THETA OMEGA: Journal of Electrical Engineering, Computer, and Information Technology. 2021
e-ISSN: 2745-6412
p-ISSN: 2797-1740

AUDIT KUALITAS DAYA LISTRIK RUMAH SAKIT JIWA Prof. Dr SOEROJO MAGELANG

Septian Dwi Cahyo[1], Sapto Nisworo[2], Deria Pravitasari[3]
Teknik Elekto, Universitas Tidar
[1]*cahyodwi654@gmail.com* , [2]*saptonisworo@untidar.ac.id*, [3]*deria.pravitasari@untidar.ac.id*

INTISARI

Kualitas daya listrik yang andal dapat meminimal rugi-rugi daya listrik dari gangguan kelistrikan pada sistem distribusi. Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo memiliki peralatan medis dan elektronika yang dioperasikan setiap harinya. Peralatan tersebut memiliki investasi yang besar sehingga perlu adanya perawatan dari kerusakan. Rugi-rugi daya listrik diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban, faktor daya rendah dan tingginya harmonik. Rugi daya listrik dapat diminimalisir dengan perbaikan faktor daya dan perbaikan harmonik. Audit kualitas daya listrik merujuk pada standar IEC 61000, IEE STD 519 2014 dan PUIL 2011 (SNI 02225:2011). Hasil pengukuran kualitas daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo diperoleh kondisi beban tidak seimbang dan harmonik arus yang tidak sesuai standar. Perancangan filter dilakukan untuk perbaikan harmonik agar nilai Total Distorsi Harmonik ($THD_{I)}$ dapat turun sesuai standar dengan membuat simulasi pada *software PSIM*. Berdasarkan hasil simulasi nilai THD_I tanpa filter harmonik yang tinggi dapat menurunkan THD_I dari 25,21% menjadi 13,1% pada frekuensi 150Hz. Sedangkan perancangan filter single tuned frekuensi 250Hz dapat menurunkan THD_I dari 25,21% menjadi 13,1%. Penelitian audit kualitas daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. Soerojo dapat memberikan informasi bahan pertimbangan untuk memperoleh efisiensi penggunaan energi dan meningkatkan kualitas daya listrik.
Kata Kunci – ketidakseimbangan beban, faktor daya, harmonik, filter *single tuned*

ABSTRACT

Reliable electrical power quality can minimize electrical power losses from electrical disturbances in the distribution system. Rumah Sakit Prof Dr Soerojo has medical equipment and electronics that are operated every day. The equipment has a large investment so it needs maintenance from damage. Electrical power losses are caused by load imbalance, low power factor and high harmonics. Electrical power losses can be minimized by improving the power factor and improving the harmonics. Electrical power quality audit refers to IEC 61000, IEE STD 519 2014 and PUIL 2011 standards (SNI 02225:2011). The results of measuring the quality of electrical power at the Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo obtained unbalanced load conditions and current harmonics that are not up to standard. The filter design is carried out to improve harmonics so that the Total Harmonic Distortion (THD_I) value can decrease according to the standard by making a simulation on the PSIM software. Based on the simulation results, the THDI value without a high harmonic filter can reduce the THDI from 25,21% to 13,1% at a frequency of 150Hz. While the design of a single tuned filter with a frequency of 250Hz can reduce THDI from 25,21% to 13,1%. Electrical power quality audit research at Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo can provide information for consideration to obtain efficient use of energy and improve the quality of electrical power.
Keywords – *load imbalance, power factor, harmoik, single tuned filter*

e-ISSN: 2745-6412
p-ISSN: 2797-1740

PENDAHULUAN

Kualitas daya listrik yang andal dapat meminimal rugi-rugi daya listrik dari gangguan kelistrikan pada sistem distribusi. Faktor daya rendah dan distorsi harmonik merupakan penyebab turunnya kualitas daya listrik pada sistem distribusi. Penyebab turunnya kualitas daya listrik tersebut terdapat pada beban non linear (Irfan. I, dkk 2015).

Rumah sakit memiliki peralatan medis dan peralatan elektronika sebagai beban non linear. Beban non linear dapat mengakibatkan kerusakan dan mengurangi kinerja dari peralatan medis dan peralatan elektronika padahal peralatan tersebut memiliki biaya investaris yang besar (Scarpino & graso 2017).

Popa, G. N., dkk (2019) telah melakukan penelitian mengenai solusi untuk meningkatkan keamanan daya listrik pada rumah sakit. Penelitian tersebut fokus pada perbaikan harmonik dengan perancangan filter, namun belum membahas penurunan kualitas daya listrik akibat faktor daya.

Bhagatavhy, P., dkk (2018) telah melakukan penelitian mengenai audit energi di industri tekstil akibat beban induktif tinggi. Penelitian tersebut fokus pada faktor daya yang mempengaruhi kualitas daya listrik dengan melakukan evaluasi rencana mitigasi akibat faktor daya turun, namun belum menjelaskan penurunan kualitas daya listrik akibat harmonik.

Chenyi, L., dkk (2018) telah melakukan mengenai penurunan kualitas daya pada jaringan distribusi. Penelitian tersebut fokus pada rencana peningkatan kualitas daya listrik dengan koordinasi cerdas dan sistem kontrol namun, belum membahas penurunan kualitas daya akibat harmonik.

