Volt}$$

$$I_s = 120,70 \text{ mA} = 0,1207 \text{ Ampere}$$

$$\cos \varphi = 0,802 = 36,68^0$$

Besaran  $V_s$ ,  $I_s$  dan  $\cos \varphi$  hasil pengukuran pada objek beban.

$$\begin{aligned} Z &= \angle 36,68^0 \\ &= 1864,13 \angle 36,68^0 \\ Z &= 1495 + j1113,53 \text{ ohm} \\ Z &= R + jXL \\ Z &= 1495 + 1113,53 \text{ ohm} \\ XL &= 1113,53 \text{ ohm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} XL &= 2\pi f L \\ 1113,53 &= 2 \times 3,14 \times 50 \times L \\ 314 L &= 1113,53 \end{aligned}$$

$$L =$$

$$L = 3,546 \text{ henry}$$

#### D.1.1.1 Menentukan nilai C awal

Berdasarkan persamaan (7) nilai C awal ditentukan dengan menganggap rangkaian *mers* pada mode balance, rangkaian dalam keadaan resonan  $X_c/X_L = 1$ .

$$\begin{aligned}C &= 1/2\pi.f.X_c = 1/2\pi.f.X_L \\ &= 1/(2.3,14.50.1113,53) \\ &= 1/349648,42 \\ &= 2,86 \times 10^{-6} \text{ F} \\ &= 2,86 \mu\text{F}\end{aligned}$$

D.1.1.2 Berdasarkan diagram vektor dan persamaan (8) kapasitas kapasitoyang optimal akan digunakandapat diketahui dengan menggunakan aturan sinus:

$$\begin{aligned}\beta + 90^\circ + \varphi_{\text{beban}} &= 180^\circ \rightarrow \beta = 90^\circ - \varphi_{\text{beban}} \\ \beta &= 90^\circ - 36,68^\circ = 53,32^\circ\end{aligned}$$

dan  $\gamma$  (sudut antara  $V_{\text{mers}}$  dengan  $V_{\text{sumber}}$ ),  $V_b$  diperoleh simulasi dengan menggunakan nilai C awal pada posisi *modebalance*, besar sudut dapat dihitung berdasarkan persamaan (9) adalah:

$$\begin{aligned}\gamma &= \arcsin\left(\frac{V_b}{V_s} \times \sin \beta\right) \\ &= \arcsin\left(\frac{280,062}{225} \times \sin 53,32\right) \\ &= \arcsin(1,245 \times 0,802) \\ &= \arcsin 0,99849 = 86,85^\circ\end{aligned}$$

Kemudian,  $\alpha$  (sudut antara  $V_{\text{sumber}}$  dan  $V_{\text{beban}}$ ) dapat ditentukan dengan persamaan (10) adalah :

$$\begin{aligned}\alpha &= 180^\circ - (\beta + \gamma) \\ &= 180^\circ - (53,32 + 86,85) \\ &= 180^\circ - 140,17^\circ\end{aligned}$$

$$\alpha = 39,83^{\circ}$$

Tegangan *MERS* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (11) adalah:

$$\begin{aligned} V_{\text{mers}} &= V_s \times \\ &= 225 \times \frac{\sin 39,83}{\sin 53,32} \\ &= 225 \times \frac{0,641}{0,802} \\ &= 225 \times 0,799 \\ &= 203,745 \text{ volt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan (12) kapasitansi kapasitor yang optimal dapat dihitung dengan rumus:

$$\begin{aligned} C_{\text{mers}} &= \frac{1}{2\pi f} \times \frac{0,1207}{225} \times \frac{\sin 53,32}{\sin 39,83} \\ &= 0,00318 \times 0,00054 \times 1,252 \\ &= 2,150 \times 10^{-6} \text{ F} \\ &= 2,150 \mu\text{F} \approx 2,2 \mu\text{F} \end{aligned}$$

## D.2. Pengukuran data awal objek penelitian

Data pengukuran awal sebelum menggunakan *MERS* didapatkan dengan cara melakukan pengukuran pada objek penelitian dengan tidak mengaktifkan rangkaian *switching MERS*. Data tersebut digunakan sebagai data awal untuk melakukan simulasi dengan menggunakan software Power Simulator 9.0.3.400

Tabel 1. Data tanpa menggunakan *MERS*

No	sumber		Kondisi awal					Kecepatan	THD			
	Vs		f	P	Q	S	Pf		I	Vb	VTHD	ITHD
	volt (rms)	volt(peak)	hz	watt	var	va		mA (rms)	volt (rms)	(rpm)	%	%
	225	318.198	50	21.78	16.316	27.158	0.802	120.7	225	17133	0	0

### D.3. Hasil simulasi dengan PSIM 9.0.3.400

Setelah menentukan parameter-parameter yang diperlukan dalam melakukan pengukuran dengan alat ukur yang tersedia pada rangkaian simulasi dengan PSIM 9.0.3.400.

