

Model Simulasi Praktikum Pengukuran Power Faktor Berbasis Matlab/Simulink

Yanu Shalahuddin¹, Mochtar Yahya²

^{1,2}Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam Kediri Kediri

E-mail: *¹yanu@uniska-kediri.ac.id, ²mochtaryahya@uniska-kediri.ac.id

Abstrak – Pembelajaran praktikum sangat dibutuhkan oleh mahasiswa agar dapat menerapkan dan mengintegrasikan pengetahuan serta keterampilan khusus yang telah dimiliki juga sebagai sarana untuk membuktikan teori secara ilmiah. Praktikum pengukuran *power factor* (*pf*) salah satu yang penting bagi mahasiswa program studi teknik elektro konsentrasi *power system*. Permasalahan timbul karena sejak pandemi, mahasiswa dibatasi bahkan dilarang untuk berkegiatan di kampus termasuk bengkel dan laboratorium. Solusi yang diusulkan adalah merancang model praktikum simulasi pengukuran *pf* menggunakan *software Matlab/Simulink*. Model praktikum harus dapat menggambarkan parameter system jaringan yang sesuai dengan praktikum laboratorium sehingga mahasiswa benar-benar dapat menerapkan dan membuktikan teori serta pengetahuan yang telah didapat. Hasil rancangan menunjukkan bahwa model praktikum berbasis *Simulink* dapat merepresentasikan alat praktikum sesungguhnya. Saat beban resistif nilai $pf = 1$. Saat beban resistif-induktif nilai pf turun berbanding terbalik dengan nilai induktansinya. Saat diberikan kompensasi dengan memasang kapasitor dengan nilai yang tepat nilai pf dapat naik kembali mendekati 1.

Kata Kunci — *pf*, *Power System*, *Simulink*, Simulasi.

Abstract – Practical learning is needed by students in order to be able to apply and integrate the knowledge and special skills that they already have as well as a means to prove theories scientifically. Practicum of measuring power factor (*pf*) is one of the important things for students of the electrical engineering study program to concentrate on power systems. Problems arise because since the pandemic, students have been restricted and even prohibited from doing activities on campus, including workshops and laboratories. The proposed solution is to design a *pf* measurement simulation practicum model using *Matlab/Simulink* software. The practicum model must be able to describe the network system parameters in accordance with the laboratory practicum so that students can actually apply and prove the theory and knowledge that has been obtained. The design results show that the *Simulink*-based practicum model can represent a real practical tool. When the load is resistive the value of $pf = 1$. When the resistive-inductive load decreases, the pf value is inversely proportional to the inductance value. When compensated by pairing a capacitor with the right value the pf value can rise again close to 1.

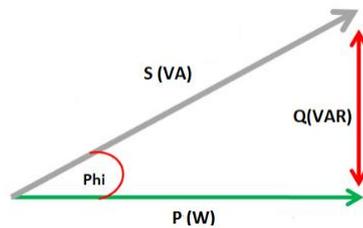
Keywords — *pf*, *Power System*, *Simulation*, *Simulink*

1. PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik yang baik serta kontinuitas layanan energy listrik merupakan faktor yang harus dijaga oleh produsen energi listrik (PLN). *Power factor* (*pf*) atau *cos phi* sebagai salah satu indikator kualitas daya listrik. Rendahnya nilai *pf* bisa diartikan rendahnya kualitas daya listrik. Apabila masalah ini timbul, kerugian tidak hanya berimbas pada konsumen energi listrik, terutama konsumen industri tetapi juga penyedia jasa layanan energi listrik. Masing-masing pihak akan berusaha menaikkan nilai *pf* dimana bagi produsen akan meningkatkan kualitas daya listrik dan bagi konsumen agar tidak mengalami kerugian karena membayar biaya listrik yang sia-sia.

