



Optimization of Harmony Improvement in Led Lights Using The MQPSO Method

Optimisasi Perbaikan Harmonisa Pada Lampu Led Menggunakan Metode MQPSO

Bintang Pratama Krisna Putra^{1)*}, Sabar Setiawidayat²⁾, Fachrudin Hunaini³⁾

^{1,2,3)}Department Electrical Engineering, Widyagama University Malang, Indonesia

¹⁾bintangpratama63@gmail.com

²⁾sabarset@widyagama.ac.id

³⁾fachrudin_h@widyagama.ac.id

Abstract Currently, there are many types of lighting used in the lighting field, one of which is LED lighting. Harmonics is a phenomenon in the electrical system that causes quality disturbances because the current waveform or voltage of the power source is distorted and can cause disturbances in the electrical system. In this research, matlab was used with the MQPSO method to optimize LED lamp harmonics and reduce the THD value. This method uses a series of LED lighting components to optimize harmonic values. The components that make up the LED light circuit in question are resistors, capacitors and inductors. The optimization results show the best R, L, and C values in the 53rd swarm (particle), and convergence values are achieved in the 17th iteration with a fitness value of 0.5 and an R1 value of 550 Ω , and R2 530 Ω , R3 220 Ω , C1 1.0409 μF , C2 1.0117 μF , C3 1.0221 μF , L1 4.9984 H. The resulting THD and C-RMS values are 1.4901% and 61.674%.

Keywords: LED Lights; Harmony; MQPSO

Abstrak Saat ini banyak sekali jenis pencahayaan yang digunakan dalam bidang pencahayaan, salah satunya adalah pencahayaan LED. Harmonisa merupakan suatu fenomena pada sistem kelistrikan yang menimbulkan gangguan kualitas karena bentuk gelombang arus atau tegangan sumber listrik mengalami distorsi dan dapat menimbulkan gangguan pada sistem kelistrikan. Pada penelitian ini digunakan matlab dengan metode MQPSO untuk mengoptimalkan harmonik lampu LED dan menurunkan nilai THD. Metode ini menggunakan rangkaian komponen lampu LED untuk mengoptimalkan nilai harmonik. Komponen penyusun rangkaian lampu LED yang dimaksud adalah resistor, kapasitor, dan induktor. Hasil optimasi menunjukkan nilai R, L, dan C terbaik di swarm (partikel) ke 53, dan dicapai nilai konvergensi pada iterasi ke 17 dengan nilai fitness sebesar 0,5 dan nilai R1 sebesar 550 Ω , dan R2 530 Ω , R3 220 Ω , C1 1,0409 μF , C2 1,0117 μF , C3 1,0221 μF , L1 4,9984 H. Hasil nilai THD dan C-RMS sebesar 1,4901 % dan 61,674%.

Kata Kunci: Lampu LED; Harmonisa; MQPSO

I. PENDAHULUAN

Perkembangan lampu hemat energi di Indonesia telah beralih ke lampu light-emitting diode (LED), yang diperkirakan akan mengonsumsi lebih sedikit daya bahkan dalam kondisi cahaya terang, dan banyak orang yang beralih dari lampu tabung lurus/lampu TL dan lampu pijar ke lampu hemat energi. Meskipun lampu jenis ini memiliki keunggulan daya yang rendah, namun bentuk lampu, variasi daya lampu, umur lampu, dan rasio kecerahan lampu yang ditentukan oleh produsen pada label kemasan semakin meningkatkan daya tariknya di mata konsumen. Lampu jenis ini mempunyai sifat kapasitif sehingga menghasilkan gejala yang harmonis. Hal ini mempengaruhi kualitas distribusi daya pada jaringan AC [1] [2].

Lampu LED memerlukan daya DC, sedangkan sistem kelistrikan biasanya ditenagai oleh sistem AC. Pemasangan rectifier sebagai bagian dari pemasok lampu LED menyebabkan lampu tersebut menghasilkan harmonisa [3]. Harmonisa merupakan fenomena pada sistem kelistrikan yang menimbulkan permasalahan kualitas dengan mendistorsi bentuk gelombang arus atau tegangan pada sumber tenaga listrik dan dapat menimbulkan bahaya pada peralatan listrik. Timbulnya harmonisa ini dapat menyebabkan gangguan pada sistem tenaga listrik dan merugikan produsen dan konsumen [1] [4].