Kemudian menentukan sudut penyalan gerbang mosfet dari 0 sampai 180 untuk gerbang mosfet Q2 dan Q4, sudut penyalan dari 180 sampai 360 untuk gerbang mosfet Q1 dan Q3. Pergeseran sudut penyalan pada gerbang mosfet dilakukan dengan cara menggeser sudut sebesar  $20^0$  pada setiap tahapan simulasi.

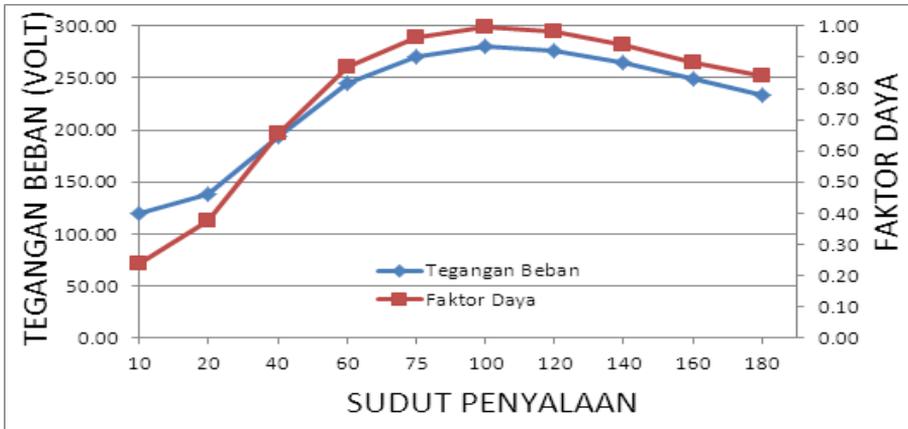
Nilai kapasitor ditentukan berdasar perhitungan nilai C optimum sebesar  $2,2 \mu\text{F}$

Tabel 2. Hasil simulasi dengan nilai  $C = 2,2 \mu\text{F}$

No	sumber		mers				Kondisi awal + mers								
	Vs		f	sudut	Vc	Vmers	Mode	P	Q	S	Pf	I	Vb	THD (%)	
	volt (rms)	volt(peak)	hz	(derajat)	vmaks	volt (rms)		watt	var	va		A (rms)	volt (rms)	VTHD	ITHD
	225	318.198	50	10	286.797	268.244	dc-offset	1.020	4.144	4.267	0.239	0.0358	119.197	2.119	0.851
	225	318.198	50	20	311.165	281.799	dc-offset	2.940	7.246	7.820	0.376	0.0564	138.656	1.005	0.404
	225	318.198	50	40	343.891	285.551	dc-offset	12.501	14.422	19.086	0.655	0.0983	194.157	0.390	0.157
	225	318.198	50	60	338.227	258.176	dc-offset	29.137	16.591	33.530	0.869	0.1365	245.638	0.143	0.057
	225	318.198	50	75	307.425	219.736	balance	37.938	10.154	39.273	0.966	0.1451	270.662	0.018	0.007
	225	318.198	50	100	256.744	170.986	not-continous	42.066	1.883	42.108	0.999	0.1501	280.534	0.073	0.033
	225	318.198	50	120	207.792	130.193	not-continous	40.282	7.294	40.937	0.984	0.1478	276.975	0.109	0.053
	225	318.198	50	140	152.159	88.350	not-continous	35.302	12.696	37.516	0.941	0.1415	265.128	0.118	0.059
	225	318.198	50	160	95.544	49.807	not-continous	29.213	15.449	33.046	0.884	0.1329	248.655	0.099	0.049
	225	318.198	50	180	45.112	47.818	not-continous	24.724	15.970	29.433	0.840	0.1258	233.967	0.055	0.026

Berdasarkan tabel 2 hasil menunjukkan pada sudut penyalan  $0^0$  sampai sudut  $75^0$  menunjukkan mode *dc-offset*, berarti reaktansi *MERS* lebih besar dari reaktansi kapasitor. Mode *balance* adalah reaktansi *MERS* sama dengan reaktansi kapasitor ditunjukkan pada sudut penyalan  $75^0$ , sedangkan pada sudut penyalan diatas  $75^0$  reaktansi *MERS* lebih kecil dari reaktansi kapasitor dan menunjukkan bentuk gelombang tegangan di kapasitor *Vc* dengan mode *not-continous*.