PF didefinisikan sebagai perbandingan antara daya aktif (dalam satuan watt) dan daya semu (dalam satuan VA) [1], [2]. Daya aktif bisa didefinisikan sebagai daya yang digunakan oleh beban untuk bekerja atau dirubah menjadi panas. Daya reaktif adalah daya yang terbuang di dalam

jaringan, sedangkan daya semu adalah daya yang dikonsumsi dari penyedia layanan energi listrik. Hubungan vektor antara ketiga daya tersebut diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Segitiga Daya

Mahasiswa jurusan Teknik Elektro dengan konsentrasi *power system* harus mempunyai kemampuan untuk menganalisis permasalahan kualitas daya listrik serta mampu menemukan solusi untuk meningkatkan kualitas daya listrik. Diantara permasalahan kualitas daya listrik yang sering dijumpai adalah rendahnya faktor daya dan tingginya harmonisa. Teknik pembelajaran untuk materi tersebut tidak bisa hanya dengan teori tetapi juga diperlukan untuk praktek.

Simulator perbaikan *pf* dalam bentuk modul praktikum dalam dunia Pendidikan telah dibuat menggunakan ATmega 16 [3]. Praktikum dengan memanfaatkan *tools software* simulasi telah banyak dimanfaatkan untuk pembelajaran di perguruan tinggi, salah satunya berupa desain dan simulasi *monitoring* daya listrik 3 fasa menggunakan *Matlab Simulink* [4] yang merupakan salah satu *software* yang paling banyak dipakai karena berbagai kelebihanannya di bidang rekayasa. *Matlab* merupakan bahasa pemrograman dengan komputasi *numerical* berbasis matrik. *Matlab* mempunyai kemampuan diantaranya; plotting data dan fungsi, antarmuka dengan perangkat, serta antarmuka dengan bahasa pemrograman lain. *Software* ini dilengkapi paket tambahan yaitu *Simulink*, yang memungkinkan untuk membuat simulasi grafis dan desain berbasis model untuk sebuah sistem dinamik.

Penelitian ini akan membahas pembuatan model praktikum pengukuran *pf* bagi mahasiswa menggunakan *Matlab Simulink*. Model praktikum dirancang pada jaringan tegangan rendah 3 fasa 380 *phasa to phasa* (V_{ph-ph}) dengan beban seimbang. Model diharapkan dapat memberikan pemahaman kepada praktikan tentang bagaimana pengaruh pembebanan resistif, resistif induktif terhadap nilai *pf*. Selanjutnya pelaksana praktikum juga diharapkan dapat memberikan faktor koreksi yang tepat dengan penambahan kapasitor untuk menaikkan nilai *pf*.

2. METODE PENELITIAN

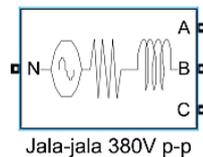
Model Praktikum dirancang menggunakan *Matlab Simulink* melalui beberapa tahapan yaitu, penentuan parameter sistem, rancangan model simulasi, pengujian model dengan berbagai variasi beban, serta penentuan hasil. Parameter sistem meliputi; sumber tegangan 3 fasa 380 V_{ph-ph} , bus distribusi, beban 3 fasa seimbang, pengukuran daya aktif dan reaktif, dan *mathematics operation*. *Simulink* adalah *graphical Extension Matlab* yang merupakan salah satu fitur pada aplikasi *Matlab* yang berfungsi dalam melakukan simulasi suatu model atau desain yang memiliki sifat dinamis atau tertanam [5]. *Matlab Simulink* diaplikasikan untuk keperluan pemodelan dan analisa data matematis serta perhitungan numerik [6].

Rancangan model disesuaikan untuk mendapatkan nilai *pf*, besarnya sudut Φ , bentuk gelombang tegangan per fasa, dan bentuk gelombang arus per fasa. Hasil tersebut didapatkan dengan memberikan variasi pada perubahan nilai komponen beban Resistor (R), Induktor (L), dan Kapasitor (C). Beban R dan L terpasang secara seri dan beban C terpasang secara paralel terhadap R dan L . Beban C dimaksudkan untuk memberikan kompensasi terhadap nilai *pf*.

Pengujian model dilakukan melalui 10 kali uji, dengan memberikan nilai R tetap sedangkan nilai L berubah dan nilai C sebesar 0 atau tanpa kompensasi. Pengujian selanjutnya juga dilakukan dengan nilai R dan L tetap sedangkan nilai C bukan 0. Hasil yang diharapkan nilai *pf* akan meningkat atau mengalami kompensasi mendekati nilai 1. Apabila hal tersebut dicapai maka nilai kapasistansi yang diberikan tepat untuk memberikan kompensasi pada beban resistif-induktif dengan nilai R dan L yang diuji.

