

KAJIAN DAMPAK KELEBIHAN KOMPENSASI PADA SISTIM PERBAIKAN FAKTOR DAYA BEBAN TIGA PHASA TAK SEIMBANG DENGAN MENGGUNAKAN KAPASITOR BANK

Hari Sucipto¹

Abstrak

Faktor daya pada sistem beban tiga fasa seperti yang terdapat pada beban campuran yaitu pemakaian motor tiga fasa, motor-motor satu fasa, beban penerangan dan beban-beban lainnya selalu menunjukkan nilai yang rendah kurang dari satu, ini berarti pemakaian daya listrik menjadi tidak efektif, karena daya listrik yang diambil dari sumber jauh lebih besar dari daya berguna untuk menghasilkan tenaga mekanik maupun cahaya, semuanya ini disebabkan adanya beban reaktif sebagai dampak dari adanya komponen induktif yang terdapat pada suatu kumpulan.

Penggunaan kapasitor bank biasa digunakan untuk meningkatkan faktor daya tersebut dan banyak sekali manfaatnya, namun penggunaan pada sistem beban tiga fasa yang tidak seimbang akan menimbulkan masalah baru yaitu ketika terjadi kelebihan kompensasi dalam penggunaan kapasitor artinya rating daya kapasitor terlalu besar daripada yang dibutuhkan.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui kinerja kapasitor bank pada beban tidak seimbang ketika terjadi kelebihan kompensasi, arus dan tegangan mengalami kenaikan setelah pemasangan kapasitor bank, hal tersebut disebabkan adanya resonansi yang dapat meningkatkan distorsi harmonisa, pada saat itu impedansi beban menjadi paling kecil sehingga arus beban akan meningkat pula, seperti yang telah disebutkan di depan kondisi tersebut dapat mempengaruhi keamanan dari kapasitor tersebut, sehingga dapat dijadikan pertimbangan untuk menentukan dapat digunakan atau tidak pemakaian kapasitor bank tersebut dengan aman.

¹ *Dosen Program Studi Teknik Listrik, Jurusan Teknik Elektro,
Politeknik Negeri Malang*

Setelah dilakukan simulasi dan analisis data, dapat disimpulkan bahwa kinerja kapasitor bank pada beban tidak seimbang dapat menyebabkan kenaikan nilai arus netral, hal ini terjadi disebabkan kelebihan kompensasi sehingga salah satu arus fasanya naik, sehingga berdampak pada kenaikan arus netralnya, kenaikan arus dapat menyebabkan kenaikan tegangan pada terminal beban yang bersangkutan, semuanya ini terkait dengan faktor keseimbangan beban yang dapat mempengaruhi keamanan kinerja kapasitor.

Salah satu faktor keselamatan kinerja kapasitor bank yang harus diperhatikan ialah nilai tegangan puncak pada kapasitor. Apabila pemakaian kapasitor bank tidak sesuai dengan nilai tegangannya maka dapat menimbulkan kerusakan pada kapasitor itu sendiri. Selain itu nilai arus dan tegangan yang diperbolehkan dari IEEE std 18 – 2002 terkait dengan faktor keselamatan kapasitor adalah 120 % dari nilai tegangan puncak nominal dan 135 % dari arus nominal berdasarkan nilai kVAR dan nilai tegangan.

Kata-kata kunci: kapasitor, ketidakseimbangan beban, harmonisa

Abstract

The power factor in a three phase load system such as those in mixed loads is the use of three phase motors, single phase motors, light loads and other loads always show a low value of less than one, this means that the use of electric power becomes ineffective, Because the electrical power extracted from the source is much larger than the power useful for generating mechanical energy and light, all of this is due to the reactive load as a result of the existence of the inductive components present in a coil.

The use of ordinary bank capacitors is used to increase the power factor and many benefits, but the use of an unbalanced three-phase weighing system will create a new problem when there is an excess of compensation in the use of capacitors that means the capacitor power rating is too large than required.

The purpose of this research is to know the performance of bank capacitor on unbalanced load when there is excess compensation, current and voltage increase after installation of capacitor bank, it is caused by resonance that can increase harmonic distortion, at that moment load impedance become smallest so load current will also increase, as mentioned before the conditions can affect the safety of the capacitor, so it can be considered to determine whether or not to use the capacitor bank safely.

After simulation and analyzing the data, it can be concluded that the performance of the bank capacitor on unbalanced load can cause the increase of neutral current value, this is due to the excess compensation so that one of the phase currents rises, thereby affecting the increase of neutral current, the increase of current can cause the increase of voltage At the load terminals concerned, all of these are related to load balancing factors that may affect the safety of capacitor performance.

One of the safety factor of bank capacitor performance that must be considered is the peak voltage value of the capacitor. If the use of capacitor bank does not match the value of the voltage it can cause damage to the capacitor itself. In addition, the allowable current and voltage values of IEEE std 18 - 2002 related to the capacitor safety factor are 120% of the nominal peak voltage value and 135% of the nominal current based on the kVAR value and the voltage value.