Harmonisa dihasilkan oleh beban nonlinier yang terhubung ke jaringan listrik. Beban nonlinier seperti komputer, pengontrol logika terprogram (PLC), penggerak kecepatan variabel (VSD), modulasi lebar pulsa (PWM), peralatan tungku induksi, tungku busur, konverter, ballast elektronik untuk lampu neon, dan pengelasan listrik merupakan arus harmonik terjadi. Distorsi tegangan harmonik terjadi pada jaringan distribusi tenaga listrik. Distorsi harmonik ini mengganggu pengoperasian peralatan seperti komputer, trafo, motor, kabel listrik, dan peralatan kontrol elektronik yang terhubung ke jaringan yang sama [5] [6].

Faktor daya fundamental (cos phi) tetap baik, namun harmonisa arus dapat menurunkan faktor daya (PF – faktor daya sebenarnya). Saat menghitung faktor daya, akan lebih mudah menggunakan rumus PF (faktor daya sebenarnya), karena rumus ini memperhitungkan efek harmonisa [3]. Oleh karena itu, tingkat harmonisa arus pada titik-titik sambungan pelanggan harus dijaga dalam batas tertentu agar tingkat harmonisa tegangan di seluruh sistem tenaga listrik tetap memenuhi persyaratan [5].

MQPSO (*Modified Quantum behaved Particle Swarm Optimization*) merupakan pengembangan QPSO kuantum. MQPSO digunakan karena pada algoritma QPSO nilai global optimal hanya dapat dicari jika iterasi mendekati nilai tak terhingga. Pada aplikasinya nilai dari total iterasi merupakan bilangan real dan tidak dapat digantikan oleh bilangan tak hingga [7].

Penelitian yang dirancang bertujuan untuk

mengetahui dan membandingkan nilai nominal harmonisa sebelum dan sesudah dioptimisasi matlab Menggunakan metode *Modified Quantum behaved Particle Swarm Optimization (MQPSO)* [8]. Metode ini menggunakan komponen penyusun rangkaian lampu LED dalam mengoptimisasi nilai harmonisa. Adapun komponen penyusun rangkaian lampu LED yang dimaksud adalah: Resistor, Kapasitor, dan Induktor.

II. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, THD arus saat ini dihitung sebagai berikut [1]:

$$\%THD_I = \frac{\sqrt{I_3^2 + I_5^2 + I_7^2 + \dots + I_n^2}}{I_1} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:
 I= arus (ampere)
 n=jumlah orde

Rangkaian lampu LED terdiri dari semua komponen yaitu komponen aktif dan komponen pasif [9].

[Figure 1 about here]

Rangkaian ini menghasilkan THD atau total harmonic distortion arus, oleh sebab itu akan dilakukan penurunan nilai THD arus dengan mengoptimisasi nilai komponen rangkaian lampu LED melalui matlab simulink menggunakan metode MQPSO, sebagaimana rumus berikut [7]:

$$v_i(t + 1) = wv_t(t) + c_1r_1(pbest_t - x_t(t)) + c_2r_2(gbest_t - x_t(t))$$

$$x_i(t + 1) = x_i(t) + v_i(t + 1)$$

Di MQPSO, penambahan variabel gbest digunakan dalam persamaan untuk menghitung penarik global. Untuk memperoleh hasil yang optimal, perhitungannya menggunakan rata-rata selisih gbest dan mbest serta posisi partikel.

Untuk menghitung posisi partikel dari MQPSO, gunakan rumus berikut [8]:

$$x_i(t + 1) = p_i \pm \alpha \frac{(gbest - x_i(t)) + (mbest - x_i(t))}{2} *$$

$$\ln\left(\frac{1}{u}\right) u \approx U(0,1)$$

Dalam penentuan komponen rangkaian lampu LED untuk mengoptimisasi nilai THD, maka digunakan unsur sebagai berikut:

1. Particle / Swarm Size : 64
2. Jumlah Komponen /material : 7 buah (R1,R2,R3,C1,C2,C3,L1)
3. Maksimal Iterasi : 100 kali
4. Parameter MQPSO :

- $w1 = 0,5$
- $w2 = 0$
- $c1 = 1$
- $c2 = 1$
- $\alpha = d$
- $p = (c1*fi.*pbest(i,:) + c2*(1-fi).*gbest)/(c1 + c2);$
- $u = rand(1,d)$
- $b = \alpha(\text{iter},1) * \text{abs}(\text{swarm}(i,:) - \text{mbest});$
- $v = \log(1,d)$

[Figure 2 about here.]

Gambar 2 tersebut adalah model sistem rangkaian lampu LED yang akan dioptimisasi untuk menurunkan nilai THD arus dan diproses juga untuk nilai C-RMS sehingga akan didapatkan fitness/error pada sistem rangkaian lampu LED tersebut, kemudian hasilnya akan ditampilkan pada display THD dan C-RMS.

[Figure 3 about here.]

Dari gambar 3 tersebut didapatkan nilai THD arus mengalami kenaikan sebelum optimisasi sebesar 10,09%.