2.1. Parameter system

Model praktikum digunakan untuk menggambarkan jaringan distribusi tegangan rendah 380 Vph-ph. Sumber tegangan (*source*) didapatkan dari *Simulink Library Browser* dengan gambar blok parameter diperlihatkan pada Gambar 2. Blok parameter *source* berfungsi sebagai sumber tegangan 3 fasa jala-jala PLN.



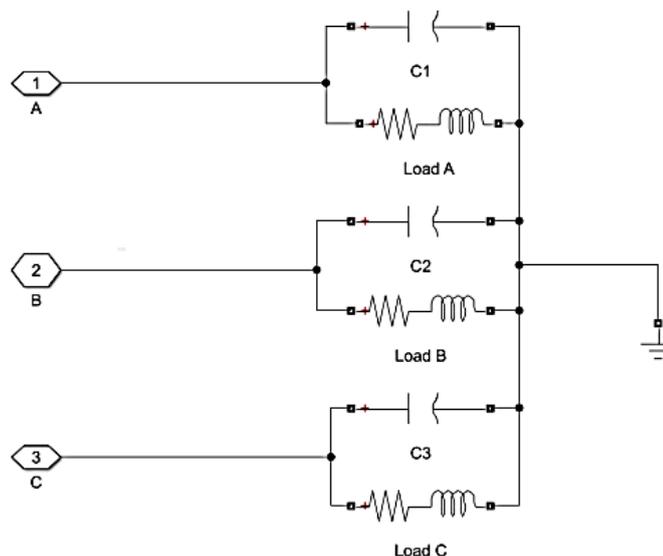
Gambar 2. Block Parameter *Source*

Nilai parameter dari *block parameter source* diberikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Parameter *Source* 380V ph-ph

Parameter	Nilai
Konfigurasi	Yn
Frekuensi	50 Hz
Vrms (ph-ph)	380 V
Sudut fasa	0

Sumber tegangan AC 3 fasa disambungkan dengan beban 3 fasa konfigurasi *Yg*. Sambungan sumber dan beban melalui sebuah BUS yang sekaligus berfungsi sebagai *measurement* tegangan dan arus. Nilai impedansi jaringan dibalikkan, sehingga besarnya impedansi sistem hanya bergantung pada besarnya nilai *R*, *L*, dan *C* beban.



Gambar 3. Beban Seimbang 3 Fasa

Konfigurasi beban *Yg* dengan beban seimbang sebagaimana diperlihatkan oleh gambar 3, dimana beban resistif-induktif berasal dari rangkaian seri *R* dan *L*, digunakan untuk menguji seberapa rendah nilai *pf* dengan besarnya nilai *L*. Sedangkan beban *C* terpasang secara paralel untuk memberikan kompensasi atau menaikkan nilai *pf*.

Blok parameter berikutnya adalah *measurement power 3 phase*. Blok ini berguna untuk mengetahui seberapa besar daya aktif (*P*) dalam satuan watt dan daya reaktif (*Q*) dalam satuan VAR. Input blok berupa tegangan dan arus 3 fasa sedangkan output-nya *P* dan *Q*.

2.2. Rancangan Model

Power factor atau $\cos \Phi$ merupakan istilah yang merepresentasikan hubungan antara ketiga jenis daya listrik, yaitu daya aktif (P), daya reaktif (Q), dan daya semu (S). Besarnya S adalah penjumlahan vektor dari P dan Q [7]. Sedangkan besarnya pf adalah perbandingan dari P dan S. hubungan ketiga daya tersebut digambarkan dalam persamaan 1, 2, 3 dibawah ini.

$$S = P + jQ \dots\dots\dots (1)$$

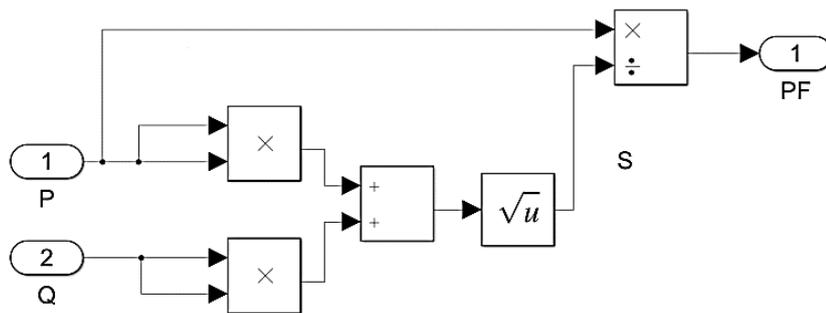
Magnitude (S) dirumuskan sebagai berikut.