Keywords: *capacitors, load unbalances, harmonics*

1. PENDAHULUAN

Untuk meningkatkan efektifitas dari penggunaan daya listrik yaitu dengan meningkatkan atau memperbaiki faktor daya, untuk keperluan tersebut dapat dipergunakan kapasitor bank dan telah terbukti banyak sekali manfaatnya. Usaha untuk meningkatkan factor daya jaringan listrik karena penggunaan beban – beban induktif seperti motor listrik dan beban-beban satu fasa lainnya harus diperhitungkan agar tidak menimbulkan dampak yang merugikan dan dapat merusak peralatan listrik yang digunakan.

Sebelum merealisasikan penggunaannya dilakukan pengukuran guna dapat menentukan kapasitas kapasitor bank yang sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan dilapangan.

Untuk keamanan dari kinerja kapasitor bank maka yang harus diperhatikan ialah nilai tegangan nominal pada kapasitor tersebut. Apabila pemakaian kapasitor bank melebihi kapasitas yang dibutuhkan dapat menimbulkan dampak kenaikan arus maupun tegangan pada terminal beban, jika kenaikan tegangan melebihi nilai tegangan nominal kapasitor bank yang dipergunakan sampai batas tertentu maka dapat menimbulkan kerusakan pada kapasitor itu sendiri. Pedoman untuk nilai arus dan tegangan yang diperbolehkan dari IEEE Std 18 - 2002

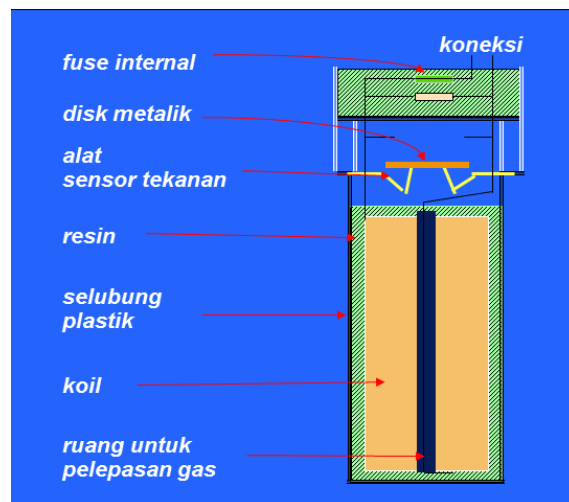
adalah 120 % dari nilai tegangan puncak dan 135 % dari arus nominal berdasarkan nilai VAR dan nilai tegangan.

Pengukuran parameter lainnya yang dibutuhkan adalah Total Harmonic Distortion (THD) tegangan yang nilainya diatas 2%. Selain itu jika nilai keseimbangan arus terbesar mencapai diatas 25 % hal ini tidak sesuai dengan IEEE Std 446 - 1980 dimana batas ketidak seimbangan dibatasi berkisar (5% to 20%). Menurut Buku Panduan Teknis Schneider halaman 4-2 nilai THD tegangan untuk kapasitor tipe standar dibawah 2%. Oleh karena terdapat perbedaan antara hasil pengukuran dengan aturan yang diijinkan oleh buku panduan dan standar IEEE maka penulis ingin melakukan kajian terhadap dampak kelebihan kompensasi pada sistim perbaikan faktor daya beban tiga phasa tak seimbang dengan menggunakan kapasitor bank.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kapasitor

Pada umumnya dalam sebuah sistem daya, penyaluran daya aktif dan daya reaktif oleh beban bersifat induktip karena besarnya penggunaan motor-motor listrik yang digunakan untuk menggerakkan mesin-mesin didalam industri untuk menjaga sistem beroperasi dengan faktor daya yang baik tidaklah selamanya dapat dipenuhi oleh pembangkit tenaga listrik yang ada dalam sistem tersebut.



Gambar 1. Konstruksi Kapasitor

Jadi dengan demikian diperlukan suatu daya reaktif yang dari luar yang bersifat kapasitif. Tambahan daya reaktif yang bersifat kapasitif itu dapat diperoleh dengan memasang kapasitor, dengan maksud untuk memperoleh faktor daya yang baik, maka harus selektif dalam pemilihan kapasitor yang tentunya mengingat segi ekonomis yang menguntungkan dan secara teknis dapat dipertanggung jawabkan.

2.2 Jenis-jenis Kapasitor Untuk Beban Bervariasi

Dalam memilih kompensasi untuk beban, harus memperhatikan daya reaktif yang diperlukan dengan cara melakukan perhitungan. Selain itu ada hal lain yang harus diperhatikan yaitu jenis dari beban itu sendiri. Hal ini akan sangat berkaitan saat memilih kapasitor yang dibutuhkan untuk mengkompensasi. Jika pemilihan nilai kapasitor terlalu besar, maka akan mengakibatkan overkompensasi yang mana dapat menjadikan jaringan sistem listrik buruk.