Meyyasa, P., dkk (2019) telah melakukan penelitian mengenai audit kualitas daya listrik akibat penurunan kualitas daya listrik. Penelitian tersebut fokus pada perbaikan faktor daya menggunakan kapasitor bank, namun belum membahas penurunan kualitas daya listrik akibat harmonik jadi belum diperoleh hasil efisiensi daya listrik yang maksimal,

Almanda (2015) telah melakukan penelitian mengenai audit penurunan kualitas daya akibat harmonik. Penelitian tersebut fokus pada kerugian akibat ditorsi harmonik dan ketidakseimbangan beban yang cukup besar, namun belum membahas kapasitas kapasitor bank dan filter untuk perbaikan daya listrik.

Parasian (2017) telah melakukan penelitian mengenai audit kualitas daya listrik yang diakibatkan nilai TDD_i tinggi. Penelitian tersebut fokus untuk perbaikan kualitas daya listrik akibat harmonik namun belum membahas penurunan kualitas daya akibat faktor daya.

Berdasarkan dari hasil analisis jurnal dan sejenisnya, audit kualitas daya listrik memang sudah banyak diteliti. Namun, untuk audit kualitas daya listrik dengan menggabungkan dua metode yaitu faktor daya dan harmonik untuk perbaikan penurunan kualitas daya listrik masih memungkinkan atau diteliti lebih lanjut.

Dengan demikian, kontribusi penelitian tentang audit kualitas daya listrik Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo adalah menyampaikan hasil penelitian tentang audit kualitas daya listrik dengan melakukan perancangan konpensasi faktor daya dan mitigasi harmonik dan analisis biaya perancangan. Sehingga, akan mendapatkan efisiensi penggunaan energi listrik dan meningkatkan kualitas daya listrik di Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo.

METODE PENELITIAN

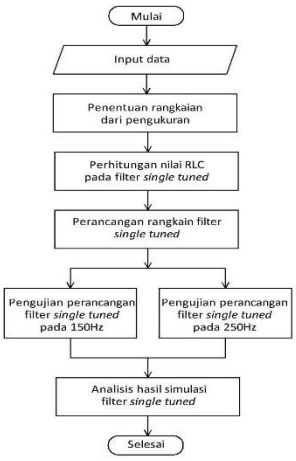
Metode penelitian dibutuhkan untuk mendukung kelancaran proses penelitian yang dilaksanakan dan menjelaskan metode yang dilakukan penulis . Gambar 1 metode penelitian sebagai berikut:



Gambar 1 Diagram alir penelitian

Simulasi perbaikan kualitas daya listrik setelah dilakukan analisis dan perhitungan perbaikan. Simulasi ini bertujuan untuk mengetahui keberhasilan perhitungan dan analisis perbaikan yang dilakukan. Pada Gambar 2 menunjukan diagram alir untuk perancangan simulasi menggunakan software *PSIM*:

e-ISSN: 2745-6412
p-ISSN: 2797-1740



Gambar 2 Diagram alir simulasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan penelitian ini mulai mengaudit kualitas daya listrik.

A. Rugi daya listrik

Rugi daya listrik diakibatkan oleh ketidakseimbangan beban, faktor daya dan harmonik. Rugi daya listrik dapat mengakibatkan kerusakan pada peralatan elektronik dan peningkatan biaya tagihan listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo. Kerugian daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo dapat dihitung dari data pengukuran sebagai berikut:

1. Rugi daya listrik akibat ketidakseimbangan beban

Perhitungan rugi daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo merujuk dari data pengukuran *power house* 1 dan 2 pada panel *MDP*. Perhitungan ketidakseimbagan beban *MDP* utama pada kabel fasa R, S dan T dari data pengukuran *power house* 1. Nilai ketidakseimbangan beban pada panel *MDP* utama *power house* 1 sebagai berikut:

$$I_{ketidakseimbangan} = \frac{\left|\frac{IR}{I\,rata-rata}-1\right|+\left|\frac{IS}{I\,rata-rata}-1\right|+\left|\frac{IT}{I\,rata-rata}-1\right|}{3} x100\%$$

$$I_{Ketidakseimbangan} = \frac{\left|\frac{221,5}{207}-1\right|+\left|\frac{223,8}{207}-1\right|+\left|\frac{175,7}{207}-1\right|}{3} \times 100\%$$

$$I_{ketidakseimbangan} = \frac{0,302}{3} \text{ x } 100\%$$

$$I_{ketidakseimbangan} = 10,08\%$$

Menghitung rugi rugi daya pada kawat netral akibat ketidakseimbangan beban dari data pengukuran panel *MDP*:

$P_N = I_N^2 \times R_n$

$= 59,57^2 \times 0,078$

$= 276,7$ Watt

Perhitungan ketidakseimbangan beban pada *MDP* utama *power house* 2 ditunjukkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1 Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban *MDP* utama 2

No	Parameter	Hasil
1	Ketidakseimbangan beban	17,7%
2	Rugi daya akibat ketidakseimbangan	39,1Watt
3	Standar Ketidakseimbangan beban	5%

Dari hasil perhitungan diperoleh rugi daya listrik akibat ketidakseimbangan beban mencapai 39,1Watt pada panel *MDP power house* 2.

2. Rugi daya listrik akibat faktor daya

Rugi daya listrik akibat faktor daya pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo berdasarkan dari data pengukuran *power house* 1 dan *power house* 2 pada panel *MDP*.