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} \dots\dots\dots (2)$$

Nilai pf atau $\cos \Phi$ didapat dari persamaan berikut:

$$pf = \frac{P}{S} \dots\dots\dots (3)$$

Rancangan model matematik untuk ketiga persamaan tersebut diperlihatkan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Model Matematik pf

Besarnya sudut Φ dapat dihitung berdasarkan persamaan 4:

$$\phi = \cos^{-1} \frac{P}{S} \dots\dots\dots (4)$$

Matlab Simulink memberikan nilai sudut dalam satuan radian. Agar sudut Φ dapat ditampilkan dalam satuan derajat, maka dibutuhkan konversi bahwa $180^0 = \pi \text{ rad}$, sehingga dirumuskan dengan Persaman 5.

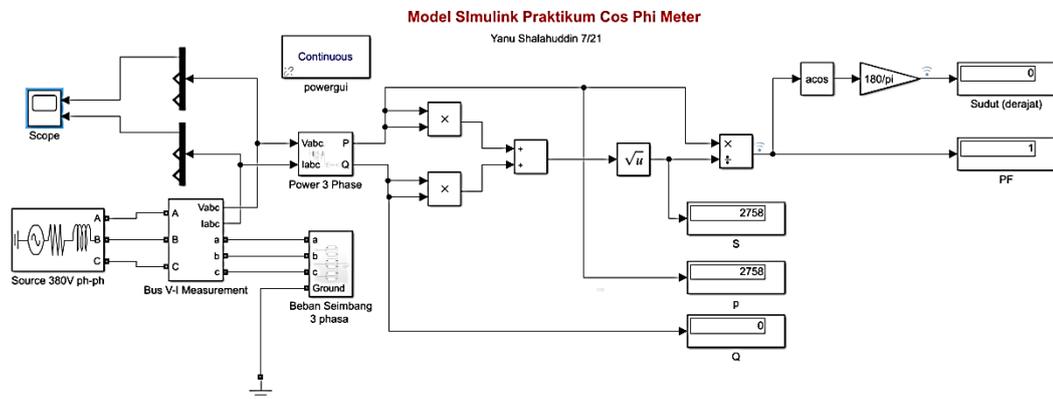
$$1 \text{ rad} = \frac{180^0}{\pi} \dots\dots\dots (4)$$

Model Simulink konversi radian kederajat diberikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Konversi radian-derajat

Model Simulink praktikum pengukuran power faktor secara keseluruhan diberikan pada Gambar 6.