[Figure 4 about here.]

Dari gambar 4 konvergen fitness di atas selama 100 kali iterasi didapatkan hasil bahwa di iterasi ke 17 nilai sudah konstan dan tidak mengalami perubahan, untuk nilai fitness 0,5.

[Tabel 1 about here]

Berikut diatas adalah tabel perbandingan hasil nilai komponen R,L,dan C sebelum optimisasi.

[Tabel 2 about here]

Berikut diatas adalah tabel perbandingan hasil THD arus, C-RMS sebelum optimisasi.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada simulasi Software dilakukan optimisasi menggunakan Software Matlab sebagaimana flowchart simulasi perbaikan THD arus. Proses optimisasi pada rangkaian lampu LED untuk menghasilkan nilai THD arus terbaik menggunakan metode MQPSO dengan proses 100 kali iterasi. Sesudah dilakukan optimisasi pada rangkaian lampu LED untuk menurunkan nilai THD, didapatkan data tabel nilai komponen lampu LED, THD arus dan c-rms.

Berikut di bawah ini adalah tabel nilai komponen lampu LED R,L, dan C setiap swarm (partikel) dari nomor 1 sampai 64.

[Tabel 3 about here]

Dari data tabel swarm (partikel) di atas, pada swarm ke 53 nilai R,L, dan C sudah mendapatkan nilai yang terbaik.

[Tabel 4 about here]

Tabel perbandingan komponen R, L, C sesudah optimisasi.

[Tabel 5 about here]

Tabel perbandingan komponen R, L, C sebelum dan sesudah optimisasi.

[Figure 5 about here.]

Dari gambar 5 tentang grafik THD Arus dan C-RMS di atas di dapatkan bahwa nilai THD arus setelah dioptimisasi mengalami penurunan sebesar 1,4901% dan nilai C-RMS setelah dioptimisasi mengalami penurunan sebesar 61,674 %.

[Figure 6 about here.]

Dari gambar 6 mengenai grafik THD arus sebelum dan sesudah optimisasi di atas di dapatkan bahwa sebelum optimisasi nilai THD arus mengalami kenaikan sebesar 10,09% dan setelah optimisasi nilai THD arus mengalami penurunan sebesar 1,4901%.

Tabel nilai THD arus, C-RMS sebelum dan sesudah dioptimisasi.

[Tabel 6 about here]

Dari data hasil percobaan sebelum dan sesudah optimisasi menggunakan matlab simulink dengan metode MQPSO didapatkan hasil untuk nilai R1 dari 600 Ω turun menjadi 550 Ω, nilai R2 dari 220 Ω naik menjadi 530 Ω, nilai R3 dari 200 Ω naik menjadi 220 Ω, nilai C1 dari 4,7 F turun menjadi 1,0409 F, nilai C2 dari 1 F naik menjadi 1,0117 F, nilai C3 dari 1,1 F turun menjadi 1,0221 F, nilai L1 dari 4,3 H naik menjadi 4,9984 H. Untuk nilai THD dari 10,09 % menjadi 1,4901% turun sebesar 9% dan nilai C-RMS dari 102,32% menjadi 61,674 % turun sebesar 40%

IV. KESIMPULAN

1. Optimisasi rangkaian lampu LED penelitian ini adalah untuk menurunkan nilai THD arus dengan menggunakan metode MQPSO dicapai konvergensi pada iterasi ke 17, swarm ke 53, nilai fitness 0,5 dengan penurunan nilai THD arus dari 10,09 % ke 1,4901 %, untuk penurunan nilai THD arus sebesar 9%. C-RMS dari nilai 102,32 % ke 61,674% mengalami penurunan sebesar 40%
2. Sebelum dilakukan optimisasi nilai R1 600 Ω, R2 220 Ω, R3 220 Ω, C1 4,7 μF, C2 1 μF, C3 1,1μF, L1 4,3 H. Sesudah dilakukan optimisasi nilai R1 550 Ω, R2

530 Ω , R3 220 Ω , C1 1,0409 μF , C2 1,0117 μF , C3 1,0221 μF , L1 4,9984 H.