Hasil pengukuran faktor daya panel *MDP* utama 1 pada kabel fasa R, S dan T sebagai berikut:

Tabel 2 Hasil pengukuran faktor daya *MDP* utama 1

No	Fasa	Hasil Pengukuran	Standar
1	R_1	0,99	0,85
2	R_2	0,93	0,85
3	R_3	0,92	0,85
4	R_4	0,98	0,85
5	S_1	0,96	0,85
6	S_2	0,9	0,85
7	S_3	0,88	0,85
8	S_4	0,99	0,85
9	T_1	0,98	0,85
10	T_2	0,96	0,85
11	T_3	0,93	0,85
12	T_4	0,97	0,85

Hasil pengukuran faktor daya pada *MDP* utama 2 dilakukan pengukuran pada power house 2 fasa R,S dan T. Tabel 3 menunjukkan hasil pengukuran faktor daya sebagai berikut:

Tabel 3 Hasil pengukuran faktor daya *MDP* utama 2

No	Fasa	Hasil Pengukuran	Standar
1	R	0,92	0,85
2	S	0,91	0,85
3	T	0,9	0,85

3. Rugi daya listrik akibat harmonik

Rugi daya listrik akibat harmonik pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo berdasarkan dari data pengukuran pada *power house* 1 dan *power house* 2 pada panel *MDP*.

Hasil pengukuran THD_V panel *MDP* utama diukur pada kabel fasa R, S dan T. Hasil pengukuran harmonik tegangan panel *MDP* utama 1 pada Tabel 4 sebagai berikut:

Tabel 4.4 Tabel Hasil pengukuran THD_V MDP utama 1

No	fasa	THD_V (%)	Standar (%)
1	R_1	2,1	3
2	R_2	2,1	3

e-ISSN: 2745-6412
p-ISSN: 2797-1740

3	R_3	2,1	3
4	R_4	2,1	3
5	S_1	2,1	3
6	S_2	2,1	3
7	S_3	2,1	3
8	S_4	2	3
9	T_1	2,1	3
10	T_2	2,1	3
11	T_3	2,1	3
12	T_4	2,1	3

Nilai hasil pengukuran harmonik tegangan pada *MDP* utama 2 sebagai berikut:

Tabel 5 Hasil pengukuran THD_V *MDP* utama 2

No	Fasa	Hasil Pengukuran	Standar
1	R	2,1	3
2	S	2	3
3	T	2,1	3

Hasil pengukuran harmonik arus panel *MDP* utama 1 Tabel 6 pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo sebagai berikut:

Tabel 6 Hasil pengukuran THD_I *MDP* utama 1

No		THD_I (%)	Standar (%)
1	R_1	4,7	5
2	R_2	11	5
3	R_3	16	5
4	R_4	5	5
5	S_1	4,7	5
6	S_2	6,1	5
7	S_3	12,4	5
8	S_4	5,5	5
9	T_1	8,8	5
10	T_2	26	5
11	T_3	11,3	5
12	T_4	11,1	5

Nilai hasil pengukuran harmonik arus pada *MDP* utama 2 diukur pada kabel fasa R, S dan T. Pengukuran dilakukan sekali pada jam 13.00-13.30 pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo sebagai berikut:

Tabel 7 Hasil pengukuran THD_I *MDP* utama 2

No	Fasa	Hasil Pengukuran (%)	Standar (%)
1	R	4,3	5
2	S	4	5
3	T	4,2	5

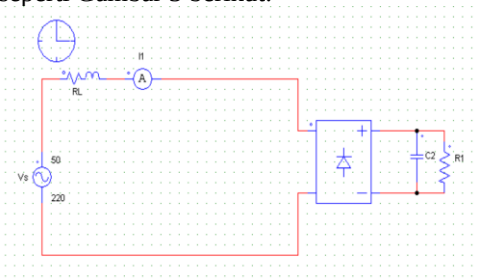
B. Perancangan filter perbaikan harmonik

Berdasarkan pengukuran dan perhitungan harmonik arus pada *MDP* utama dan *MDP* gedung-gedung yang dilakukan di Rumah Sakit Jiwa Dr soeroyo terdapat nilai harmonik yang tidak sesuai dengan standar. Oleh karena itu akan dilakukan perbaikan harmonik dengan perancangan filter pasif. Perancangan filter dengan perhitungan besaran komponen filter berdasarkan harmonik individu paling tinggi yang didapat dari hasil pengukuran. Untuk merancang filter, dibutuhkan identifikasi terhadap harmonik yang akan diperbaiki. Data arus harmonik terbesar dibutuhkan untuk menentukan harmonik orde berapa yang akan dilakukan perbaikan. Parameter yang akan digunakan untuk perancangan filter yaitu data pengukuran fasa S gedung rawat inap.

Berikut merupakan perancangan filter pasif *single tuned* yang akan digunakan untuk mereduksi harmonik arus ke-3:

1. Rangkain Fasa R

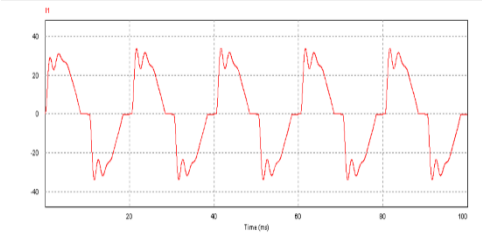
Nilai pada rangkaian *PSIM* tegangan 225,8Volt dengan nilai arus AC 27,25A pada frekuensi 50Hz. Setelah sumber terdapat rangkaian komponen R dan L yang berfungsi sebagai impedansi dengan nilai impedansi hambatan kawat 0,36 Ω dan induktan kawat 5×10^{-6}F. Pemilihan dioda digunakan untuk penyearah arus ke beban listrik. Pemilihan resistor berdasarkan dari arus pengukuran dan pemilihan kapasitor berdasarkan harmonik yang ada pada pengukuran. Nilai THDi pada pengukuran yang sudah dilakukan pada rumah sakit jiwa Dr soerojo dapat diajikan dasar untuk membuat ekivalen harmonik dengan merangkai komponen R dan C disusun secara pararel. Pararel nilai R dan C dapat ditentukan sedemikian rupa sampai mendekati nilai parameter yang telah ada. Rangkaian yang digunakan sebagai pengujian dapat ditentukan seperti Gambar 3 berikut:



