

Rancang Bangun Alat Kalibrasi PFC Berbasis Variabel Arus dan Beda Fasa

Pingkan Aryani Heryanto^{1,*}, Nanang Mulyono², Dwi Septiyanto³

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Jakarta, Depok 16425

E-mail : ^{1,*}pingkanaryaniheryanto@gmail.com

^{2,3}Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Bandung, Bandung 40559

E-mail : ²nanang_mulyono@polban.ac.id; ³dwi.septiyanto@polban.ac.id

ABSTRAK

Nilai faktor daya di suatu industri sangat berpengaruh baik pada system produksi maupun dari sisi finansial. Dalam regulasi SPLN bahwa faktor daya yang diperkenankan minimal adalah 0,85, jika kurang dari nilai tersebut akan dikenakan penalti. Maka dari itu, diperlukan sistem yang dapat digunakan untuk mengontrol faktor daya yaitu Power Factor Controller (PFC). Untuk menyakinkan PFC yang dipasang berfungsi dengan baik maka diperlukan alat uji PFC. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan alat kalibrasi PFC. Alat tersebut dapat menghasilkan nilai besaran arus yang bervariasi baik amplitudo maupun sudut fasanya dengan sudut fasa tegangan. Sudut fasa arus tersebut dirancang tertinggal dari sudut fasa tegangan. Selain itu, amplitudo tegangan dipertahankan bernilai tetap sesuai dengan tegangan jala. Adapun metode yang digunakan dalam rancang bangun kali ini yaitu metode eksperimental, dimulai dari merancang hingga pengujian. Hasil penelitian ini yaitu alat kalibrasi PFC telah berhasil dibuat dengan besaran arus dapat divariasikan hingga 6,5 Ampere, sudut fasa bervariasi 9° hingga 90° sebanyak 6 langkah dan setiap langkah sebesar 10°.

Kata Kunci

Faktor daya, pengontrol fasa, phase shifter, konverter tegangan menjadi arus, dan konverter arus menjadi tegangan.

1. PENDAHULUAN

Akibat rendahnya faktor daya akan terjadi kerugian secara teknis yaitu kerugian pada jalur penghantar/rugi tembaga akibat besaran arusnya meningkat. Kemudian ukuran penghantar yang dibutuhkan akan semakin besar, selain itu tegangan jatuh (drop voltage) juga meningkat yang mengakibatkan besarnya tegangan yang diterima di ujung penghantar akan berkurang, dan akan mengurangi nilai efisiensi [1]. Oleh sebab itu diperlukan adanya perbaikan faktor daya atau dilakukan koreksi terhadap faktor daya yang terpasang pada beban.

[2] Koreksi faktor daya telah menjadi masalah komersial yang sangat penting, dan pengetahuan teknis serta peralatan korektif tersedia untuk menjadikan koreksi sebagai bagian dari kegiatan industri listrik. Salah satu cara untuk melakukan koreksi faktor daya yaitu dengan menggunakan alat bantu yaitu pengontrol faktor daya. Dalam hal perbaikan faktor daya ini perlu adanya suatu alat yang dinamakan PFC untuk mengetahui apakah faktor daya yang sudah diperbaiki sudah

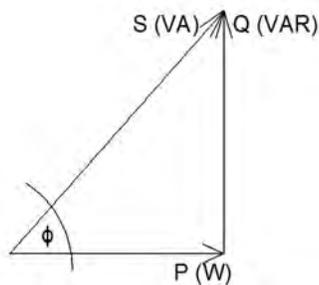
sesuai dengan kebutuhan dan standar yang berlaku atau masih harus diperbaiki dengan kata lain sebagai pengontrol besaran faktor daya. Sebagai contoh dari alat tersebut adalah PFC VAR Logic NR6. Alat PFC tersebut juga perlu dilakukan pengujian fungsinya [3].