3. Berdasarkan standart IEEE std. 519-1992 untuk THD arus kurang dari 20%, hasil optimisasi menunjukkan sudah memenuhi standart yaitu dibawah 20%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya mengucapkan terima kasih kepada Tuhan Yang Maha Esa, orang tua, dosen pembimbing, teman-teman yang sudah bersedia dalam membantu penyelesaian skripsi saya. Semoga kebaikan kalian semua dibalas oleh Tuhan Yang Maha Esa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Sarwono, V. Noviana Sulistyawan, and I. Artikel Abstrak, "Karakteristik Hamonik Pada Beban Nonlinear Lampu LED," *Edu Elektr.*, pp. 78–83, 2019, [Online]. Available: <http://journal.unnes.ac.id/sju/index.php/eduel>
- [2] H. Ginting and J. Hidayat1, "Analisa Total Harmonisa Distorsi (THD) Pada Beban Non Linier Jenis Laptop Ideapad 110," *J. Persegi Bulat*, vol. 1, no. 1, pp. 13–18, 2022.
- [3] P. D. Murianto Johan, Febrianto Denny, Wandy, Azmi Fadhillah, "Rancang Bangun Alat Uji Pada Perbaikan Faktor Daya Dengan Kapasitor Bank Design of Testing Instrument To Improve Power Factor Using," *J. Electr. Syst. Control Eng.*, vol. 4, no. 1, pp. 53–62, 2020, doi: 10.31289/jesce.v4i1.3995.
- [4] I. A. Vandri, W. P. Rahmi, and W. Indrawata, "Karakteristik dan Efisiensi Lampu Light Emitting Dioda (LED) sebagai Lampu Hemat Energi," *Prosiding Seminar Nasional MIPA dan Pendidikan MIPA*, Jambi, pp. 135–142, 2020. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/344333909>
- [5] K. D. P. P. (Persero) dengan K. B. D. Standardisasi, *Power Quality (Regulasi Harmonisa, Flicker Dan Ketidakseimbangan Tegangan) PT PLN (Persero)*. JAKARTA: PT PLN (PERSERO), 2012.
- [6] B. Sudibya and M. Irawaty, "Analysis of the Effect of Linear and Non Linear Loads on the Effectiveness of Single Phase Transformers," *Conf. Senat. STT Adisutjipto Yogyakarta*, vol. 4, Nov. 2018, doi:

<http://dx.doi.org/10.28989/senatik.v4i0.226>.

- [7] R. F. Ishak Elkana, Hunaini Fachrudin, "Sistem Kontrol Kecepatan Motor DC menggunakan PID-MQPSO," *Pros. SENTIA*, vol. 8, pp. 40–43, 2016.
- [8] O. U. Rehman, S. Yang, S. Khan, and S. U. Rehman, "A Quantum Particle Swarm Optimizer with Enhanced Strategy for Global Optimization of Electromagnetic Devices," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 55, no. 8, pp. 1–4, 2019, doi: 10.1109/TMAG.2019.2913021.
- [9] K. Sreeram, L. Unnikrishnan, and P. C. Unnikrishnan, "A Single Switch Low Cost LED Driver with Wireless Dimming Controls," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 6, no. 04, pp. 1131–1136, 2017.
- [10] H. F. Rohman Fatkhur Moh, Rofii Faqih, "Optimasi Penempatan Menara BTS Menggunakan Quantum Behaved Particles Swarm Optimization," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 3, pp. 309–314, 2016.

*Correspondent e-mail address bintangpratama63@gmail.com

Peer reviewed under reponsibility of Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

© 2024 Muhammadiyah University Sidoarjo, All right reserved, This is an open access article under the CC BY license(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

Received: 2024-08-09

Accepted: 2024-09-25

Published: 2024-10-31

DAFTAR TABEL

Table 1. Nilai komponen lampu LED sebelum dioptimisasi	87
Table 2. Hasil THD Arus dan C-RMS sebelum optimisasi	87
Table 3. Nilai komponen lampu LED R,L, dan C setiap swarm (partikel) dari nomor 1 sampai 64	87
Table 4. Nilai Komponen R,L,C Sesudah Optimisasi	88
Table 5. Perbandingan komponen R, L, C sebelum dan sesudah optimisasi	88
Table 6. Hasil nilai THD Arus dan C-RMS sesudah dioptimisasi	89

Table 1. Nilai komponen lampu LED sebelum dioptimisasi

R1	R2	R3	C1	C2	C3	L1
600 Ω	220 Ω	200 Ω	4,7 μF	1 μF	1,1 μF	4,3 mH

Table 2. Hasil THD Arus dan C-RMS sebelum optimisasi

THD Awal	C-RMS Awal
10,09 %	102,32 %

Table 3. Nilai komponen lampu LED R,L, dan C setiap swarm (partikel) dari nomor 1 sampai 64