Gambar 3 Rangkaian fasa S rawat jalan

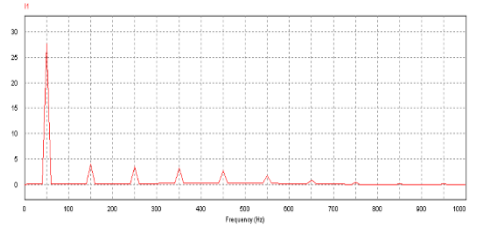
Setelah rangkaian Gambar 3 yang akan di simulasikan untuk perancangan filter sudah mendekati parameter dari pengukuran yaitu nilai arus 27,6A dan THD_I 25,02% dengan pemasangan nilai resistor pada rangkain 8,4 Ω dan kapasitor 220μF akan ditunjukkan bentuk gelombang arus. Berikut merupakan gambar gelombang arus:

e-ISSN: 2745-6412
p-ISSN: 2797-1740



Gambar 4 Bentuk gelombang arus

Visualisasi yang dihasilkan dengan PSIM untuk mencari nilai pengurangan terhadap harmonik yang terjadi pada arus. Untuk pengamatan lebih jelas akan ditampilkan spektrum FFT pada PSIM. Berikut Gambar 5 Spektrum gelombang sinusoidal arus sebelum pemasangan filter:



Gambar 5 Grafik nilai arus

Berdasarkan Gambar 5 dapat dilihat spektrum gelombang arus rangkaian fasa S rawat jalan. Dari gambar tersebut dapat ditabelkan dan dihitung nilai THD_I pada rangkaian berikut:

Tabel 8 Perbandingan nialai arus pengukuran dan pada rangkaian PSIM

Orde	Frekuensi	I Pengukuran	I Rangkaian	Selisih nilai arus
1	50	27,25	27,6	0,35
2	100	0,05	0,17	0,12
3	150	4,2	3,75	0,45
4	200	0,06	0,19	0,13
5	250	3,6	3,6	0
6	300	0,04	0,24	0,2
7	350	2,82	3,03	0,21
8	400	0,03	0,33	0,3
9	450	2,06	2,74	0,68
10	500	0,02	0,3	0,28
11	550	1,42	1,7	0,28
12	600	0,03	0,2	0,17
13	650	1,02	0,7	0,32
14	700	0,02	0,2	0,18
15	750	0,8	0,4	0,4
16	800	0,01	0,07	0,06
17	850	0,35	0,18	0,17
18	900	0,02	0,04	0,02
19	950	0,39	0,014	0,376
20	1000	0,02	0,01	0,01

Berdasarkan pengukuran dan rangkaian *PSIM* nilai THD_I pada fasa S rawat jalan pada pengukuran memperoleh 25,09% dan pada rangkaian nilai THD_I memperoleh 25,21%. Nilai parameter rangkaian dan nilai parameter pengukuran sudah mendekati yang kemudian akan dirancang filter untuk perbaikan.

2. Perancangan filter

Penentuan nilai kapasitor merujuk pada ketetapan nilai yang sudah ditentukan. Penentuan orde harmonik yang akan diperbaiki dengan mempertimbangkan dari data pengukuran. Berikut merupakan perhitungan nilai kapasitor perancangan filter yang akan digunakan berdasarkan persamaan 2.19 pada bab 2 untuk mereduksi harmonik arus ke-3:

$$Q_C = P\,(\tan(\cos^{-1}\varphi 1 - \cos^{-1}\varphi 2)\ \text{kVAR}$$

$$Q_C = 3{,}848\ \text{Tan}(\cos^{-1}0{,}92) - \text{Tan}\,(\cos^{-1}0{,}99)$$

$$Q_C = 3{,}848\ \text{Tan}\,(23{,}07) - \text{Tan}(8{,}1)\ \text{kVAR}$$

$$Q_c = 1{,}091\text{Kvar}$$

Dari perhitungan diperoleh nilai daya reaktif 1,091Kvar. Kemudian menentukan frekuensi tuning, untuk faktor keamanan filter dituning 5% dibawah orde aslinya:

$$h = 3 - (5\% \times 3)$$

$$h = 2{,}85$$

Setelah mendapatkan nilai daya reaktif yang dibututuhkan frekuensi tuning, akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai kapasitor sebagai berikut:

$$C = \frac{QC}{2 \times \pi \times F \times V^2}$$

$$C = \frac{1091}{2 \times 3{,}14 \times 150 \times 225^2} \times 10^6$$

$$C = 22{,}6\ \mu F$$

Penentuan nilai kapasitor berdasarkan nilai standar kapasitor yang ada pada Tabel 9 berikut:

Tabel 9 Nilai kapasitor tetap

pF	pF	pF	pF	µF	µF	µF	µF	µF	µF	µF
1.0	10	100	1000	0.01	0.1	1.0	10	100	1000	10,000
1.1	11	110	1100							
1.2	12	120	1200							
1.3	13	130	1300							
1.5	15	150	1500	0.015	0.15	1.5	15	150	1500	
1.6	16	160	1600							
1.8	18	180	1800							
2.0	20	200	2000							
2.2	22	220	2200	0.022	0.22	2.2	22	220	2200	
2.4	24	240	2400							
2.7	27	270	2700							
3.0	30	300	3000							
3.3	33	330	3300	0.033	0.33	3.3	33	330	3300	
3.6	36	360	3600							
3.9	39	390	3900							
4.3	43	430	4300							
4.7	47	470	4700	0.047	0.47	4.7	47	470	4700	
5.1	51	510	5100							
5.6	56	560	5600							
6.2	62	620	6200							
6.8	68	680	6800	0.068	0.68	6.8	68	680	6800	
7.5	75	750	7500							
8.2	82	820	8200							
9.1	91	910	9100							

Berdasarkan Tabel 9, akan dilakukan perhitungan untuk menentukan nilai induktor jika nilai kapasitor 22 µF dan nilai frekuensi resonansi berdasarkan pada frekuensi harmonik yang akan diperbaiki.