[4] Secara konvensional melakukan pengujian PFC dengan menggunakan kalibrator membutuhkan biaya yang tidak sedikit, terutama untuk pihak-pihak industri dan laboratorium dalam skala besar. Oleh sebab itu, untuk mengatasi permasalahan di atas maka diperlukan alat uji buatan sebagai alat bantu penunjang dari pengujian PFC. Dengan variasi arus keluaran dengan kisaran harga (-5) sampai 5 Ampere dan variasi perbedaan sudut fasa sebesar 60°; 53°; 46°; 37°; 26°; 0° atau dalam besaran nilai faktor daya yaitu sebesar 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; sampai dengan 1.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Faktor Daya

Daya dapat didefinisikan sebagai laju energi yang dibangkitkan atau yang dikonsumsi oleh suatu peralatan. Ada beberapa macam daya yaitu daya nyata, daya reaktif, dan daya semu. Daya nyata memiliki satuan yaitu Joule/second atau Watt, daya reaktif memiliki satuan yaitu VAR atau Volt Ampere Reaktif, dan untuk daya semu memiliki satuan VA atau Volt Ampere. Dari ketiga jenis daya tersebut, daya yang dimanfaatkan oleh konsumen yang dapat menjadi gerakan pada motor dan juga bisa menjadi panas pada elemen pemanas yaitu daya nyata atau daya aktif (Watt), daya tersebut mengalir dari sisi sumber ke sisi beban. Sedangkan daya yang disuplai oleh PLN berbentuk daya semu (VA) dimana pada kasus sistem listrik bolak-balik (AC) hasil perkalian dari kedua elemen yaitu tegangan dan arus berbentuk sinusoidal akan menghasilkan daya semu. Daya reaktif (VAR) sendiri tidak dimanfaatkan oleh konsumen, daya ini hanya terdapat di jaringan. Hubungan ketiga daya tersebut dapat dilihat pada segitiga daya Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Daya

Sitorus[5] dalam penelitiannya mengenai kualitas listrik dan perbaikan faktor daya pada beban listrik menyebutkan bahwa perubahan atau pergeseran sudut fasa ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan nilai dari kapasitornya. Untuk mendapatkan perubahan daya reaktif seiring dengan pergeseran sudut fasanya dapat dihitung menggunakan (1) :

$$Q_{C1} = P (\tan\phi_{tot} - \tan\phi_1) (VAR) \quad (1)$$

Hubungan antara faktor daya dengan daya aktif dan daya semu dapat dilihat pada (2) :

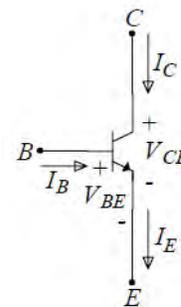
$$\cos \phi = \frac{P}{S} \quad (2)$$

2.2 Penguat Arus dengan Transistor

Transistor merupakan elemen pembangun terpenting pada rangkaian elektronika. [6] Prinsip dasar dari bipolar junction transistor yaitu arus collector (I_C) dan arus base (I_B) saling berkaitan yaitu :

$$I_C = I_B \times \beta \quad (3)$$

Dengan mengaplikasikan hukum kirchoff 1 maka didapatkan arus emitter yaitu :



Gambar 2. Arah Aliran Arus dan Polaritas Tegangan Transistor NPN

Dari (5) dan (6) diperoleh hubungan arus emitter dengan arus base yaitu :

$$I_E = (1 + \beta) I_B \quad (5)$$

Juga ekivalen dengan :

$$I_C = \frac{\beta}{1 + \beta} I_E \quad (6)$$

Pada transistor ideal nilai $\beta = 100$, maka dapat disimpulkan $I_C \approx I_E$.