Tabel 1. Pemilihan Jenis Kapasitor Bank

Gh / Sn	THD _V	Jenis Jaringan	Tipe Yang Diperlukan
$\frac{Gh}{Sn} < 15\%$	THD _V < 2%	Standar	Kapasitor jenis Standar
$15\% \leq \frac{Gh}{Sn} < 25\%$	THD _V < 3%	Terpolusi	Kapasitor jenis 525 V
$25\% \leq \frac{Gh}{Sn} < 60\%$	THD _V < 5%	Terpolusi Tinggi	Kapasitor 525 V + <i>Detuned Reactor</i>
$\frac{Gh}{Sn} \geq 60\%$	-	Terpolusi Sangat Tinggi	Filter Harmonik

2.3 Unit pengatur faktor daya atau Power Factor Controller (PFC)

Untuk menjaga keseimbangan antara perubahan beban yang digunakan dan kebutuhan daya reaktif yang didapat dari penggunaan kapasitor sering digunakan alat pengatur faktor daya yang biasa disebut sebagai:

Power Factor Controller (PFC) adalah suatu alat yang berfungsi sebagai pengatur kerja unit unit kapasitor dalam step step secara otomatis. Peralatan ini secara terus menerus mendeteksi tegangan dan arus sistem yang akan diperbaiki faktor dayanya. Memproses dan menentukan hubungan step-step kapasitor dengan sistem. Menghubungkan step-step kapasitor dengan sistem jika sistem tersebut bersifat induktif dan memutuskannya jika sistem tersebut bersifat kapasitif.

2.4 Ketidakseimbangan Beban

Keseimbangan arus untuk setiap fasanya menunjukkan ketidakseimbangan beban. Memang mustahil untuk memperoleh keseimbangan arus 100%. Akan tetapi diusahakan agar keseimbangan beban diperhatikan benar karena jika tidak akan berakibat pada ketidakseimbangan tegangan sistem. Sebagai dampak ketidak seimbangan itu pada titik netral akan muncul arus netral yang apabila sistem tidak ditanahkan secara benar akan mengakibatkan lonjakan tegangan pada salah satu fasanya.

Keadaan tidak seimbang adalah keadaan dimana salah satu atau kedua beban dari masing-masing phasanya berbeda baik besaran bebannya maupun sudut phasa beban, keadaan tidak seimbang yang umum terjadi.

Kemungkinan keadaan tidak seimbang ada 3 yaitu :

- Ketiga vektor sama besar tetapi tidak membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar tetapi membentuk sudut 120^0 satu sama lain.
- Ketiga vektor tidak sama besar dan tidak me bentuk sudut 120^0 satu sama lain.

Untuk menghitung persentase ketidakseimbangan beban dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

$$I_{AVG} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3}$$

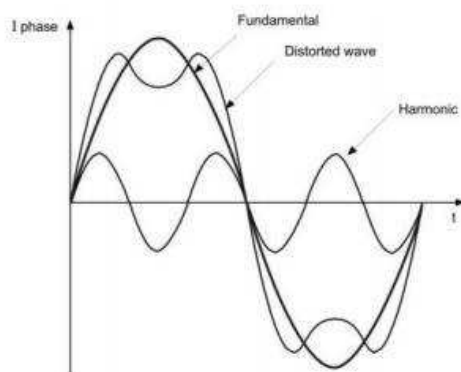
$$\% \text{ Unb. } I_R = \frac{I_{AVG} - I_R}{I_{AVG}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Unb. } I_S = \frac{I_{AVG} - I_S}{I_{AVG}} \times 100\%$$

$$\% \text{ Unb. } I_T = \frac{I_{AVG} - I_T}{I_{AVG}} \times 100\%$$

2.5 Harmonisa

Harmonisa adalah komponen gelombang lain yang mempunyai frekuensi kelipatan dari komponen frekuensi gelombang fundamental. Hal ini dapat dijelaskan seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Bentuk Gelombang Fundamental, Gelombang Harmonisa dan Gelombang Fundamental

Ada dua kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi distorsi harmonisa yaitu batas harmonisa untuk arus (THD_I) dan batas harmonisa untuk tegangan (THD_V). dengan menggunakan formula seperti berikut ini:

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \times 100\%$$

$$THD_V = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} V_h^2}}{V_1} \times 100\%$$

Keterangan :

I_1 = Nilai arus rms gelombang dasar

I_h = Nilai arus rms gelombang harmonik ke- h

V_1 = Nilai tegangan rms gelombang dasar

V_h = Nilai tegangan rms gelombang harmonik ke- h

Standar harmonisa arus ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Standar Harmonisa Arus

Maximum harmonic current distortion (% of I_L)						
Individual harmonic order (odd harmonics)						
I_{SC}/I_L	<11	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	TDD
<20*	4.0	2.0	1.5	0.6	0.3	5.0
20<50	7.0	3.5	2.5	1.0	0.5	8.0
50<100	10.0	4.5	4.0	1.5	0.7	12.0
100<1000	12.0	5.5	5.0	2.0	1.0	15.0
>1000	15.0	7.0	6.0	2.5	1.4	20.0

Sumber : *Standard IEEE 141-1993* hal 472

Standard harmonisa tegangan ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Standar Harmonisa Tegangan

Bus voltage at PCC	Individual voltage distortion (%)	Total voltage distortion THD (%)
69 kV and below	3.0	5.0
69.001 kV through 161 kV	1.5	2.5
161 kV and above	1.0	1.5

Sumber : *Standard IEEE 141-1993* hal 472

Sumber harmonisa ditunjukkan dalam Tabel 4.