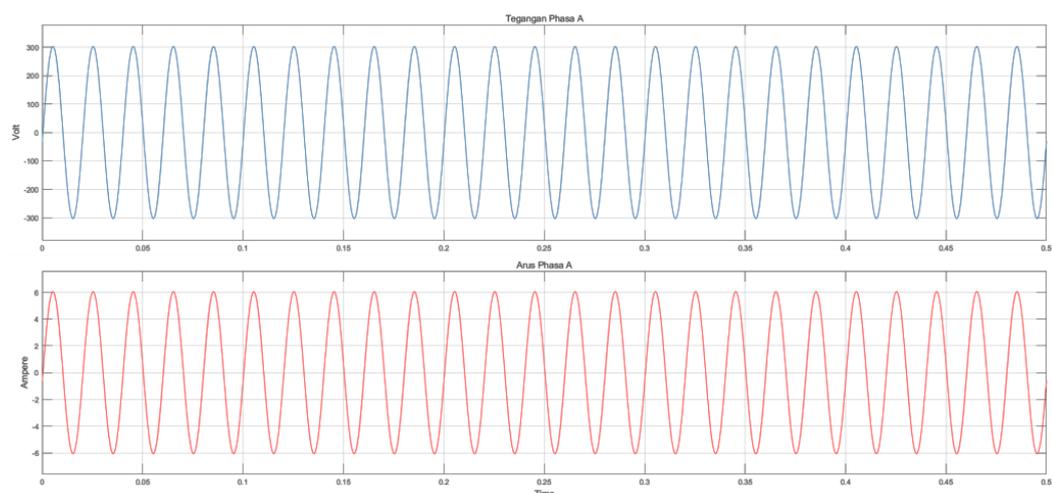


Gambar 6. Model Simulink praktikum pengukuran power faktor

2.3.1. Pengujian Model

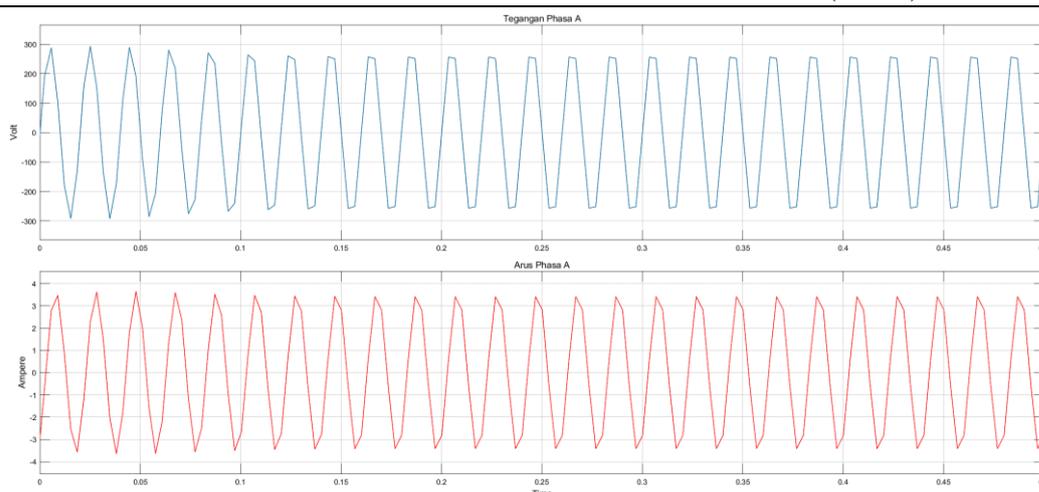
Hasil rancangan model penelitian perlu dilakukan pengujian untuk dilihat hasilnya. Apabila belum sesuai maka perlu perubahan pada blok parameter, nilai parameter, atau rangkaian model. Pengujian model simulasi dijalankan dalam dua tahap untuk memeriksa apakah model memberikan hasil simulasi sesuai perhitungan. Tahap pertama, memeriksa bentuk gelombang tegangan dan arus 1 fasa. Tahap kedua, memeriksa hasil untuk S , P , Q , pf , dan Φ .

Pada pengujian tahap pertama, diberikan nilai R sebesar 50 Ohm, beban resistif murni dengan memberikan nilai L dan C adalah 0. Selanjutnya beban resistif induktif dengan menambahkan nilai $L = 0,2$ H dengan nilai C tetap 0. Di bagian akhir diberikan nilai $C = 20\mu\text{F}$ dengan masing-masing nilai R dan L tetap. Pengamatan dilakukan pada bentuk gelombang tegangan dan arus fasa A. Hasil diperlihatkan pada Gambar 7, 8, dan 9.