2.3 Penguat Tegangan dengan Op-Amp

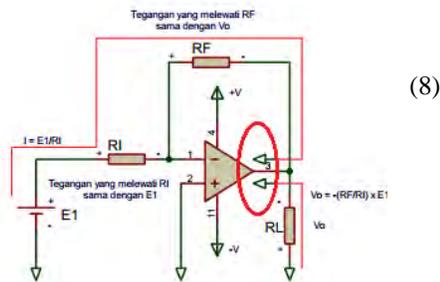
Pada fungsi op-amp sebagai penguat pembalik terdapat dua cara yaitu tegangan positif yang diterapkan masuk ke terminal (-) ada juga yang diterapkan pada terminal (-) merupakan tegangan negatif. Perbedaan dari keduanya

hanya pada arah dari setiap arus yang melaluinya.

Arus yang mengalir pada resistansi R_i dapat dirumuskan menggunakan (7) :

$$I = \frac{V_i}{R_i} \text{ (A)} \quad (7)$$

Kemudian, seluruh arus yang mengalir melalui R_i memasuki tahanan R_f tanpa ada arus yang lain lagi, karena jumlah arus yang dialirkan oleh terminal masukan (-) dapat diabaikan. Maka penurunan tegangan pada R_f ditunjukkan pada (8) :



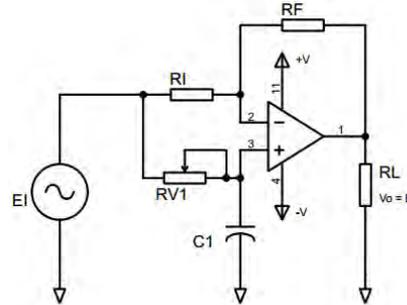
Gambar 3. Arah Arus pada Fungsi Op-Amp sebagai Penguat Pembalik

Tegangan positif E_i diterapkan pada terminal (-) op-amp melalui tahanan masukan R_i . Kemudian untuk tahanan umpan balik negatifnya dibuat menggunakan tahanan R_f . Tegangan masukan antara (+) dan (-) pada dasarnya adalah 0 (nol) Volt, maka terminal masukan (-) dan potensial ground yang berada pada masukan (-) bernilai 0 Volt juga. Dengan penjelasan tersebut, maka terminal masukan (-) dapat dikatakan ada pada ground semu.

2.4 Phase Shifter

Phase shifter merupakan suatu alat yang mampu menggeser suatu gelombang elektromagnetik dalam satuan frekuensi tertentu. [7] Pada rangkaian ini digunakan kombinasi resistor dan kapasitor untuk membuat sudut fasa yang berbeda. Selain itu juga rangkaian ini menggunakan operasional amplifier dengan sifat sebagai penguat pembalik. Phase shifter ini bertujuan untuk memperbaiki faktor daya dari suatu beban. Semakin besar sudut fasa dari suatu

beban maka nilai faktor daya nya akan semakin buruk, tetapi apabila semakin kecil sudut fasanya atau semakin besar pergeseran sudut fasa maka faktor daya akan semakin baik.



Gambar 4. Rangkaian Phase Shifter

Hubungan antara nilai resistansi, kapasitansi, dan frekuensi ditunjukkan pada (9).

$$\phi = 2 \arctan 2\pi f R_i C_i \quad (9)$$

Dari persamaan diatas dapat ditentukan nilai R_i ataupun C_i untuk menggeser fasa sebuah gelombang sinusoidal dengan menggunakan (10) :

$$R_i = \frac{\tan(\frac{\theta}{2})}{2 \pi f C_i} \text{ (}\Omega\text{)} \quad (10)$$

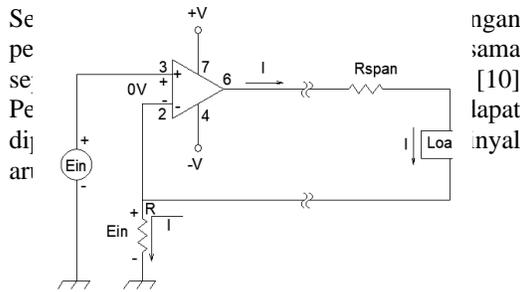
dengan :

- θ : sudut fasa (°)
- π : phi (3,14)
- f : frekuensi jala-jala (Hz)
- R_i : nilai resistansi (Ω)
- C_i : nilai kapasitansi (Farad)

Tegangan Andika[8] dan Vitria[9] telah melakukan penelitian mengenai phase shifter yang bersifat digital. Tujuan dari dibuatnya penelitian ini yaitu untuk menghasilkan pergeseran fasa dengan nilai tertentu yaitu 90° atau tidak bersifat kontinyu. Dimana dijelaskan phase shifter ada yang bersifat analog dan digital.