Tabel 4. Sumber – Sumber Harmonisa

Sektor	Sumber Harmonisa	Problem
Industri	<i>Variable Speed Drives (VSD)</i> , las listrik, UPS skala besar, sistem penerangan	<ul style="list-style-type: none">- Pemanasan berlebih pada transformator dan netral konduktor.- Pemanasan berlebih pada bank kapasitor- Pemanasan berlebih dan meledaknya sekering- <i>Tripping</i> relay tidak pada "tempatny"
Komersial	Komputer, peralatan elektronik rumah tangga, penerangan	<ul style="list-style-type: none">- Pemanasan berlebih pada transformator dan netral konduktor- Interferensi terhadap saluran komunikasi
Rumah tangga	<i>Personal Computer</i> , peralatan-peralatan elektronika, penerangan	Secara umum bisa dikatakan tidak berdampak secara langsung ke pengguna. Akan tetapi dengan skala yang besar apabila dijumlahkan secara kumulatif akan berpengaruh.

3. METODE PENELITIAN

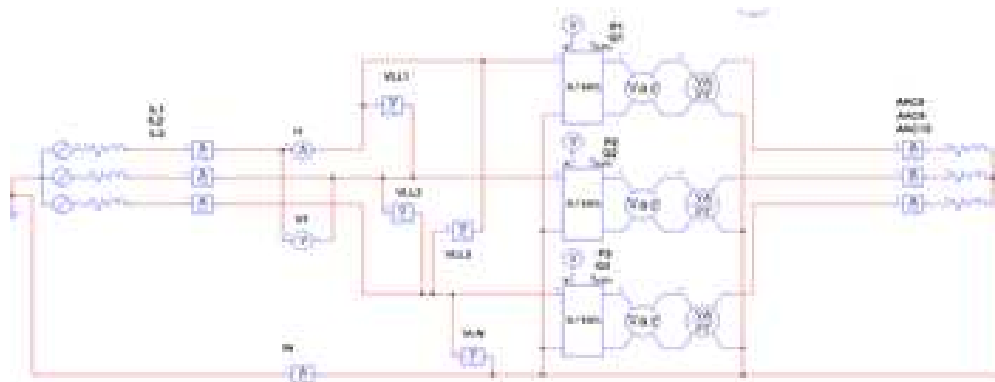
3.1 Pengambilan Data

Pengambilan Data ini dilakukan dengan cara pengukuran beban listrik yang diranncang dan ditentukan nilai-nilainya dengan menggunakan perangkat yang terdapat dibengkel listrik Politeknik Negeri Malang yaitu menggunakan PM 810.

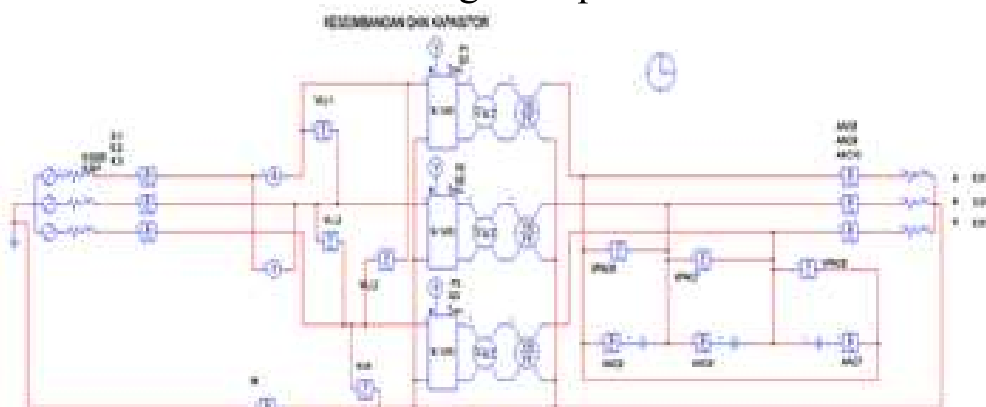
3.2 Perencanaan Pemodelan Sistem

Perencanaan pemodelan system bertujuan untuk menjawab rumusan masalah dari penelitian ini. Untuk nilai kapasitas kapasitor bank tipe standar sendiri ditentukan sebesar 10 kVAR 3 fasa dan nilai factor daya (PF) beban yang akan diuji kurang dari 0,85 dikarenakan kapasitor bank ini bertujuan untuk memperbaiki factordaya. Pada perencanaan pemodelan system terbagi menjadi 3 perencanaanyaitu