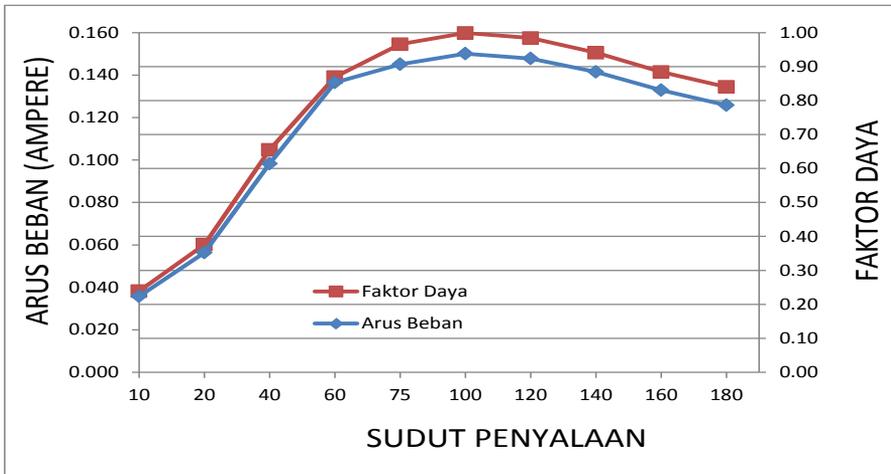
Besar daya reaktif yang dihasilkan setelah menggunakan *MERS* lebih kecil dari daya reaktif sebelum menggunakan *MERS*. Pada sudut penyalan  $100^0$  menunjukkan nilai  $\cos \varphi$  terbesar = 0,999 dengan besar daya reaktif = 1,883 VAR.



Gambar. 6 Perbandingan tegangan beban dan faktor daya terhadap sudut penyalaan dengan besar  $C = 2,2 \mu\text{F}$

Berdasarkan hasil simulasi pada tabel 1 dapat dibuat grafik perbandingan tegangan beban dan faktor daya terhadap sudut penyalaan gerbang mosfet. Gambar 6 menunjukkan hasil simulasi pada tabel 4.3 adalah tegangan beban terkecil 119,197 volt pada sudut penyalaan  $10^0$  dengan besar  $\cos \varphi = 0,239$  dan tegangan beban terbesar 280,534 volt pada sudut penyalaan  $100^0$  dengan besar  $\cos \varphi = 0,999$ .

Pada sudut penyalaan  $10^0$  sampai  $100^0$  rangkaian bersifat kapasitif yaitu reaktansi  $MERS$  lebih besar daripada reaktansi beban atau  $X_C > X_L$ . Pada saat rangkaian bersifat kapasitif dengan faktor daya leading tegangan beban bertambah secara linier seiring dengan bertambah faktor daya sampai nilai maksimum dan pada sudut penyalaan  $>100^0$  sampai  $180^0$  rangkaian bersifat induktif atau  $X_C < X_L$  dengan faktor daya lagging, tegangan beban berkurang seiring dengan mengecilnya nilai faktor daya.



Gambar. 7 Perbandingan arus beban dan faktor daya terhadap sudut penyalaan dengan besar  $C = 2,2 \mu\text{F}$

Gambar 7 menampilkan grafik perbandingan arus beban dan faktor daya terhadap sudut penyalaan berdasarkan tabel 2. Hasil simulasi menunjukkan arus beban terkecil adalah 0,0358 ampere pada sudut penyalaan  $10^0$  dengan besar  $\cos \phi = 0,239$ . Arus beban terbesar adalah 0,1501 ampere pada sudut penyalaan  $140^0$  dengan besar  $\cos \phi = 0,999$ .