2.5 Konverter Tegangan ke Arus dengan Op- Amp

Penyaluran sinyal tegangan menghasilkan banyak permasalahan. Nilai resistansi antara kondisi sinyal keluaran dengan beban tergantung pada jarak, penghantar kabel yang digunakan, suhu/temperature, dan bagaimana koneksi yang dibuat apakah baik atau tidak juga akan mempengaruhi error dari hasil pengukurannya.



Gambar 5. Rangkaian Sederhana Konverter Tegangan – Arus

Rangkaian ini hanya dapat menggunakan operasional amplifier yang sifatnya tidak membalik. Loop penyaluran terhadap beban ini dimana sinyal akan dikirim dari bagian tertinggi dengan loop timbal balik dari bagian negatif. Apabila op-amp bekerja pada saat loop tertutup (dengan timbal balik negatif), tegangan pada input tidak membalik juga akan muncul pada input pembalik.

$$R_{span} = \frac{V(B) - V(A)}{2 [I(B) - I(A)]} (\Omega) \quad (11)$$

dengan :

- V(A) : tegangan target minimum (V)
- V(B) : tegangan target maksimum (V)
- I (A) : arus target minimum (A)
- I (B) : arus target maksimum (A)

2.6 Current Transformer

Current Transformer (CT) atau yang biasa dikenal dengan sebutan trafo arus merupakan sebuah komponen listrik yang berfungsi sebagai penurun nilai besaran arus dan dapat juga menaikkan nilai besaran arus sesuai dengan kebutuhan.

Peralatan proteksi dan peralatan metering hanya dapat membaca nilai yang dikeluarkan pada sisi sekunder CT. Pada kondisi umumnya peralatan metering dan proteksi hanya dapat menerima nilai besaran arus keluaran sisi sekundernya sebesar 1 A dan 5 A. Adapun CT dengan besaran nilai sisi sekundernya sebesar 2 A digunakan pada laboratorium-laboratorium sebagai alat praktikum.

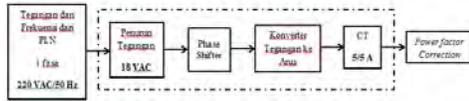
2.7 PFC

Sistem yang paling membebani dalam pemakaian listrik, dari peralatan generator, tergantung dari sistem pada konsumen terakhir, biasanya bersifat induktif. Hal itu membebani sistem dengan komponen yang memiliki arus bersifat lagging yang sangat tinggi. Hasilnya yaitu fal pengguna peralatan switchgear induktif menjadi direpresen

3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian yang ditunjukkan pada gambar 6. spesifikasi alat dan pengu



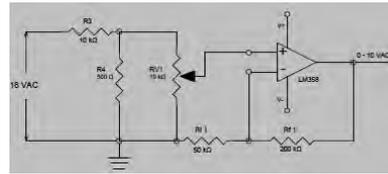


Gambar 7. Diagram Blok

Diagram blok alat yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 7 yang terdiri dari modul penurun tegangan, *phase shifter*, dan konverter tegangan ke arus.

$$I_L = (1 + \beta)I_o - \beta \frac{V_{BE}}{R_1} \quad (12)$$

deng
I_B
β
I_C
V_{BE}
F



[b]

3.3 Modul

Regulator
diguna
AC s
amplitudo
Volt.



gan

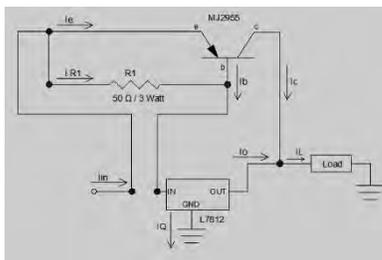
bagai
ini
aran
aian
5

3.1 Gambar 6. Diagram Alir Proses Perancangan Alat Kalibrasi PFC

tegangan dari sumber PLN 220 VAC menggunakan sebuah transformator dengan rasio tegangan primer dan sekundernya sebesar 220 / 18 Volt.