No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	C1 (μF)	C2 (μF)	C3 (μF)	L1 (mH)
1	367,85	425,85	325,28	1,0136	1,0897	1,0853	4,4050
2	367,42	449,72	218,64	1,0708	1,0465	1,0637	4,1743
3	539,70	417,57	262,51	1,0242	1,0689	1,0542	4,3654
4	545,05	368,25	297,62	1,0534	1,0346	1,0314	4,0763
5	522,60	227,80	232,08	1,0586	1,0888	1,0502	4,1613
6	354,60	505,82	325,95	1,0805	1,0810	1,0098	4,5279
7	559,53	463,17	340,36	1,0500	1,0363	1,0708	4,1595
8	235,58	296,35	338,10	1,0197	1,0039	1,0149	4,2627
9	250,83	286,53	220,11	1,0634	1,0548	1,0146	4,1420
10	599,00	224,15	325,55	1,0531	1,0710	1,0285	4,5279
11	440,28	537,73	236,18	1,0713	1,0527	1,0067	4,3769
12	594,46	480,39	380,58	1,0882	1,0391	1,0463	4,4981
13	412,20	454,31	379,29	1,0146	1,0195	1,0575	4,2719
14	537 F	217,11	387,38	1,0163	1,0883	1,0870	4,7915
15	306,73	566,60	282,89	1,0673	1,0683	1,0788	4,5786
16	208,48	388,15	278,40	1,0714	1,0868	1,0351	4,0918
17	359,13	359,23	213,54	1,0696	1,0855	1,0943	4,4907
18	590,28	338,13	341,22	1,0284	1,0258	1,0757	4,1358
19	363,54	345,68	333,94	1,0339	1,0322	1,0294	4,7137
20	271,01	259,71	305,07	1,0290	1,0070	1,0163	4,9961
21	490,78	555,95	382,59	1,0739	1,0636	1,0427	4,4549
22	291,12	243,81	378,83	1,0388	1,0353	1,0806	4,6626
23	429,52	561,90	386,02	1,0728	1,0885	1,0857	4,9257
24	380,05	362,19	300,31	1,0372	1,0902	1,0801	4,9242
25	211,72	280,48	221,56	1,0299	1,0523	1,0802	4,2895
26	462,60	313,79	337,00	1,0246	1,0328	1,0524	4,3304
27	295,40	264,28	220,31	1,0444	1,0077	1,0134	4,4305
28	486,53	535,72	297,02	1,0260	1,0710	1,0570	4,9266
29	209,69	370,09	274,44	1,0674	1,0658	1,0657	4,4816
30	574,56	231,03	397,73	1,0498	1,0532	1,0376	4,5717
31	490,66	462,34	300,75	1,0558	1,0251	1,0579	4,5575

No	R1 (Ω)	R2 (Ω)	R3 (Ω)	C1 (μF)	C2 (μF)	C3 (μF)	L1 (mH)
32	429,47	571,47	210,03	1,0616	1,0201	1,0341	4,6125
33	226,27	569	348,47	1,0287	1,0190	1,0354	4,9857
34	270,35	398,51	247,53	1,0207	1,0732	1,0693	4,5015
35	461,83	360,98	369,64	1,0180	1,0160	1,0205	4,9408
36	207,69	420,97	344,88	1,0015	1,0073	1,0768	4,6541
37	286,79	550,18	240,74	1,0791	1,0690	1,0818	4,0792
38	473,94	208,24	363,45	1,0922	1,0977	1,0080	4,3211
39	552,73	318,28	310,08	1,0058	1,0502	1,0004	4,5260
40	502,41	492,12	313,10	1,0389	1,0517	1,0257	4,1812
41	527,02	472,75	328,71	1,0297	1,0208	1,0171	4,9963
42	524,62	534,30	201,39	1,0005	1,0105	1,0577	4,3307
43	231,62	482,23	367,88	1,0354	1,0081	1,0552	4,8887
44	490,44	293,64	380,77	1,0640	1,0440	1,0097	4,0020
45	545,41	406,43	247,11	1,0692	1,0119	1,0326	4,3832
46	520,31	226,24	282,01	1,0332	1,0846	1,0531	4,8480
47	520,31	226,24	217,11	1,0395	1,0608	1,0538	4,3834
48	377,53	296,73	379	1,0476	1,0118	1,0042	4,6185
49	289,85	503,85	304,15	1,0488	1,0499	1,0183	4,9748
50	223,26	267,56	228,76	1,0746	1,0269	1,0153	4,9003
51	276	444,81	236,72	1,0410	1,0310	1,0880	4,0223
52	338,48	292,75	343,40	1,0980	1,0906	1,0259	4,6613
53	549,98	534,20	216,46	1,0409	1,0117	1,0221	4,9984
54	231,84	240,01	364,84	1,0962	1,0045	1,0532	4,3525
55	380,60	507,80	369,25	1,0236	1,0872	1,0780	4,4890
56	508,87	322,20	279,71	1,0316	1,0736	1,0676	4,3869
57	470,13	233,75	259,82	1,0074	1,0621	1,0854	4,0592
58	344,13	336,27	370,85	1,0663	1,0237	1,0399	4,8253
59	304,97	555,24	231,47	1,0078	1,0053	1,0439	4,8436
60	427,40	337,62	202,25	1,0740	1,0715	1,0159	4,8460
61	551,45	364,05	390,53	1,0370	1,0170	1,0241	4,0987
62	360,98	359,58	207,04	1,0951	1,0199	1,0424	4,1894
63	250,34	473,47	219,82	1,0028	1,0977	1,0089	4,7081
64	382,13	214,95	340,97	1,0232	1,0472	1,0952	4,7586