1. Perencanaan Pemodelan Sistem untuk Ketidak Seimbangan Beban

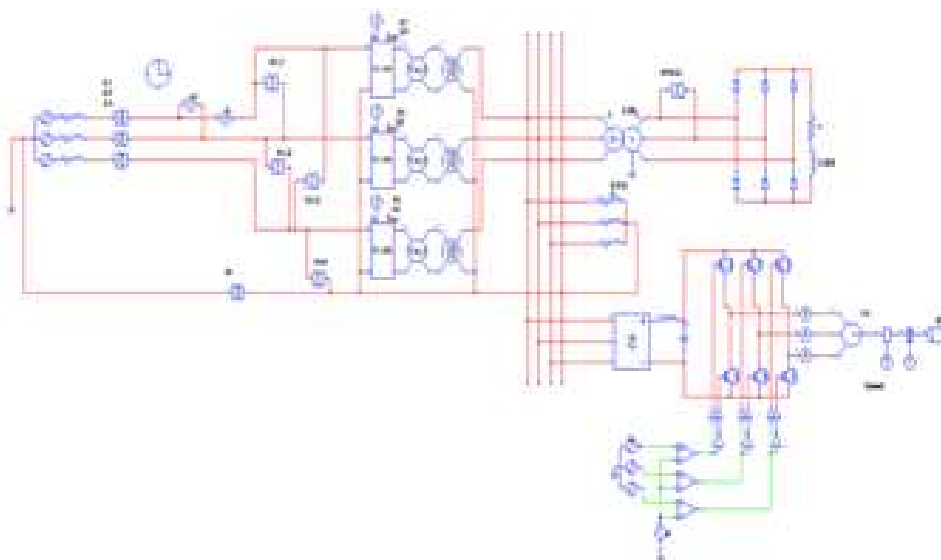


Gambar 3. SLD Pemodelan Ketidakseimbangan Beban sebelum Pemasangan Kapasitor Bank

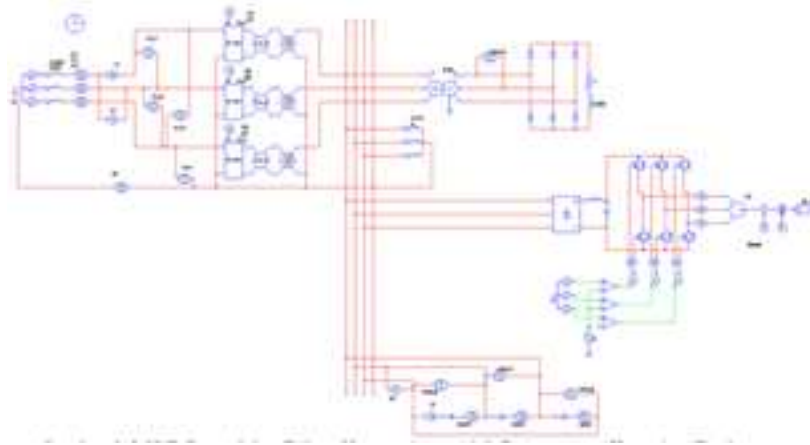


Gambar 4. SLD Pemodelan Ketidakseimbangan Beban setelah Pemasangan Kapasitor Bank

2. Perencanaan Pemodelan Sistem untuk Beban Harmonisa

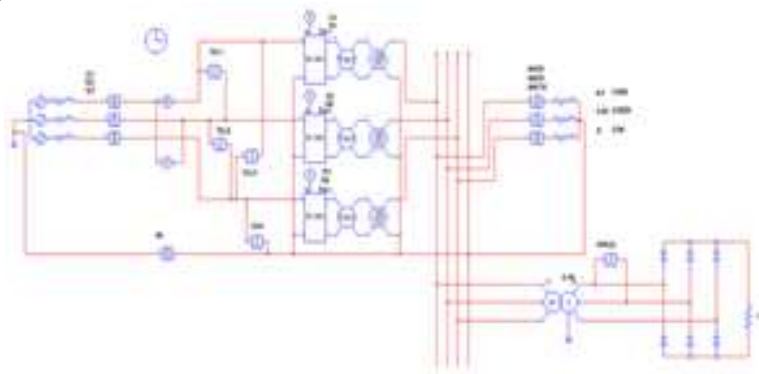


Gambar 5. SLD Pemodelan Beban sebelum Pemasangan Kapasitor Bank

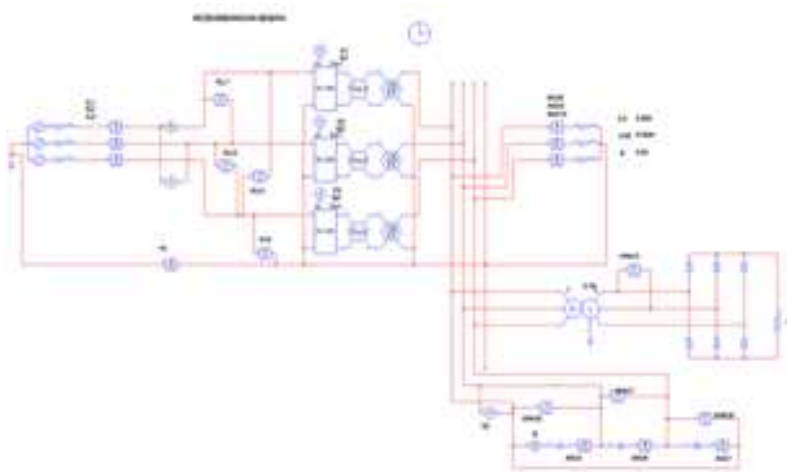


Gambar 6. SLD Pemodelan Beban setelah Pemasangan Kapasitor Bank

3. Perencanaan Pemodelan Sistem untuk Beban Harmonisa di Bengkel Listrik



Gambar 6. SLD Pemodelan Beban setelah Pemasangan Kapasitor Bank



Gambar 7. SLD Pemodelan Beban Bengkel setelah Pemasangan Kapasitor Bank

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Faktor-faktor yang mempengaruhi Keamanan Kerja dari Kapasitor Bank Tipe Standar