3.2 Modul Rangkaian Power Supply

Rangkaian power supply dirancang untuk menghasilkan tegangan output sebesar ±12 VDC fix atau dengan kata lain tidak variabel. Selain itu dapat mencatu beban dengan arus sampai dengan 5 A.



[a]



[b]

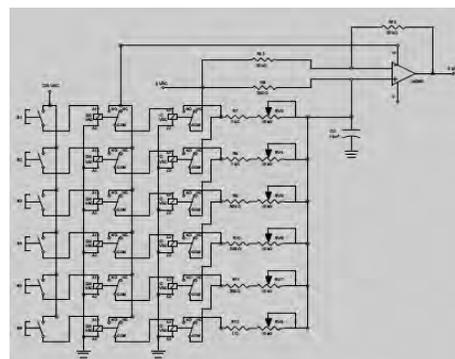
Gambar 8. [a] Rangkaian Power Supply, [b] Realisasi Modul

Gambar 6. Diagram Blok

[b]

Gambar 9. [a] Rangkaian Regulator Tegangan, [b] Realisasi Modul

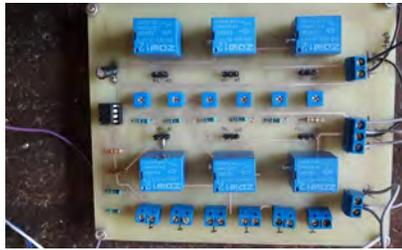
Dibuat untuk tegangan di R4 yaitu sebesar 1 Volt dan nilai R3 ditentukan sebesar 10 kΩ, maka :



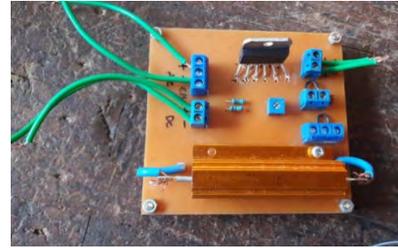
3.4

Modul rangkaian ini dibuat untuk melihat perubahan beda fasa yang bervariasi sesuai

denga
secara
terjadi



3
3



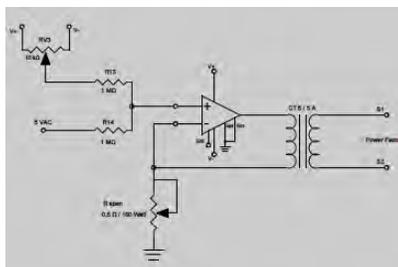
[b]

Gambar 10. [a] Rangkaian Phase Shifter, [b] Realisasi Modul

[b]

Gambar 11. [a] Rangkaian Konverter Tegangan ke Arus, [b] Realisasi Modul

Sec
per
run



alur
gan

14)

der

R_x = resistansi paralel setiap langkah (Ω)
 R_a = resistansi per jalur *phase shifter* (Ω)
 R_p = resistansi paralel sebelum jalur (Ω)

3.5 Modul Konverter Tegangan ke Arus

Alat uji ini digunakan sebagai penginjeksi arus ke power factor correction dimana faktor daya merupakan sudut perbedaan antara gelombang tegangan dengan gelombang arus.