Pada sudut penyalaan  $10^0$  sampai  $100^0$  rangkaian bersifat kapasitif yaitu reaktansi  $MERS$  lebih besar daripada reaktansi beban atau  $X_C > X_L$ . Pada saat rangkaian bersifat kapasitif dengan faktor daya leading arus beban bertambah secara linier seiring dengan bertambah faktor daya sampai nilai maksimum dan pada sudut penyalaan  $>100^0$  sampai  $180^0$  rangkaian bersifat induktif atau  $X_C < X_L$  dengan faktor daya lagging arus beban berkurang seiring dengan mengecilnya nilai faktor daya.

## E. KESIMPULAN

1. Pada saat nilai reaktansi kapasitor lebih besar dari nilai reaktansi  $MERS$  bentuk gelombang tegangan kapasitor adalah *modenot-*

*continous*, nilai reaktansi kapasitor sama dengan nilai reaktansi *MERS* adalah *modebalance* dan ketika nilai reaktansi kapasitor lebih kecil dari nilai reaktansi *MERS* bentuk gelombangnya adalah *modedc-offset*.

2. Nilai kapasitansi kapasitor mempengaruhi sudut penyalan gerbang mosfet rangkaian *MERS*, nilai  $C = 2,2 \mu\text{F}$  menghasilkan bentuk gelombang tegangan di C pada rangkaian *MERSmode balance* terjadi pada sudut penyalan  $75^0$ .
3. Besar daya reaktif yang dihasilkan setelah menggunakan *MERS* lebih kecil dari daya reaktif sebelum menggunakan *MERS*. Pada sudut penyalan  $100^0$  menunjukkan nilai  $\cos \varphi$  terbesar = 0,999 dengan besar daya reaktif = 1,883 VAR.
4. *MERS* dapat memperbaiki faktor daya dari 0,802 sebelum dipasang rangkaian *MERS* menjadi 0,999 setelah menggunakan rangkaian *MERS* dengan menggunakan kapasitor  $C = 2,2 \mu\text{F}$  pada sudut penyalan  $100^0$ .

## DAFTAR KEPUSTAKAAN

- Bambang Sutopo, F. Danang Wijaya, Supari, 2002 “*Perbaikan Faktor Daya Motor Induksi 3 Fasa Menggunakan Mikrokontroler 68HC11*” Universitas Gajah Mada, Yogyakarta
- Fonstelien, Olav J, 2008 “*Magnetic Energy Recovery Switch Implemented as Light Dimmer*”, Project Work (TET4520), Spring.
- Iwa Garniwa, 2010 “*Peningkatan kualitas daya listrik*”, Tridinamika News Volume 4. 11. 2010, www.

Tridinamika.co.id, Jakarta

- J. A. Wiik, T. Isobe, T. Takaku, F. D. Wijaya, K. Usuki, N. Arai, R. Shimada, 2007, "*Feasible series compensation applications using Magnetic Energy Recovery Switch (MERS)*", European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1-9, 2007.
- J. A. Wiik, F. D. Wijaya, R. Shimada, 2007, "*An Innovative Series Connected PowerFlow Controller, Magnetic Energy Recovery Switch (MERS)*", Power Engineering Society General Meeting, 2007, pp. 1-7, 2007.
- Ja'far Junaidi, 2011 "*Perancangan Kompensator Seri Variabel Menggunakan Saklar Pemulih Energi Magnetik*" Skripsi Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta
- Jun Narushima, Kouta Inoue, Taku Takaku, Takana Isobe, Tadayuki Kitahara, Ryuichi Shimada, 2005 "*Application of Magnetic Energy recovery Switch (MERS) for Power Factor Correction*" IPEC- Niigata April 4-8 2005, Toki Messe Niigata, Japan
- Prihartiningsih, M. M, 2010, "*Specifying and Using Synchronous Condensers for PFC and Voltage Support by Ideal Electric*" www. Nakhoma. Com, 2010
- T. Isobe, T. Takaku, T. Munakata, H. Tsutsui, S. Tsuji-Ilo, R. Shimada, 2007, "*Voltage Rating Reduction of Magnet Power Supplies Using a Magnetic Energy Recovery Switch*", IEEE Transactions on Applied Superconductivity, Vol. 16, Issue 2, pp. 1646-1649,
- T. Isobe, J. A. Wiik, T. Kitahara, S. Kato, K. Inoue, 2007, "*Control of series compensated induction motor using magnetic energy recovery switch*", European Conference on Power Electronics and Applications, pp. 1-10, 2007.