Faktor keamanan kerja kapasitor sangat ditentukan kondisi kerja dari kapasitor tersebut apakah sesuai dengan nilai nominal arus dan tegangannya, sehingga kapasitor tidak cepat rusak (*long life time*). Terkait dengan hal tersebut, telah diatur dalam standar IEEE std 18 – 2002 tentang *Standard for Shunt Power Capacitors* pada 5.3 Tegangan, arus dan kVAR beroperasi maksimum terus menerus yaitu

- a. 110 % dari rating tegangan rms
- b. 120 % dari rating tegangan puncak (tegangan puncak tidak melebihi $1.2 \times (\text{akar dari } 2) \times \text{rating tegangan rms}$, termasuk harmonisa tetapi tidak termasuk transien,
- c. 135 % dari arus rms nominal berdasarkan pada rating kvar dan tegangannya.

sehingga untuk faktor keselamatan kinerja kapasitor bank tipe standar mengacu pada ketentuan arus dan tegangan pada IEEE std 18 – 2002.

4.2. Perhitungan rating kapasistas kapasitor yang dibutuhkan untuk Perbaikan Faktor Daya

Didalam simulasi telah disetting beban yang dipergunakan, dan nantinya untuk perhitungan juga digunakan data simulasi untuk berbagai kondisi ketidak seimbangan beban tersebut . Sebelum pemasangan kapasitor diperoleh hasil sebagai berikut.

P	: 15441,505 W
Qt	: 18191,213 Var
S1	: 23861,272 VA
PF	: 0,647 lagging

Dalam perbaikan faktor daya ditentukan faktor daya yang diinginkan sesudah perbaikan yaitu sebesar 0,9 lagging. Maka dibutuhkan kapasitor sebagai berikut :

$$\text{Cos } \theta' = 0,9$$

$$\theta' = 25,84^\circ$$

$$\begin{aligned}
 Q_{t'} &= P \times \tan \theta' \\
 &= 15441,505 \times \tan 25,84^\circ \\
 &= 15441,505 \times 0,484 \\
 &= 7473,688 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Q_c &= Q_t - Q_{t'} \\
 &= 18191,213 - 7473,688 \\
 &= 10717,525 \text{ Var}
 \end{aligned}$$

4.3. Analisa Kinerja Kapasitor Bank Tipe Standar pada perbaikan faktor daya Beban Tidak Seimbang.

1. Kenaikan Arus Netral

Akibat dari ketidak seimbangan beban maka penghantar netral akan mengalirkan arus yang besarnya dipengaruhi oleh tingkat keseimbangannya seperti ditunjukkan pada tabel berikut ini

Tabel 5. Perbedaan hasil simulasi pada arus netral sebelum dan setelah pemasangan kapasitor bank tipe standar

Sebelum		Setelah	
Ketidakseimbangan Beban (%)	Arus Netral (A)	Ketidakseimbangan Beban (%)	Arus Netral (A)
0	0	0	0
4,61	4,310	3,28	4,393
8,97	15,875	4,66	16,180
15,61	14,998	30,60	15,290
20,02	16,068	31,04	16,379
28,87	19,577	34,88	19,954
37,64	14,639	36,42	14,914
51,42	40,431	93,75	41,227
61,29	45,324	108,49	46,219
77,57	28,468	96,41	28,658

2. Dampak dari Kelebihan Kompensasi

Kelebihan kompensasi pada perbaikan faktor daya menyebabkan nilai daya reaktif menjadi bersifat kapasitif yang ditandai dengan notasi negatif.

Tabel 5. Terjadi Kelebihan Kompensasi Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Tipe Standar

No	Sebelum			Setelah		
	Q (VAR)			Q (VAR)		
	R	S	T	R	S	T
8	4186,174	4626,771	685,848	1078,415	1458,911	-2681,267
9	4186,174	4729,945	832,305	1090,954	1562,429	-2523,614
10	7592,849	1710,328	1116,517	4759,015	-1685,021	-2219,415

3. Faktor Keamanan Kapasitor Bank

Analisa dari keamanan kapasitor bank mengacu pada dua besaran yaitu arus yang mengalir pada kapasitor dan tegangan yang bekerja pada terminal kapasitor hasilnya seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6 dan 7.

Tabel 6. Arus Kapasitor pada Kapasitor Bank Tipe Standar

NO	Ketidak-seimbangan Beban (%)	Arus Kapasitor (A)				Perubahan Arus Kapasitor (%)			Batas Arus dari IEEE (11,249 A)
		Sebelum Kapasitor	R	S	T	R _{max} -R _{min}	ΔI_R	ΔI_S	
1	0	8,216	8,216	8,216	8,216	0	0	0	Sesuai
2	4,61	8,184	8,213	8,203	8,200	0,20	0,16	0,03	Sesuai
3	8,97	8,136	8,232	8,156	8,175	0,47	0,70	0,23	Sesuai
4	15,61	8,094	8,246	8,219	8,187	1,13	0,73	0,40	Sesuai
5	20,02	8,225	8,278	8,224	8,242	0,21	0,43	0,22	Sesuai
6	28,87	8,246	8,256	8,155	8,219	0,33	0,45	0,78	Sesuai
7	37,64	8,313	8,033	8,216	8,187	1,54	1,89	0,35	Sesuai
8	51,42	8,235	8,465	8,406	8,369	1,60	1,15	0,44	Sesuai
9	61,29	8,203	8,477	8,408	8,363	1,91	1,37	0,55	Sesuai
10	77,57	8,048	8,574	8,414	8,345	3,56	2,74	0,82	Sesuai