Dengan memperoleh nilai kapasitor 22 µF akan dilakukan perhitungan nilai induktor untuk perancangan filter. Besar induktansi induktor dapat dihitung sebagai berikut:

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$f = \frac{1}{4\pi^2 LC}$$

$$150^2 = \frac{1}{4 \times 3{,}14^2 \times L \times 22 \times 10^{-6}}$$

$$22500 = \frac{1}{4 \times 3{,}14^2 \times L \times 22 \times 10^{-6}}$$

$$22500 = \frac{1}{867{,}64 \times 10^{-6} \times L}$$

$$L = \frac{1}{19{,}521}$$

$$L = 0{,}0512H$$

Dari persamaan diatas diperoleh nilai induktor 0,0512H. Setelah mendapatkan nilai induktor yang dibututuhkan, akan dilakukan perhitungan niali reaktansi dari kapasitor sebagai berikut:

$$Xc = \frac{1}{2 \times \pi \times F \times C}$$

$$Xc = \frac{1}{2 \times 3{,}14 \times 150 \times 0{,}000022}$$

$$Xc = 48{,}25\Omega$$

Dari perhitungan didapatkan nilai reaktansi kapasitor 48,4 Ω. Kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai reaktansi induktan pada induktor. Menghitung karateristik reaktansi induktan dapat dilakukan perhitungan sebagai berikut:

$$X_L = 2 \times \pi \times F \times L$$

$$X_L = 2 \times 3{,}14 \times 150 \times 0{,}0152$$

$$X_L = 48{,}25\Omega$$

Dari perhitungan didapatkan nilai reaktansi Induktor 48,5Ω. Kemudian langkah selanjutnya adalah menentukan besarnya nilai resistansi. Dari nilai kareteristik reaktansi yang didapatkan , besarnya resistansi filter dapat dihitung sebagai berikut:

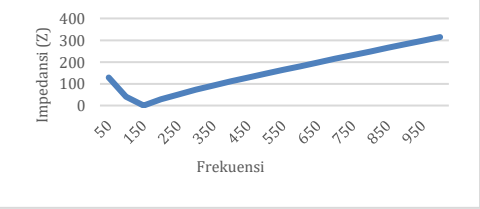
$$R = \frac{X_C}{Q}$$

$$R = \frac{48{,}25}{1091}$$

$$R = 0{,}0436\ \Omega$$

3. Perancangan filter *single tuned* 150Hz

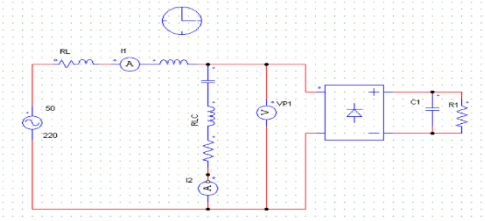
Setelah dilakukan penghitungan nilai filter yang akan digunakan, maka diperlukan rancangan filternya. Filter yang digunakan adalah filter *single-tuned* untuk mereduksi arus harmonik pada orde ke 3. Berikut merupakan kurva karateristik filter single tuned 150Hz:



Gambar 6 Kurva karateristik filter single tuned 150 Hz

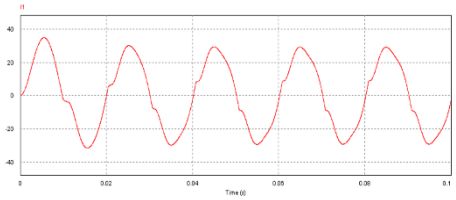
Pada saat resonansi terjadi nilai reaktansi induktif sama dengan nilai reaktansi kapasitif berbeda fasa sehingga akan saling menghilangkan. Pada keadaan ini nilai impedansi filter menjadi menjadi sangat kecil hanya sebesar nilai R dari induktor sehingga akan mengalir arus harmonik ke netral.

Setelah dilakukan penghitungan nilai filter yang akan digunakan, maka diperlukan rancangan filternya. Filter yang digunakan adalah filter *single-tuned* untuk mereduksi arus harmonik pada orde ke 3. Gambar 7 di bawah ini merupakan perancangan yang digunakan:



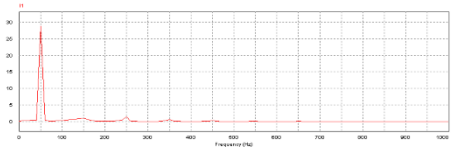
Gambar 7 Rangkaian single tuned filter pada 150Hz

Nilai arus keluaran setelah dilakukan penambahan filter untuk mereduksi harmonik ke-3. Gambar 4.8 merupakan grafik nilai arus keluaran gedung dengan waktu pengujian 0.1 detik.