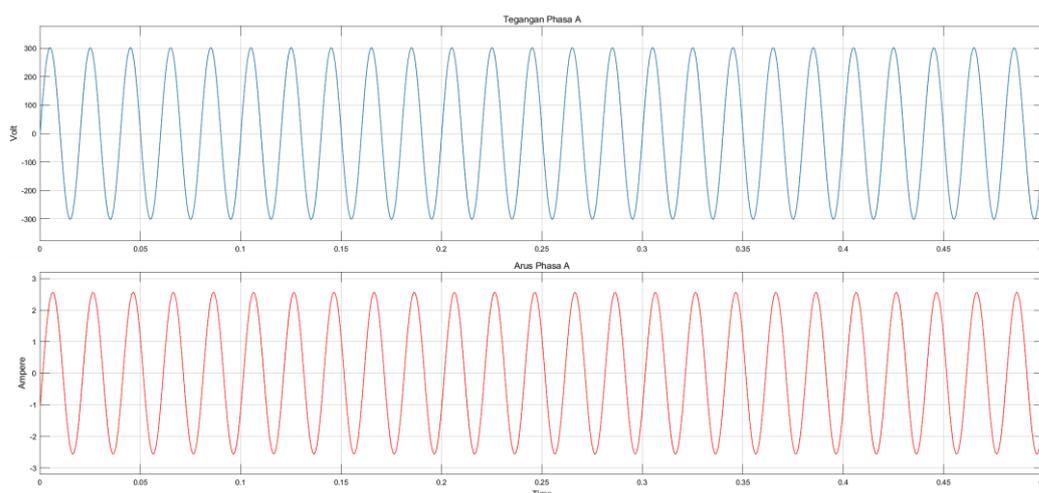
Gambar 7. Beban Resistif Murni

Terlihat pada Gambar 7, bentuk gelombang tegangan dan arus fasa A adalah sinusoida murni.



Gambar 8. Beban Resistif-Induktif

Beban resistif induktif menghasilkan bentuk gelombang tegangan dan arus berupa sinusoidal yang cacat, seperti ditunjukkan dalam Gambar 8.



Gambar 9. Beban Resistif-Induktif dengan Kompensasi C

Dipasangkannya kapasitor paralel terhadap beban resistif-induktif dapat memberikan kompensasi berupa naiknya nilai pf dan juga pulihnya bentuk gelombang mendekati bentuk sinusoida murni. Berdasarkan hasil pengamatan grafik bentuk gelombang, maka model praktikum dinyatakan sesuai.

Pengamatan berikutnya adalah nilai pembacaan untuk daya semu (S), daya aktif (P), daya reaktif (Q), faktor daya, dan Φ . Hasil pembacaan berdasarkan variasi seperti pengujian tahap pertama diperlihatkan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Pengujian Tahap kedua

R (Ohm)	L (Henry)	C (Farad)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	pf	Φ
50	0	0	2758	2758	0	1	0
50	0.2	0	1606	1000	1257	0.6228	51.48
50	0.2	2e-5	1166	1064	475.3	0.9131	24.06

Berdasarkan tabel 2. Saat beban resistif murni faktor daya sebesar 1. Ketika diberikan beban induktif faktor daya menjadi turun dan saat diberikan kompensasi dengan memberikan kapasitor yang terangkai paralel terhadap beban, maka nilai faktor daya menjadi naik. Berdasarkan hal tersebut pengujian tahap kedua dapat dilalui dengan baik.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi model praktikum ditampilkan pada Tabel 3. Hasil yang dibahas berupa variasi untuk besarnya beban induktif (L) serta variasi dari besarnya kapasitor untuk mengkompensasi nilai faktor daya.

Tabel 3. Hasil simulasi model praktikum

No.	R (Ω)	L (H)	C (F)	S (VA)	P (Watt)	Q (VAR)	pf	Φ ($^\circ$)
1	10	0	0	9903	9903	3.9e-13	1	0
2	10	5e-3	0	8878	8771	1378	0.9879	8.926
3	10	1e-2	0	8035	7665	2408	0.954	17.44
4	10	2e-2	0	6802	5760	3618	0.8468	32.14
5	10	3e-2	0	5963	4340	4089	0.7278	43.3
6	10	4e-2	0	5336	3323	4175	0.6228	51.48
7	10	4e-2	2e-5	5176	3492	3821	0.6746	47.57
8	10	4e-2	8e-5	4775	4079	2482	0.8543	31.32
9	10	4e-2	14e-5	4858	4822	590	0.9926	6.976
10	10	4e-2	33e-5	15580	8986	-12730	0.5767	54.78

Data pada Tabel 3 menggambarkan bahwa saat beban resistif murni, daya semu terkonversi seluruhnya menjadi daya aktif, sehingga $pf = 1$. Saat beban tersebut, daya reaktif masih ada sebesar 3,9e-13, nilai ini sangat kecil mendekati 0, sehingga masih dalam batas toleransi.

Data selanjutnya, yaitu data kedua sampai dengan data keenam, nilai induktansi (L) diberikan mulai dari 5e-3 H – 4e-2 H. Hasil simulasi menunjukkan nilai P yang semakin mengecil sedangkan nilai Q semakin meningkat. Hasil tersebut menyebabkan power faktor menurun antara 0,9879 – 0,6228. Hal ini sesuai dengan teori, bahwa semakin besar L pada beban resistif-induktif maka semakin rendah pf -nya.