Tabel 7. Tegangan Kapasitor pada Kapasitor Bank Tipe Standar

NO	Ketidak-seimbangan Beban (%)	Arus Kapasitor (A)				Perubahan Arus Kapasitor (%)			Batas Arus dari IEEE (11,249 A)
	Sebelum Kapasitor	R	S	T	Rata-Rata	ΔI_R	ΔI_S	ΔI_T	
1	0	8,216	8,216	8,216	8,216	0	0	0	Sesuai
2	4,61	8,184	8,213	8,203	8,200	0,20	0,16	0,03	Sesuai
3	8,97	8,136	8,232	8,156	8,175	0,47	0,70	0,23	Sesuai
4	15,61	8,094	8,246	8,219	8,187	1,13	0,73	0,40	Sesuai
5	20,02	8,225	8,278	8,224	8,242	0,21	0,43	0,22	Sesuai
6	28,87	8,246	8,256	8,155	8,219	0,33	0,45	0,78	Sesuai
7	37,64	8,313	8,033	8,216	8,187	1,54	1,89	0,35	Sesuai
8	51,42	8,235	8,465	8,406	8,369	1,60	1,15	0,44	Sesuai
9	61,29	8,203	8,477	8,408	8,363	1,91	1,37	0,55	Sesuai
10	77,57	8,048	8,574	8,414	8,345	3,56	2,74	0,82	Sesuai

4.4. Analisa Kinerja Kapasitor Bank Tipe Standar pada Beban Harmonisa

1. Kenaikan THD_V dan THD_I

Tabel 8. Perbandingan Hasil Simulasi pada *Total Harmonic Distortion* (THD) Sebelum dan Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Tipe Standar

Sebelum		Setelah	
THD_I (%)	THD_V (%)	THD_I (%)	THD_V (%)
5,81	1,19	13,404	3,079
6,17	1,98	22,300	6,179
6,43	2,32	26,484	7,717
6,56	2,49	28,020	8,320
7,08	2,93	29,330	9,182
8,58	4,27	41,812	15,276
9,34	3,63	20,293	6,508
13,1	4,53	18,947	5,688
16,91	5,35	20,964	6,143
19,08	5,91	23,325	6,977

2. Faktor Keselamatan Kapasitor Bank

Tabel 9. Hasil Simulasi Arus pada Kapasitor Bank Tipe Standar dengan Standar IEEE std 18 - 2002

NO	THD I (%) Sebelum Kapasitor	Arus Kapasitor (A)	Batas arus dari standar IEEE (11,249 A)
1	5,81	10,718	Sesuai
2	6,17	11,359	Tidak Sesuai
3	6,43	11,956	Tidak Sesuai
4	6,56	12,778	Tidak Sesuai
5	7,08	12,285	Tidak Sesuai
6	8,58	16,611	Tidak Sesuai
7	9,34	11,538	Tidak Sesuai
8	13,1	12,322	Tidak Sesuai
9	16,91	13,175	Tidak Sesuai
10	19,08	13,256	Tidak Sesuai

Tabel 10. Tegangan Puncak pada kapasitor bank tipe standar dengan Standar IEEE std 18 - 2002

NO	THD V (%) Sebelum Kapasitor	Tegangan Puncak Kapasitor (V)	Batas Tegangan dari standar IEEE (678,823 V)
1	1,19	921,346	Tidak Sesuai
2	1,98	901,670	Tidak Sesuai
3	2,32	896,010	Tidak Sesuai
4	2,49	878,033	Tidak Sesuai
5	2,93	768,286	Tidak Sesuai
6	4,27	698,683	Tidak Sesuai
7	3,63	687,566	Tidak Sesuai
8	4,53	686,257	Tidak Sesuai
9	5,35	686,226	Tidak Sesuai
10	5,91	686,143	Tidak Sesuai

4.5. Analisa Beban Harmonisa di Bengkel Listrik Setelah Pemasangan Kapasitor Bank Tipe Standar

Faktor Keselamatan Kapasitor

Tabel 11. Arus dan Tegangan Puncak pada Kapasitor Bank Tipe Standar dengan Standar IEEE std 18 - 2002

NO	Arus Kapasitor (A)	Batas arus dari standar IEEE (11,249 A)	Tegangan Puncak Kapasitor (V)	Batas Tegangan dari standar IEEE (678,823 V)
1	22,899	Tidak Sesuai	612,353	Sesuai

4.6. Dampak perbaikan faktor daya pada beban tak seimbang dengan menggunakan kapasitor

Berdasarkan analisa data diatas diperoleh bahwa kinerja kapasitor bank tipe standar pada beban tidak seimbang yaitu

1. Pada hasil simulasi secara keseluruhan mengalami kenaikan arus netral setelah pemasangan kapasitor bank tipe standar seperti halnya pada hasil simulasi nomer 3 mengalami kenaikan dari 15,875 A menjadi 16,180 A mengalami kenaikan sebesar 0,305 A.
2. Terjadi kelebihan kompensasi setelah pemasangan kapasitor bank tipe standar seperti pada hasil simulasi nomer 8 sehingga salah satu fasanya mengalami kenaikan arus dari 46,687 A menjadi 48,641 A hal itu juga mengalami kenaikan pada hasil perhitungan menjadi sebesar 48,815 A.
3. Ketidakseimbangan beban sebesar 51,42 % dapat mempengaruhi keselamatan kinerja kapasitor dikarenakan tegangan puncak salah satu fasanya sebesar 686,461 V tidak sesuai dengan batas tegangan yang diijinkan oleh IEEE std 18 – 2002 yaitu sebesar 678,823 V.