Gambar 8 Grafik bentuk arus setelah difilter pada 150 Hz

Visualisasi yang dihasilkan dengan PSIM untuk mencari nilai pengurangan terhadap harmonik yang terjadi pada arus. Untuk pengamatan lebih jelas akan ditampilkan spektrum FFT pada PSIM . Berikut Gambar 9 Spektrum gelombang sinusoidal arus sebelum pemasangan filter:



Gambar 9 Nilai arus setelah difilter 150Hz

Setelah memperoleh grafik nilai harmonik akan ditunjukkan tabel pembanding antara nilai arus sebelum difilter dengan sesudah difilter pada 150Hz. Pembanding arus digunakan untuk mengetahui nilai penambahan arus dari impedansi frekuensi fundamental dan mengetahui nilai penurunan arus setelah pemasangan filter *single tuned* pada frekuensi 150Hz pada Tabel 10 berikut:

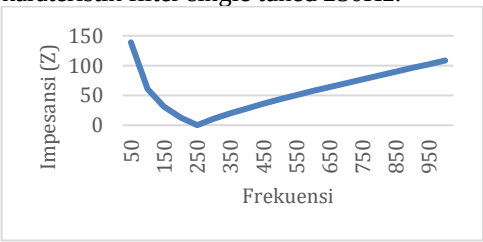
Tabel 10 Perbandingan nilai arus harmonik setelah difilter 150Hz

Frekuensi	I tanpa filter	I dengan filter (150Hz)	Selisih nilai arus	Presentase (%)
50	27,6	28,1	0,5	1,779359431
100	0,17	0,36	0,19	0,676156584
150	3,75	1,04	2,71	9,644128114
200	0,19	0,13	0,06	0,213523132
250	3,6	1,45	2,15	7,651245552
300	0,24	0,016	0,224	0,797153025
350	3,03	0,64	2,39	8,505338078
400	0,33	0,03	0,3	1,067615658
450	2,74	0,31	2,43	8,647686833
500	0,3	0,036	0,264	0,939501779
550	1,7	0,17	1,53	5,444839858
600	0,2	0,03	0,17	0,604982206
650	0,7	0,11	0,59	2,099644128
700	0,2	0,031	0,169	0,601423488
750	0,4	0,07	0,33	1,174377224
800	0,07	0,02	0,05	0,177935943
850	0,18	0,05	0,13	0,462633452
900	0,04	0,02	0,02	0,071174377
950	0,014	0,04	0,026	0,09252669
1000	0,01	0,01	0	0

Berdasarkan Tabel 10 dan Gambar 9 sebelum dipasang filter dan sesudah dipasang filter pada frekuensi 150 Hz, diperoleh kenaikan arus pada frekuensi 50Hz dan 100 Hz dengan nilai 0,69A atau 2,4%. Sedangkan pada frekuensi 150Hz sampai 1000Hz diperoleh penurunan arus dengan nilai 13,54A atau 48,1%. Sehingga perancangan filter *single tuned* pada frekuensi 150Hz memperoleh keuntunga arus 12,85A atau 45,7%. Filter *single tuned* pada 150Hz dapat menurunkan nilai THD_I dari 25,21% menjadi 6,84%.

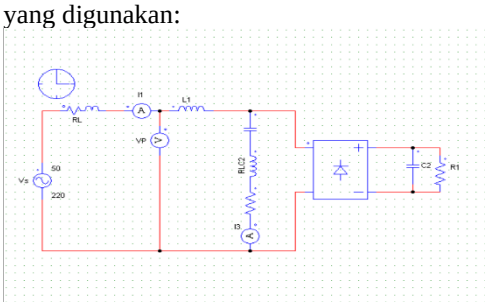
4. Perancangan filter pada 250Hz

Setelah dilakukan penghitungan nilai filter yang akan digunakan, maka diperlukan rancangan filternya. Filter yang digunakan adalah filter *single-tuned* untuk mereduksi arus harmonik pada orde ke 5 atau pada 250Hz. Berikut merupakan kurva karateristik filter single tuned 250Hz:



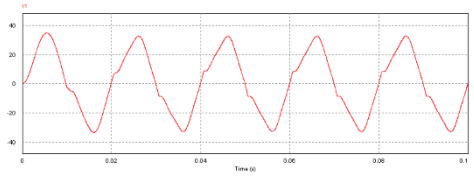
Gambar 10 Kurva karateristik filter single tuned 250 Hz

Setelah dilakukan penghitungan nilai filter yang akan digunakan, maka diperlukan rancangan filternya. Filter yang digunakan adalah filter *single-tuned* untuk mereduksi arus harmonik pada orde ke 5. Gambar 11 di bawah ini merupakan perancangan yang digunakan:



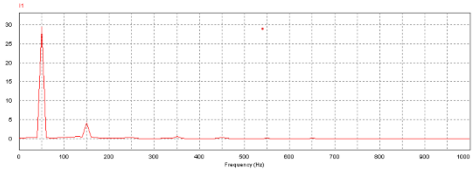
Gambar 11 Rangkaian *single tuned* filter pada 250Hz

Nilai arus keluaran setelah dilakukan penambahan filter untuk mereduksi nilai harmonik orde ke-5. Gambar 12 merupakan grafik nilai arus keluaran dengan waktu pengujian 0.1 detik.