Hasil simulasi dengan menerapkan kapasitor sebagai kompensasi memperlihatkan hasil sebagai berikut, seperti diperlihatkan tabel 3 data ketujuh sampai dengan kesepuluh. Data ketujuh dengan memberikan nilai C sebesar 2e-5 F, didapatkan hasil peningkatan pf sebesar 0,0518 dibanding nilai $C = 0$. Berturut-turut terjadi peningkatan nilai pf saat nilai C dinaikkan menjadi 8e-5 F dan 14e-5 F. Saat $C = 14e-5$ F merupakan nilai kompensasi terbaik karena $pf = 0,9926$ atau mendekati 1. Sedangkan apabila C diperbesar lagi, yaitu 33e-5 F, nilai S meningkat sangat tinggi dan nilai Q membesar dalam angka negatif sedangkan pf turun sangat rendah sebesar 0,5767. Hal ini menunjukkan bahwa untuk memberikan kompensasi faktor daya pada beban resistif-induktif nilai kapasitansi harus diperhitungkan dengan tepat agar tidak justru menimbulkan kerugian.

4. KESIMPULAN

Hasil simulasi model praktikum pengukuran pf menggunakan *Matlab Simulink* menjelaskan beberapa poin penting, yaitu;

- Beban resistif murni menghasilkan bentuk gelombang tegangan dan arus sinusoida murni, beban resistif-induktif menghasilkan bentuk gelombang sinusoida yang cacat. Kompensasi dengan kapasitor dengan nilai yang tepat dapat mengembalikan bentuk gelombang mendekati sinusoida murni.
- Semakin besar induktansi pada beban resistif-induktif berakibat turunnya pf . Pemilihan kapasitansi yang tepat dapat mengembalikan nilai pf mendekati 1.
- Model praktikum simulasi dapat menggantikan peran alat-alat laboratorium sehingga mahasiswa dapat membuktikan pengetahuan teori yang telah didapatkan pada materi kuliah.
- Praktikum simulasi berbasis simulink menjadikan mahasiswa dapat melakukan praktek secara mandiri dengan menggunakan *software Matlab Simulink*. Kelebihan praktikum simulasi adalah mahasiswa dapat melakukan inovasi dengan mengganti parameter, rangkaian, nilai beban untuk pemahaman lebih lanjut dalam mencari solusi permasalahan pf di lapangan.

- e. Model praktikum masih berpeluang untuk dikembangkan lebih lanjut misalnya untuk beban 3 fasa tidak seimbang, menghitung beda fasa antara arus dan tegangan serta permasalahan lain yang mungkin timbul di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Dinata dan W. Sunanda, "Implementasi wireless monitoring energi listrik berbasis web database," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 4, no. 1, hal. 83–88, 2015.
 - [2] D. P. Alfauzi, A. G. Permana, dan A. Novianti, "Rancang Bangun Alat Perbaikan Faktor Daya Listrik Satu Fasa Berbasis Mikrokontroler," *eProceedings Appl. Sci.*, vol. 5, no. 3, 2019.
 - [3] A. Aripriharta, N. Mardianto, H. Amri, dan M. Muharnis, "Rancang Bangun Simulator Perbaikan Faktor Daya Listrik Sebagai Modul Praktikum di Laboratorium Elektronika Daya," *INOVTEK-Seri Elektro*, vol. 2, no. 1, hal. 56–62, 2020.
 - [4] R. I. Sudjoko, "DESAIN DAN SIMULASI MONITORING DAYA SISTEM TIGA FASA MENGGUNAKAN MATLAB SIMULINK."
 - [5] I. Parinduri, "Model dan simulasi rangkaian RLC menggunakan aplikasi matlab metode simulink," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 1, no. 1, hal. 42–47, 2018.
 - [6] M. A. Cahyono dan R. Suwandi, "Pemodelan Matematik Sistem Hidrolik pada Main Landing Gear Extension dan Retraction Pesawat Boeing 737-900er dengan Program Matlab-simulink," *Angkasa J. Ilm. Bid. Teknol.*, vol. 9, no. 1, hal. 43–56, 2017.
 - [7] Sutrisno, *Elektronika Teori dan Penerapannya*. Bandung: ITB, 1986.
-