4.7. Dampak perbaikan faktor daya pada beban tak seimbang dengan menggunakan kapasitor

1. Menaikkan nilai *Total Harmonic Distortion* (THD) arus dan tegangan. Untuk nilai THD arus dari hasil simulasi naik dari 5,81 % menjadi 13,404 % sedangkan hasil perhitungan dari

1,67 % naik menjadi 11,62 %. Dan untuk hasil simulasi nilai THD tegangan juga mengalami kenaikan dari 1,19 % menjadi 3,079 % sedangkan hasil perhitungan mengalami kenaikan dari 0,56 % menjadi 3,17 %. Kenaikan THD tegangan dan arus ini diakibatkan resonansi pada frekuensi harmonisa.

2. Total harmonisa arus (THDI) sebelum kapasitor sebesar 6,17% akan dapat mempengaruhi keselamatan kinerja kapasitor dikarenakan arus yang berharmonisa sebesar 11,359 A melewati batas yang diijinkan oleh IEEE std 18 – 2002 yaitu 11,249 A. Selain itu juga total harmonisa tegangan (THDV) sebelum kapasitor sebesar 1,19% mempengaruhi tegangan puncak kapasitor sebesar 921,346 V melewati batas ijin dari IEEE std 18 – 2002 yakni 678,823 V.

Berdasarkan analisa diatas diperoleh bahwa dari hasil simulasi kapasitor bank tipe standar tidak dapat digunakan pada beban harmonisa di bengkel listrik karena arus pada kapasitor sebesar 22,899 A tidak sesuai dengan batas arus yang diijinkan dari IEEE std 18 - 2002 yaitu 11,249 A.

5. PENUTUP

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

1. Dari keterangan yang ditunjukkan diatas dapat disimpulkan bahwa ketidak - seimbangan beban sampai batas 37 % kenaikan arus dan tegangan masih tidak mempunyai dampak pada keamanan kapasitor karena masih dibawah ketentuan IEEE std 18- 2002 namun jika tingkat ketidak-keseimbangan lebih besar dari 37% penggunaan kapasitor untuk meningkatkan faktor dayanya dibutuhkan kompensasi lebih besar sehingga dibutuhkan kompensasi yang berlebih, dampak dari kelebihan kompensasi akan meningkatkan tegangan dan arus pada salah satu phasanya sehingga kapasitor menjadi tidak aman terutama disebabkan batas tegangan yang diijinkan telah dilebihi.
2. Pada beban harmonisa penggunaan kapasitor bank untuk memperbaiki faktor daya pada kondisi kompensasi berlebih dapat meningkatkan arus maupun tegangan yang melebihi batas yang diijinkan sehingga perlu diperhatikan pemilihan

jenis kapasitor yang digunakan agar tidak mengalami kerusakan.

3. Penggunaan kapasitor bank pada penelitian ini terutama untuk beban berharmonisa tidak aman untuk keselamatan kapasitor bank yang digunakan karena dampak kenaikan tegangan dan arus yang ditimbulkan melebihi batas tegangan maupun arus yang diijinkan sebaiknya menggunakan kapasitor jenis 525 V atau H-range dengan rating tegangan yang lebih tinggi.

Saran yang bisa diberikan pada penelitian selanjutnya adalah:

1. Untuk menghindari dampak kenaikan tegangan dan arus pada sistim perbaikan faktor daya harus diupayakan penyusunan kembali beban-beban pada listrik sistim tiga phasa seseimbang mungkin karena penyebab utama dari masalah ini adalah ketidak seimbangan beban .
2. Penggunaan kapasitor bank yang dapat diatur rating kapasitasnya untuk masing-masing phasanya sehingga kelebihan kompensasi tidak terjadi lagi, penggunaan rating kapasitor yang lebih tinggi dapat juga digunakan untuk keamanan kapasitor pada saat terjadi kelebihan kompensasi..

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Dugan, Roger/Mark F. Meranaghan, Surya Santoso/H. Wyne Beaty, *Electrical Power System Quality* second edition , New York, 2002
- [2] C. Sankaran, *Power Quality*. Washington, 2002
- [3] Ebook *Introductory Circuit Analysis* Tenth Edition Boylestad
- [4] IEEE Std 18 – 2002, “*IEEE Standard for Shunt Power Capacitor*,” © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 2002.
- [5] IEEE Std 141 – 1993, “*IEEE Recommended Practice for Electric Power Distribution for Industrial Plants*,” © Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. 1993.
- [6] Indonesia Scheneider Electric, *Panduan Aplikasi Teknis Scheneider Elektrik Indonesia*.