Table 4. Nilai Komponen R,L,C Sesudah Optimisasi

No	Komponen	Nilai Sesudah Optimisasi
1	R1	550 Ω
2	R2	530 Ω
3	R3	220 Ω
4	C1	1,0409 μF
5	C2	1,0117 μF
6	C3	1,0221 μ F
7	L1	4,9984 mH

Table 5. Perbandingan komponen R, L, C sebelum dan sesudah optimisasi

No	Komponen	Nilai Sebelum	Nilai Sesudah
1	R1	600 Ω	550 Ω
2	R2	220 Ω	530 Ω
3	R3	200 Ω	220 Ω
4	C1	4,7 μF	1,0409 μF
5	C2	1 μF	1,0117 μF
6	C3	1,1 μF	1,0221 μF
7	L1	4,3 mH	4,9984 mH

Table 6. Hasil nilai THD Arus dan C-RMS sesudah dioptimisasi

No	Uraian	Nilai Sesudah
1	THD arus	1,4901 %
2	C-RMS	61,674 %

DAFTAR GAMBAR

Figure 1. Rangkaian Lampu LED	91
Figure 2. Model Sistem Rangkaian Lampu LED Mathlab Simulink	91
Figure 3. Grafik THD Arus Awal Sebelum Optimisasi	92
Figure 4. Grafik Konvergance Fitness	92
Figure 5. Grafik THD Arus dan C-RMS Setelah Optimisasi.....	93
Figure 6. Grafik THD Arus Awal dan THD Arus Akhir Setelah Opimisasi	93