Gambar 12 Grafik bentuk arus setelah pemasangan filter pada 250 Hz

Visualisasi yang dihasilkan dengan PSIM untuk mencari nilai pengurangan terhadap harmonik yang terjadi pada arus. Untuk pengamatan lebih jelas akan ditampilkan spektrum FFT pada PSIM . Berikut Gambar 13 Spektrum gelombang sinusoidal arus sebelum pemasangan filter:



Gambar 13 Nilai gelombang arus setelah pemasangan filter pada 250 Hz

Setelah memperoleh grafik nilai harmonik akan ditunjukkan tabel pembanding antara nilai arus sebelum difilter dengan sesudah difilter pada 250Hz. Pembanding arus digunakan untuk mengetahui nilai penambahan arus dari impedansi frekuensi fundamental dan mengetahui nilai penurunan arus setelah pemasangan filter *single tuned* pada frekuensi 150Hz pada Tabel 4.11 berikut:

Tabel 11 Perbandingan nilai arus harmonik setelah difilter 250Hz

Frekuensi	I tanpa filter	I dengan filter 150Hz	Selisih nilai arus	Presentase (%)
50	27,6	29,3	1,7	6,049822064
100	0,17	0,35	0,18	0,640569395
150	3,75	3,76	0,01	0,035587189
200	0,19	0,2	0,01	0,035587189
250	3,6	0,24	3,36	11,95729537
300	0,24	0,04	0,2	0,711743772
350	3,03	0,6	2,43	8,647686833
400	0,33	0,03	0,3	1,067615658
450	2,74	0,3	2,44	8,683274021
500	0,3	0,02	0,28	0,996441281
550	1,7	0,1	1,6	5,693950178
600	0,2	0,019	0,181	0,644128114
650	0,7	0,1	0,6	2,135231317
700	0,2	0,01	0,19	0,676156584
750	0,4	0,08	0,32	1,138790036
800	0,07	0,01	0,06	0,213523132
850	0,18	0,06	0,12	0,427046263
900	0,04	0,01	0,03	0,106761566
950	0,014	0,04	0,026	0,09252669
1000	0,01	0,01	0	0

5. Rancangan anggaran biaya

Rancangan anggaran biaya audit kualitas daya listrik Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo ditunjukkan Tabel 12 berikut:

Tabel 12 Rancangan anggaran biaya

Nama	Jumlah
Rapat koordinasi internal	Rp 900.000,00
Paparan Awal, Studi Lapangan, dan Survei Lapangan	Rp 9.200.000,00
Rekapitulasi data	Rp 900.000,00
Analisis data	Rp 4.500.000,00
Penyusunan laporan	Rp 1.800.000,00
Presentasi hasil audit	Rp 5.900.000,00
Lain-lain	Rp 1.250.000,00
Total RAB	**Rp 24.450.000,00**

C. Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian audit kualitas daya listrik dihasilkan ketidakseimbangan beban pada power house 1 mencapai 10,9% dan power house 2 17,7%. Berdasarkan standar IEC 61000 ditetapkan untuk ketidakseimbangan beban adalah 5%. Ketidakseimbangan beban akan berpengaruh terhadap arus nilai netral, apabila nilai ketidakseimbangan arus semakin besar akan mengakibatkan arus netral semakin meningkat.

Nilai faktor daya dari hasil penelitian pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo diperoleh nilai diatas O,85. Dari hasil nilai faktor daya tersebut sudah sesuai dengan standar SPLN D5 2008 yaitu minimal 0,85. Nilai faktor daya pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo diatas 0,85 dikarenakan sudah terpasang kapasitor bank untuk meningkatkan faktor daya.

Hasil pengukuran harmonik tegangan diperoleh nilai teringgi 2,2% dan harmonik arus nilai tertinggi 60%. Berdasarkan standar IEE STD 519 2014 batas maksimal THD_V dengan nilai 3%dan THD_I 5%. Merujuk standar tersebut harmonik tegangan pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo sudah sesuai standar dan harmonik arus belum sesuai standar. Harmonik yang tinggi menyebabkan terjadinya panas dan kerusakan pada peralatan elektonik.

Berdasarkan penelitian (Rocibi Mustari, 2018) tentang perancangan filter *single tuned* pada orde 3 atau frekuensi 150Hz dapat menurunkan THD_I sebesar 10%. Sedangkan Perancangan filter single tuned untuk perbaikan harmonik pada Rumah Sakit Jiwa Prof Dr Soerojo frekuensi 150Hz diperoleh penurunkan nilai THD_I dari 25,21% menjadi 6,84%. Perancangan filter untuk *single tuned* pada frekuensi 250Hz dapat menurunkan nilai THD_I dari 25,21% menjadi 13,1%.

Rancangan anggaran biaya untuk audit kualitas daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr Soerojo sebesar Rp. 24.450.000,00. Rancangan anggaran biaya meliputi rapat koordinasi internal survei lapangan, analisis data, penyusunan laporan dan presentasi hasil audit.

KESIMPULAN

Berdasarkan data yang diperoleh dan hasil perhitungan serta simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan bahwa ketidakseimbangan beban Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo *power house* 1 mencapai 10,9% dan *power house* 2 mencapai 17,7%. Nilai faktor daya pada Rumah Sakit Jiwa Dr Soerojo dari pengukuran diperoleh nilai diatas standar yang dijinkan karena terdapat kapasitor bank. Tetapi untuk nilai harmonik arus setiap gedung masih tinggi dan tidak sesuai standar IEE STD 519 2014. Harmonik yang tinggi menyebabkan terjadinya panas dan kerusakan pada peralatan elektonik. Maka dari itu dilakukan perencanaan pemasangan filter *single tuned* pada frekuensi 150Hz dan 250Hz. Perancangan filter *single tuned* pada frekuensi 150Hz memperoleh keuntungan arus 12,85A atau 45,7%. Filter *single tuned* pada 150Hz dapat menurunkan nilai THD_I dari 25,21% menjadi 6,84%. Sedangkan perancangan filter *single tuned* pada frekuensi 250Hz memperoleh keuntungan arus 10,95A atau 36,4%. Filter *single tuned* pada 250Hz dapat menurunkan nilai THD_I dari 25,21% menjadi 13,1%. Sehingga perlu pemasangan filter agar peralatan elektonik bisa memperpanjang masa peralatan yang dioperasikan dan akan mengefisien daya yang digunakan. Rancangan anggaran biaya untuk audit kualitas daya listrik pada Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr Soerojo sebesar Rp. 24.450.000,00.

