

DESAIN FREKUENSI, TEGANGAN, ARUS DAN CAPACITOR UNTUK OPTIMASI DAYA LISTRIK

Pius Sri Winarno¹, Hari Purnomo², Ali Parkhan³

^{1, 2, 3}Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

ABSTRAK

Perkalian arus dan tegangan efektif dalam rangkaian AC dinyatakan dalam volt-ampere (VA). Daya yang berguna atau daya nyata diukur dalam watt (W) dan diperoleh jika voltampere dari rangkaian dikalikan dengan factor yang disebut dengan factor daya ($\cos\theta$). Harga factor daya tergantung dari beda phase antara arus dan tegangan. Capacitor daya AC sebagai kompensator yang dihubungkan jaringan kapasitif akan mengakibatkan arus beban mendahului 90 derajat, dan mengakibatkan arus beban menjadi sephase dengan tegangan.

Penelitian ini mendesain besaran frekuensi, tegangan, arus dan kapasitor untuk optimasi daya listrik dengan menggunakan metode eksperimen Taguchi. Berdasar hasil eksperimen dan hasil perhitungan nilai optimal level tiap factor diperoleh nilai frekuensi sebesar 49 Hertz, tegangan listrik sebesar 180 Volt, arus listrik sebesar 1.36 Ampere dan kapasitor sebesar 7 mikrofarrad.

Kata Kunci : Faktor Daya, Optimasi, Taguchi

ABSTRACT

Multiplication effective current and voltage in AC circuits expressed in volt - amperes (VA). Useful power or the power is measured in watts (W) and obtained if voltampere of the circuit multiplied by a factor called the power factor ($\cos \theta$). Price of power factor depends on the phase difference between current and voltage. AC power capacitor as a compensator connected capacitive network will result in the load current is preceded by 90 degrees, and the resulting load current into a voltage sephase.

This research is to design the frequency, voltage, current, and capacitors for electric power optimization using Taguchi experimental method. Based on the experimental results and the results of the calculation of the optimum value of each factor level values obtained frequency at 49 Hertz, the power supply voltage at 180 Volt, electric current at 1,36 Ampere and the capacitor at 7 mikrofarrad.

Key Words : Power Factor, Optimization, Taguchi

1. Pendahuluan

Efisiensi energi listrik dapat ditingkatkan dengan cara memperbaiki kualitas daya. Kualitas daya yang baik akan memperbaiki: drop tegangan, faktor daya, rugi-rugi daya, kapasitas daya dan efisiensi energi listrik.

Kompensator daya reaktif dengan switch kontaktor menyebabkan lonjakan arus yang sangat besar. Pada beban dinamis, maka faktor daya selalu berfluktuasi dan lonjakan arus akan terjadi berulang-ulang, sehingga mengakibatkan penggunaan arus yang berlebih dan ini menyebabkan pemborosan daya terpakai. Oleh karena itu diperlukan adanya metode perbaikan daya dengan pengompensasian daya reaktif.

Blooming (2008) membahas masalah kapasitor dengan tujuan membuat pembaca menyadari banyak perangkat yang bisa jatuh ke dalam ketika menerapkan kapasitor. Mendis, et al., (2013) menjelaskan bahwa “perbaikan faktor daya, pengurangan kehilangan daya, pelepasan kapasitas sistem, dan tegangan perbaikan semua bisa dicapai dengan menerapkan kapasitor dengan tepat. Perlindungan dengan *capacitor bank* ini terhadap arus lebih yang berlebihan adalah bagian penting dari operasi yang aman dan dapat diandalkan dari *capacitor bank*”.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan nilai frekuensi, tegangan, arus dan kapasitor yang tepat untuk optimasi daya listrik serta menentukan nilai frekuensi, tegangan, arus dan kapasitor yang tepat untuk kompensasi daya dengan metode eksperimen Taguchi.

2. Tinjauan Pustaka

Daya dalam rangkaian DC sama dengan perkalian antara arus dan tegangan. Daya dalam rangkaian AC pada setiap saat sama dengan perkalian dari harga daya rata – rata dalam satu periode sama dengan perkalian antara arus dan tegangan efektif. Tetapi jika ada reaktansi dalam rangkaian, arus dan tegangan tidak sephase selama siklusnya seperti halnya arus bernilai negatif seraya tegangan bernilai positif. Hal ini menghasilkan besarnya daya kurang dari perkalian I (arus) dan V (tegangan).

Daya (dalam watt) dalam rangkaian AC satu phase (Hasan, 2012) adalah:

$$P \text{ (dalam watt)} = V \times I \times \cos \theta$$

$$\cos \theta = \frac{P \text{ (dalam watt)}}{V \times I}$$

P : Daya Listrik (Watt)

I : Arus Listrik (Ampere)

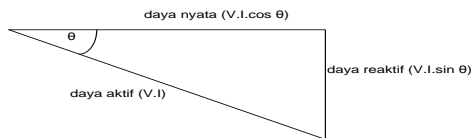
θ : Perbaikan Daya (0 – 1)

Oleh karena daya adalah $V \times I$ dikalikan dengan faktor daya, maka faktor daya suatu rangkaian AC sama dengan kosinus dari sudut phase.