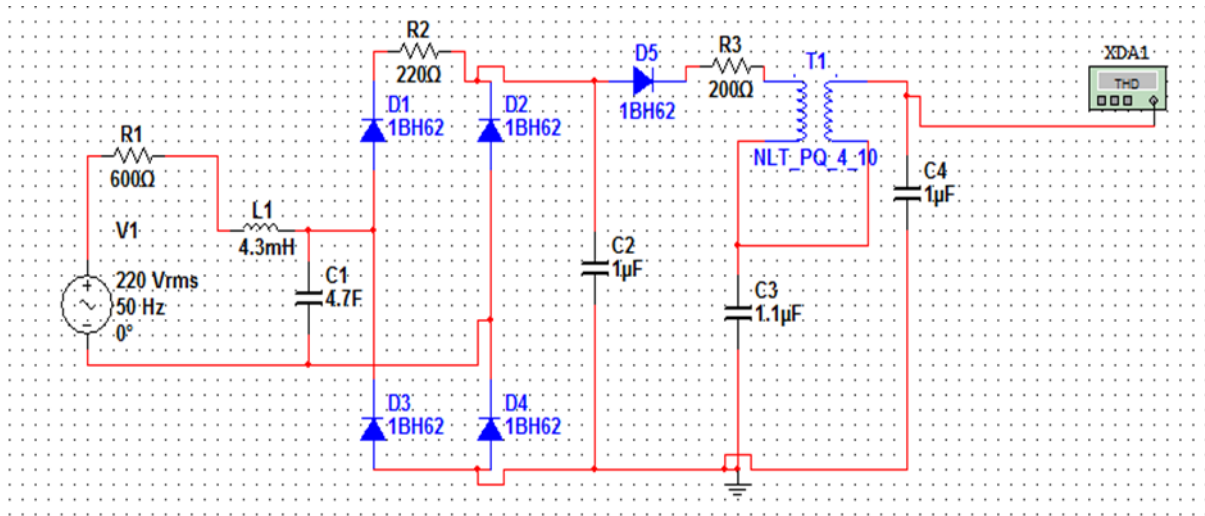


Figure 1. Rangkaian Lampu LED

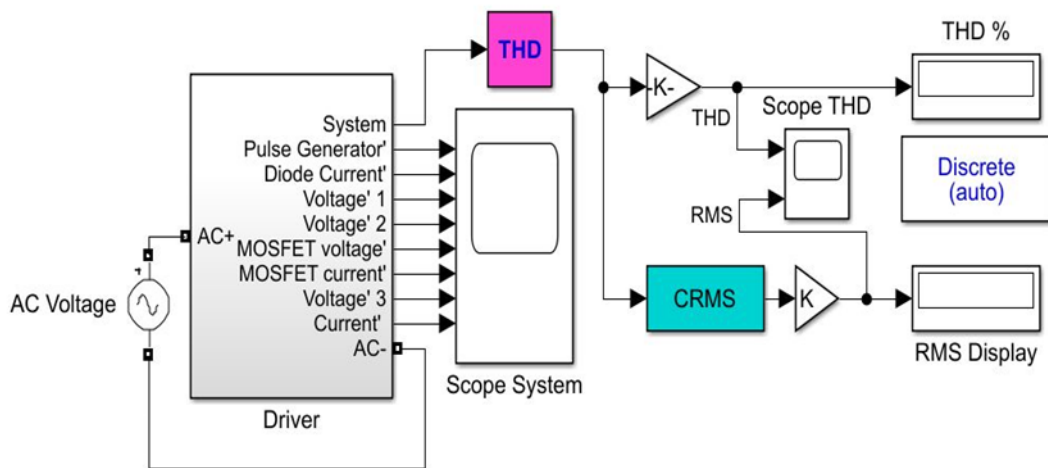


Figure 2. Model Sistem Rangkaian Lampu LED Mathlab Simulink

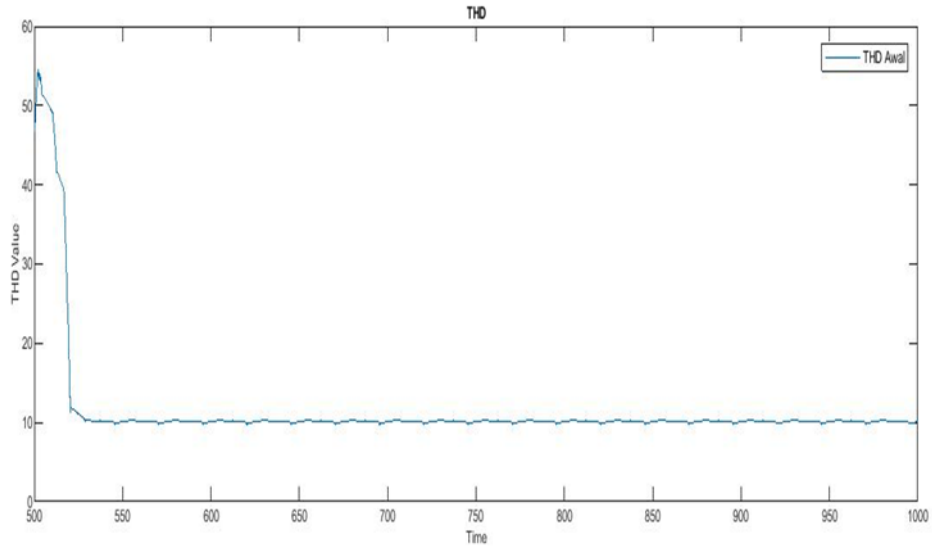


Figure 3. Grafik THD Arus Awal Sebelum Optimisasi