[c]

Besaran arus yang akan dihasilkan pada rangkaian ini dipengaruhi oleh besaran tegangan input dan besaran tegangan referensi. Untuk tegangan masukan sendiri sudah ada dari sumber tegangan sebelumnya yaitu dari rangkaian phase shifter yaitu 5 Volt. Sedangkan untuk tegangan referensi dapat perlu ditentukan terlebih dahulu dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$V_{ref} = 2RI(B) - V(B)$$

[d] 5)

Keterangan :

V_{ref} = Tegangan referensi (V)

R = Nilai resistansi (Ω)

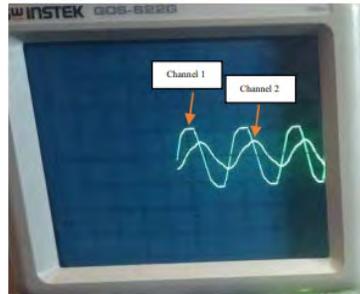
$I(B)$ = Arus target maksimum (A)

$V(B)$ = Tegangan target maksimum (V)

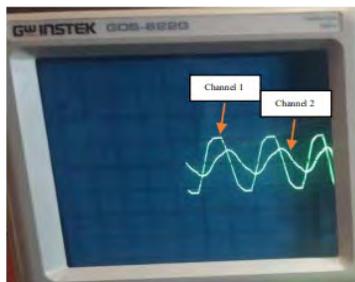
Tegangan referensi tersebut dapat diatur besarnya dengan menggunakan resistor variabel/trimpot (Rv3) dengan besaran resistansi sebesar 10k Ω .

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat uji yang dibuat digunakan alat bantu uji yaitu VAR Logic NR6. Dimana proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 12.



Hasil uji coba dari rangkaian phase shifter ditunjukkan pada Gambar 13. sampai dengan Gambar 16.



Gambar 14. Perbedaan Sudut Fasa Jalur 1

Gambar 13. merupakan hasil dari kondisi K1, K2, K3, K4, K5, K6 OFF. Dimana untuk chanel 1 digunakan sebagai tegangan keluaran sumber, sedangkan chanel 2 digunakan sebagai tegangan keluaran rangkaian phase shifter.



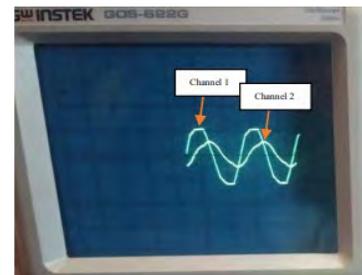
Gambar 12. Pengujian Rangkaian Keseluruhan Menggunakan VAR Logic NR6

Gambar 14. merupakan hasil dari kondisi K1 ON sementara K2, K3, K4, K5, K6 OFF.



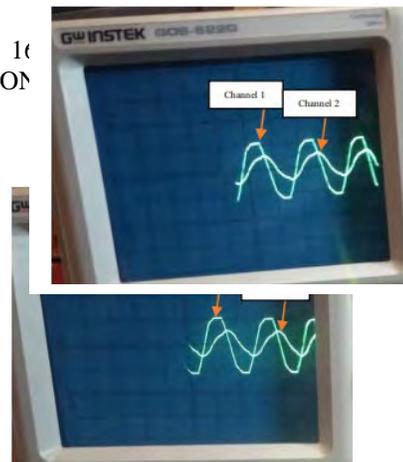
Gambar 16. Perbedaan Sudut Fasa Jalur 3

Gambar 15. K2 ON sem

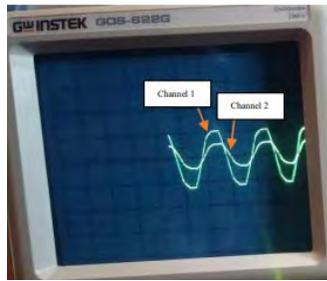


Gambar 17. Perbedaan Sudut Fasa Jalur 4

Gambar 16. K2, K3 ON



Gambar 17 merupakan hasil dari kondisi K1, K2, Gambar 15. Perbedaan Sudut Fasa Jalur 2



Gam

Gambar 18
K2, K3, K4, K5 ON sementara K6 OFF.