Sitorus dan Warman (2013) menyatakan hubungan antara daya dalam watt (P), voltampere (VA) dan voltampere reaktif (VAR) dapat dinyatakan dengan segitiga seperti yang ditunjukkan dalam Gambar 2.1. Sudut θ adalah sudut phase rangkaian. Alas segitiga menyatakan daya nyata (VA), tingginya menyatakan daya reaktif (VAR), dan hipotenusa menyatakan daya aktif (W).

Oleh karena Voltampere sama dengan $V \cdot I$ daya nyatanya adalah $V I \cos \theta$, dan voltampere reaktifnya $V I \sin \theta$. Juga terjadi hubungan sebagai berikut.

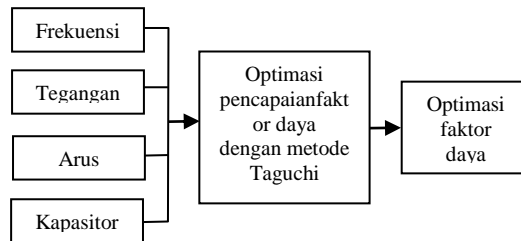
$$\text{daya aktif} = \sqrt{(\text{daya nyata})^2 + (\text{daya reaktif})^2}$$



Gambar 2.1. Hubungan antara daya, daya aktif dan daya reaktif.
(Sumber :Sitorus dan Warman, 2013)

3. Metode Penelitian

a. Kerangka konsep



Gambar 3.1 Kerangka konsep

b. Variabel penelitian

Faktor kendali terdiri dari 4 faktor dengan 3 level, dapat dilihat pada tabel 3.1 bawah ini :

Tabel 3.1 Faktor dan level

Faktor kendali	Level		
	1	2	3
Frekuensi (Hz)	49	50	51
Tegangan (Volt)	180	190	200
Arus (Ampere)	0,28	1,36	2,89
Kapasitor (μ F)	7	14	21

Variabel respon pada penelitian ini adalah faktor daya ($\cos \theta$).

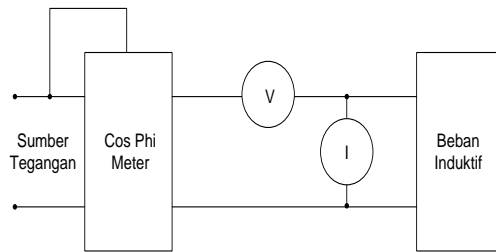
c. Tahapan penelitian

Menyiapkan alat-alat dan bahan yang digunakan untuk melakukan eksperimen. Yaitu ampere meter, volt meter, AutoVolt, generator, cos phi meter, beban induktif, kabel jumper.

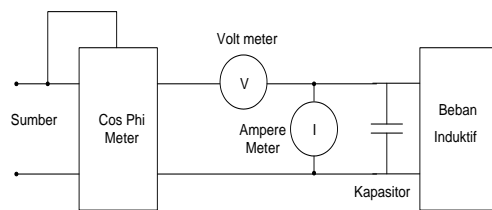
Merangkai instrument ukur sesuai fungsinya.

1. *Volt meter* digital, untuk mengukur tegangan listrik AC yang menuju ke rangkaian percobaan, pemasanganya secara paralel.
2. *Ampere meter* digital, alat ini untuk mengukur arus yang mengalir ke beban induktif. Pemasanganya dengan meng”clamp” salah satu kawat tegangan listrik AC ke beban induktif.
3. *Generator*, memberikan variasi frekuensi dan tegangan pada rangkaian percobaan.
4. *Cos θ Meter* sebagai pengukur besarnya nilai $\cos \theta$ pada rangkaian percobaan saat dipasang beban induktif dan saat diadakan perbaikan faktor daya dengan penambahan kapasitor.

Tahap selanjutnya adalah proses pelaksanaan eksperimen, yaitu dengan melakukan beberapa trial percobaan yang sesuai dengan *orthogonalarray* yang sudah ditetapkan dengan urutan proses pelaksanaan penelitian sesuai tabel setting parameter yang sudah dibuat.



Gambar 3.2 Diagram Blok Konstruksi Percobaan Pengambilan Data Sebelum Dipasang Kapasitor



Gambar 3.3 Diagram Blok Konstruksi Pengambilan Data Setelah di Pasang Kapasitor

Pada penelitian ini faktor kendali terdiri dari 4 faktor (A,B,C,D) dengan 3 level (1,2 dan 3) sehingga matriks orthogonal yang digunakan adalah $L_9 (3^4)$.