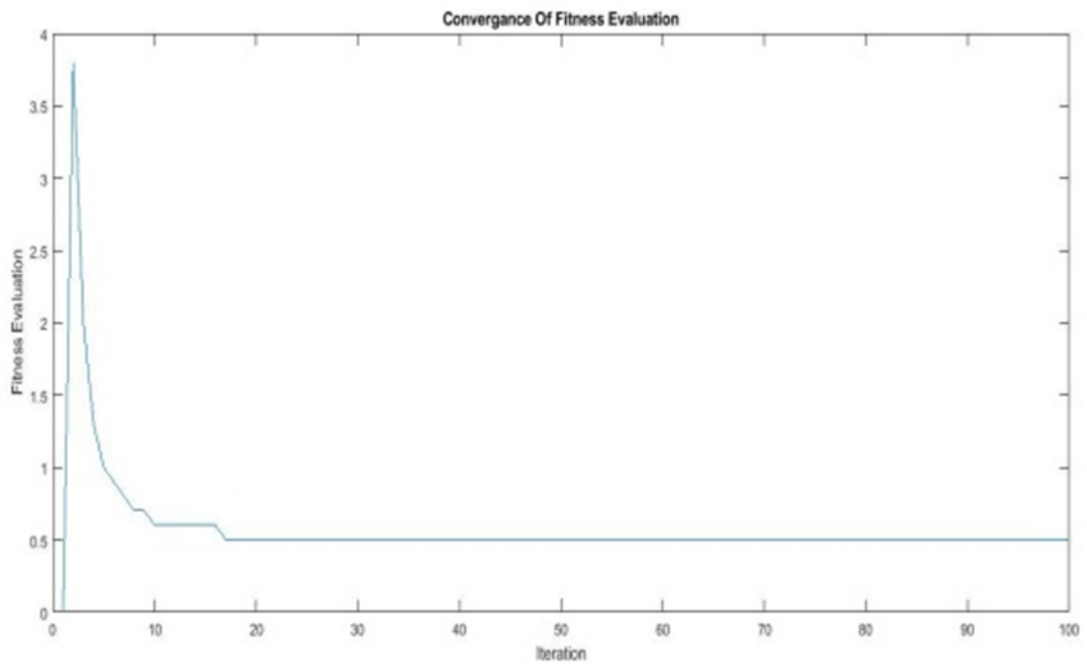


Figure 4. Grafik Konvergnce Fitness

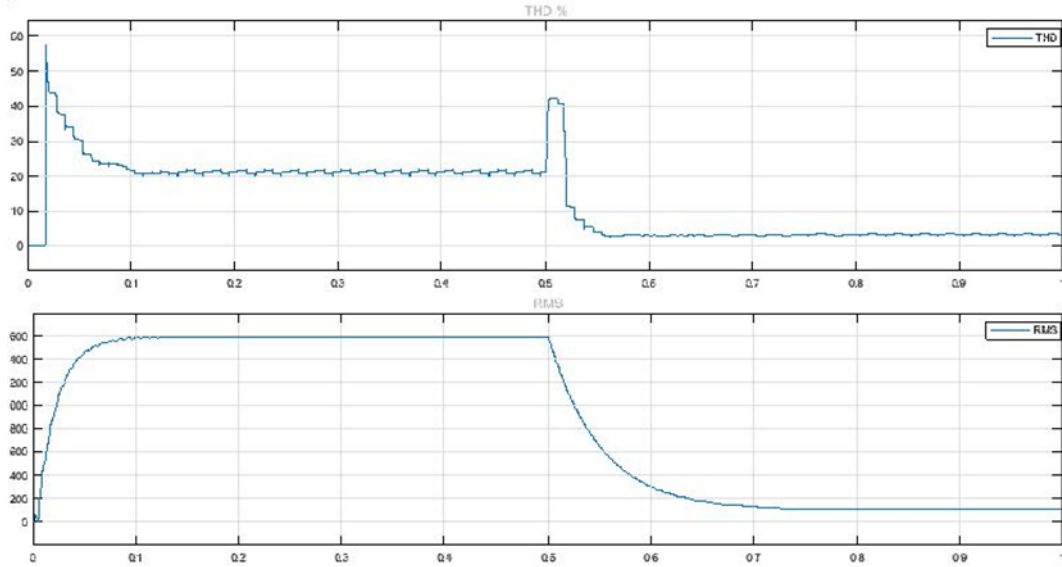


Figure 5. Grafik THD Arus dan C-RMS Setelah Optimisasi

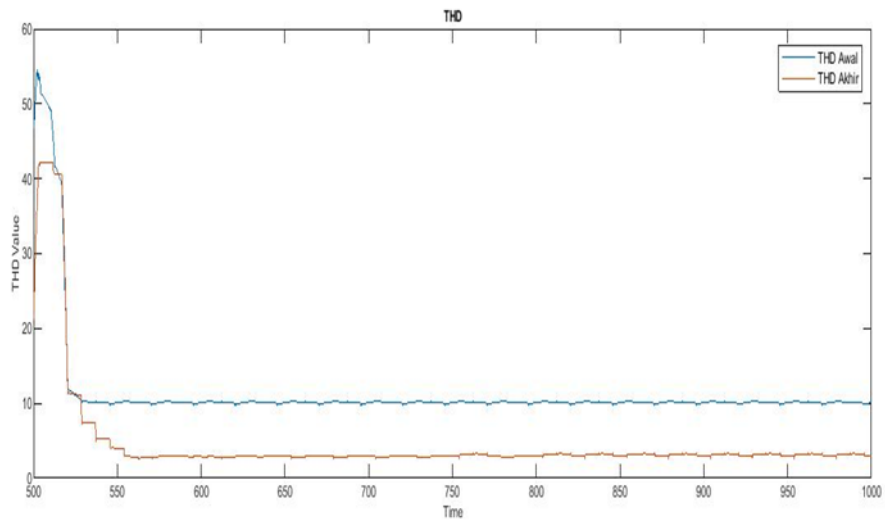


Figure 6. Grafik THD Arus Awal dan THD Arus Akhir Setelah Opimisasi