DAFTAR PUSTAKA

Almanda, D., & Kusuma, B, 2018, "Audit Energi Listrik Pabrik". *RESISTOR (Elektronika Kendali Telekomunikasi Tenaga Listrik Komputer)*, 1(1), 25-34.

Badruzzaman, Yusnan, Adi Wasono, & Mochammad Muqorrobin, 2017, "Rugi-Rugi Daya pada Bengkel Listrik Politeknik Negeri Semarang." *Prosiding Sentrinov (Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif)*. Vol. 3. No. 1.

Bhagavathy., P, R. Latha and S. Elango, 2018, "A Case Study on the Impact of Power Quality Analysis in Textile Industry," *2018 IEEE 13th International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS)*, Rupnagar, India, pp. 453-456, doi: 10.1109/ICIINFS.2018.8721407

CHENYI. L., X. LEI, H. SHUILIAN, Z. HENGDONG and F. XIAOBO, 2018, "Research of Comprehensive Application of Intelligent Low-Voltage Power Distribution Units in Improving Power Quality," *China International Conference on Electricity Distribution (CICED)*, Tianjin, China, 2018, pp. 551-554, doi: 10.1109/CICED.2018.8592208

Dinata, Irwan, & Wahri Sunanda. "Implementasi wireless monitoring energi listrik berbasis web database." *Jurnal Nasional Teknik Elektro* 4.1 (2015): 83-88.

Ernanto, Lugi Tri, 2018, "Evaluasi Kualitas Pelayanan Jiwa Di Instalasi PRJ Rumah Sakit Jiwa Prof. Dr. Soerojo Magelang." *JMAN jurnal mahasiswa Administrasi negara* 2.2 (2018): 52-65.

Hajar, Ibnu, & Suninda Megi Rahayuni, 2020, "Analisis Perbaikan Faktor Daya Menggunakan Kapasitor Bank Di Plant 6 PT. Indocement Tunggal Prakarsa Tbk. Unit Citeureup." *Setrum: Sistem Kendali-Tenaga-elektronika-telekomunikasi-komputer* 9.1 (2020): 8-16.

Hasanah, Aas Wasri, Tony Koerniawan, and Yuliansyah Yuliansyah, 2018, "Kajian Kualitas Daya Listrik Plts Sistem Off-Grid Di Stt-Pln." *Energi & Kelistrikan* 10. 2 : 93-101.

IEEE Standards Association. 519- 2014. IEEE Recommended Practice and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems. New York: IEEE Press; 2014

Meyyasa, P., Hartati, R. S., & Manuaba, I. B. G, 2019, "Analisa Kualitas Daya Listrik Instalasi Wing Amerta RSUP Sanglah Denpasar". *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro, 18*(2), Vol. 18, No. 2, p-ISSN:1693 – 2951; e-ISSN: 2503-2372.

Popa, G. N., C. M. Diniş, A. Iagăr and M. Lolea, 2019, "The Power Quality at an Electrical Power Station of the Hospital," *2019 11th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE)*, Bucharest, Romania, 2019, pp. 1-6, doi: 10.1109/ATEE.2019.8724988.

Prudenzi, A., Fioravanti, A., Petriconi, L., and Caracciolo, V., 2019, "Power Quality problems in hospital: a case study," *2019 IEEE Milan PowerTech*, Milan, Italy, pp. 1-6, doi: 10.1109/PTC.2019.8810682.

Roger C. Dugan and Mark. F. McGranaghan, 2002, Electrical Power Systems Quality. New York: McGraw-Hill; 2002.

Rozak, Ojak Abdul, 2019 "Simulasi Perbaikan THD pada Sistem Distribusi Listrik dengan Filter Harmonisa Berbasis Software ETAP 12.6. 0." *Journal of Electrical Power, Instrumentation and Control (EPIC). e-ISSN* (2019): 2614-8595.

Scarpino, P. A and Grasso, F. 2017, "Analisys of complex hospital electrical systems," *2017 AEIT International Annual Conference*, Cagliari, Italy, pp. 1-4, doi: 10.23919/AEIT.2017.8240571.

Syafrudin, R., & Arif Haidlir Abdul Rachman, 2018, "Analisis Total Harmonik Distorsi Pada Panel Acpdb Akibat Beban Non Linear." *Jurnal Online Sekolah Tinggi Teknologi Mandala* 13.2 (2018): 33-44.

Warrier, P. V., and Preetha P. K., 2015, "Power factor correction circuit with one cycle controlled bridgeless zeta converter for display monitors in hospitals," *TENCON 2015 - 2015 IEEE Region 10 Conference*, Macao, China, pp. 1-6, doi: 10.1109/TENCON.2015.7372886.

Wirawan, Fandi Juli, Abraham Lomi, & Bambang Prio Hartono, 2017, "Implementasi LCL Filter dalam Mereduksi Harmonisa Akibat Penggunaan VSD (Variable Speed Drive) untuk Meningkatkan Kualitas Daya dan Efisiensi Energi." *Magnetika: Jurnal Mahasiswa Teknik Elektro* 1.1 (2017): 1-7.