4. Hasil dan Pembahasan

Dari percobaan yang dilakukan, maka dapat diambil data dari hasil percobaan sebelum dipasang kapasitor tersebut seperti yang ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Percobaan Pengambilan Data Pemasangan Beban Induktif

Frek A2	Tegangan B3	Arus C2	Cosθ
50	200	1,36	0,5
50	200	1,36	0,55
50	200	1,36	0,58

Tabel 4.2.Data Desain Eksperimen *Matriks Ortogonal* $L_9 (3^4)$

Trial	FaktorKendali				Cos θ			Rerata
	A	B	C	D	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}
1	1	1	1	1	0.95	0.95	0.93	0.943

2	1	2	2	2	0.93	0.94	0.94	0.937
3	1	3	3	3	0.91	0.90	0.90	0.903
4	2	1	2	3	0.95	0.92	0.93	0.933
5	2	2	3	1	0.94	0.94	0.91	0.930
6	2	3	1	2	0.92	0.90	0.91	0.910
7	3	1	3	2	0.92	0.92	0.91	0.917
8	3	2	1	3	0.90	0.90	0.90	0.900
9	3	3	2	1	0.92	0.91	0.94	0.923

Pengujian normalitas data digunakan uji Kolmogorov Smirnov dengan software IBM®SPSS®Statistics 20 diperoleh kesimpulan bahwa data $\cos \theta$ berdistribusi normal.

Uji homogenitas menggunakan Uji Bartlett diperoleh kesimpulan bahwa data $\cos \theta$ bersifat homogen. Untuk mengetahui faktor utama yang berpengaruh secara signifikan terhadap variabel respon digunakan Analisis Variansi (ANOVA) dan diperoleh kesimpulan bahwa semua faktor kendali berpengaruh secara signifikan terhadap nilai respon $\cos \theta$. Berdasar perhitungan SNR dan efek tiap faktor diperoleh nilai optimal tiap faktor untuk respon $\cos \theta$ seperti pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Nilai optimal tiap faktor untuk respon $\cos \theta$

Level	Faktor			
	A	B	C	D
1	-0.6533	-0.6219	-0.7478	-0.6211
2	-0.6851	-0.7057	-0.6218	-0.7150
3	-0.7888	-0.7996	-0.7576	-0.8000
Selisih	0.1355	0.1777	0.1358	0.1878
Rangking	1	3	2	4

Dari tabel 4.3 diperoleh kombinasi level faktor optimal untuk $\cos \theta$ adalah $A_1B_1C_2D_1$, untuk memaksimalkan $\cos \theta$ dibutuhkan kombinasi level faktor Frekuensi 49 Hz, Tegangan 180 Volt, Arus 1.36 Ampere dan Kapasitor 7 μF . Kombinasi level faktor optimal respon faktor daya ($\cos \theta$), yaitu $A_1B_1C_2D_1$ belum masuk dalam matriks *array orthogonal* $L_9(3^4)$, maka perlu dilakukan eksperimen konfirmasi.

Eksperimen Konfirmasi

Eksperimen konfirmasi dilaksanakan karena dari hasil perhitungan efek tiap faktor menghasilkan kondisi optimal yang berada di luar matriks ortogonal array atau belum pernah dilaksanakan eksperimen

Hasil dari eksperimen konfirmasi terdapat pada tabel 4.4 berikut ini.

Tabel 4.4. Hasil eksperimen konfirmasi

Faktor Kendali				Cos θ			$\sum x$	\bar{x}
A	B	C	D	Run 1	Run 2	Run 3		
1	1	2	1	0.95	0.94	0.95	2.83	0.947

Uji Beda

Uji beda dilakukan untuk membandingkan kualitas antara kondisi optimal hasil eksperimen konfirmasi dengan kondisi awal.

Tabel 4.11. Perbandingan $\cos \theta$ pada Kondisi Awal terhadap Hasil Eksperimen Optimal

Hasil eksperimen optimasi (X1)	Hasil kondisi awal (X2)	Perbandingan faktor daya	
Faktor daya	Faktor daya	Beda (B)	B^2
0.95	0.50	0.45	0.203

0.94	0.55	0.39	0.152
0.95	0.58	0.37	0.137
Rerata = 0.947	Rerata = 0.543	Jml = 1.210	Jml = 0.492

Dari uji beda dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen optimal mampu menaikkan hasil rerata faktor daya kondisi awal.

5. Kesimpulan

Berdasar pada penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- a. Untuk mendapatkan daya listrik yang optimal diperoleh nilai frekuensi sebesar 49 Hertz, tegangan listrik sebesar 180 Volt, arus listrik sebesar 1.36 Ampere dan kapasitor sebesar 7 mikrofarrad.
- b. Untuk menentukan nilai frekuensi, tegangan, arus dan kapasitor yang tepat untuk kompensasi daya dapat digunakan metode eksperimen Taguchi single respon.

Daftar Pustaka

- [1] Blooming, T. M. 2008, *Capacitor Application Issues*, IEEE Transactions On Industry Applications, Vol. 4 July/August 2008
- [2] Mendis, S.R., Bishop, M.T., McCall, J.C., and Hurst, W.M., 2013, *Capacitor Overcurrent Protection For Industrial Distribution Systems*, Copyright Material IEEE Paper No. PCIC-94-33
- [3] Sitorus, R. J, Warman, E. 2013. Studi Kualitas Listrik dan Perbaikan Faktor Daya Pada Beban Listrik Rumah Tangga Menggunakan Kapasitor. Singuda Ensikom VOL. 3 NO. 2/Agustus 2013.