Gambar 19. Perbedaan Sudut Fasa Jalur 6

ON : K1,K2,K3,K4 OFF : K5,K6	408	5,1	0,82	35	Lag
ON : K1,K2,K3,K4 OFF : K5,K6	408	6,2	0,91	24	Lag
ON : K1,K2,K3,K4,K5 OFF : K6	408	6,5	0,96	16	Lag

Dari data yang diperoleh pada Tabel 1. dapat dinyatakan bahwa alat uji yang dibuat sudah dapat digunakan dengan hasil perbedaan sudut fasa yang bervariasi serta nilai besaran arus yang bervariasi.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil membuat alat kalibrasi PFC yang berfungsi dengan baik. alat tersebut memiliki kemampuan yaitu :

1. Arus efektif (rms) dapat divariasikan dari 1,6 Ampere hingga 6,5 Ampere (nilai RMS)
2. Besarnya Sudut fasa dapat divariasikan 900 hingga 90 dalam enam langkah perubahan sudut fasa.
3. Setiap langkah menghasilkan perbedaan sudut fase sebesar 100.

Alat ini dapat disempurnakan dengan cara menambahkan jumlah langkah perubahan sudut fasa, mengingat jumlah langkah perbaikan faktor daya yang tersedia pada PFC dapat lebih besar dari enam.

Gambar 19. merupakan hasil dari kondisi K1, K2, K3, K4, K5, K6 OFF.

Hasil uji coba dari rangkaian konverter tegangan ke arus ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Uji Rangkaian Keseluruhan dengan VAR Logic NR6

Kondisi Relay	Vrms (V)	Irms (A)	cos θ	θ (°)	Lead /Lag
ON : - OFF : K1,K2,K3,K4,K5,K6	408	1,6	0,38	68	Lag
ON : K1 OFF : K2,K3,K4,K5,K6	408	2,4	0,42	65	Lag
ON : K1,K2 OFF : K3,K4,K5,K6	408	3,2	0,58	55	Lag
ON : K1,K2,K3 OFF : K4,K5,K6	408	4,8	0,69	46	Lag

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Politeknik Negeri Bandung, melalui wakil Direktur Akademik atas bantuan pendanaan penyusunan materi penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Listrik, Februari 2014. [Online]. Available: <https://direktorilistrik.blogspot.com>. [Accessed 28 Juni 2019].

- [2] L. Morrow, "Power Factor Correction," *Journal of the A.I.E.E.*, vol. 44, no. 2, pp. 150-156, 1925.
- [3] Schneider, "VARLOGIC NR6, NR12".
- [4] N. Mulyono dan D. Septiyanto, "Implementasi Pemodelan Arus dan Putaran Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metoda Rungke-Kutta Orde Empat Berbasis Rashberry PI," *Industrial Research Workshop and National Seminar*, no. 4, p. 386, 2017.
- [5] R. J. Sitorus dan E. Warman, "STUDI KUALITAS LISTRIK DAN PERBAIKAN FAKTOR DAYA PADA BEBAN LISTRIK RUMAH TANGGA MENGGUNAKAN KAPASITOR," *Journal Universitas Sumatera Utara VOL. 3 NO. 2*, pp. 1-6, 2013.
- [6] Chaniotakis dan Cory, "Bipolar Junction Transistor," *Spring*, no. 071, pp. 1-10, 2006.
- [7] F. f. D. :. H. W. S. Robert F. Coughlin, *Penguat Operasional dan Rangkaian terpadu Linear*, Jakarta: Erlangga.
- [8] A. Prayoga, "Transformer," *Journal Universitas Indonesia*, pp. 2-5, 2010.
- [9] R. Vitria, "PEMANFAATAN MIKROKONTROLER AT89S51 SEBAGAI PHASE SHIFTER PADA ANTENA ARRAY," *Jurnal Politeknik Negeri Padang*, vol. 4, no. 2, pp. 1-5, 2012.
- [10] J. Jacob, *Industrial Control Electronics Applications and Design*, London: Pretince-Hall, Inc, 1989.