

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengujian Pembacaan Tegangan dengan ADC Eksternal ADS1115

Pengujian sensor tegangan dilakukan untuk memastikan bahwa rangkaian sensor yang digunakan pada alat uji efisiensi transformator step down berbasis Arduino Uno R3 mampu bekerja secara akurat dalam membaca tegangan AC. Tegangan yang diambil dari trafo feedback inverter berupa sinyal AC yang tidak dapat langsung dibaca oleh modul ADS1115 karena ADC tersebut hanya menerima sinyal tegangan DC dalam batas tegangan tertentu. Oleh karena itu, sebelum masuk ke ADS1115, sinyal AC terlebih dahulu diproses melalui rangkaian penyearah untuk mengubah tegangan AC menjadi tegangan DC. Setelah melalui proses penyearahan, tegangan DC yang dihasilkan kemudian dilewatkan ke rangkaian pembagi tegangan. Rangkaian pembagi tegangan ini berfungsi untuk menurunkan level tegangan agar sesuai dengan rentang input maksimum ADS1115, sehingga tidak terjadi overvoltage yang dapat merusak modul ADC. Dengan adanya tahap penyearahan dan pembatasan tegangan ini, sinyal yang masuk ke ADS1115 menjadi lebih aman dan stabil untuk dikonversi menjadi data digital.

Nilai tegangan yang telah dikonversi oleh ADS1115 kemudian dibaca oleh Arduino dan dibandingkan dengan nilai referensi yang diukur menggunakan multimeter untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan sistem sensor. Pengujian ini sangat penting karena tegangan primer dan sekunder yang terbaca oleh sensor menjadi dasar dalam perhitungan daya dan efisiensi transformator. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan tegangan yang diberikan dengan respons yang stabil. Data perbandingan antara pembacaan multimeter dan keluaran ADC selanjutnya digunakan dalam proses karakterisasi untuk menganalisis linearitas hubungan keduanya. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem sensor tegangan yang diterapkan telah bekerja dengan baik dan layak digunakan dalam proses pengujian efisiensi transformator pada tahap selanjutnya.

4.1.1 Pengujian Tegangan Primer

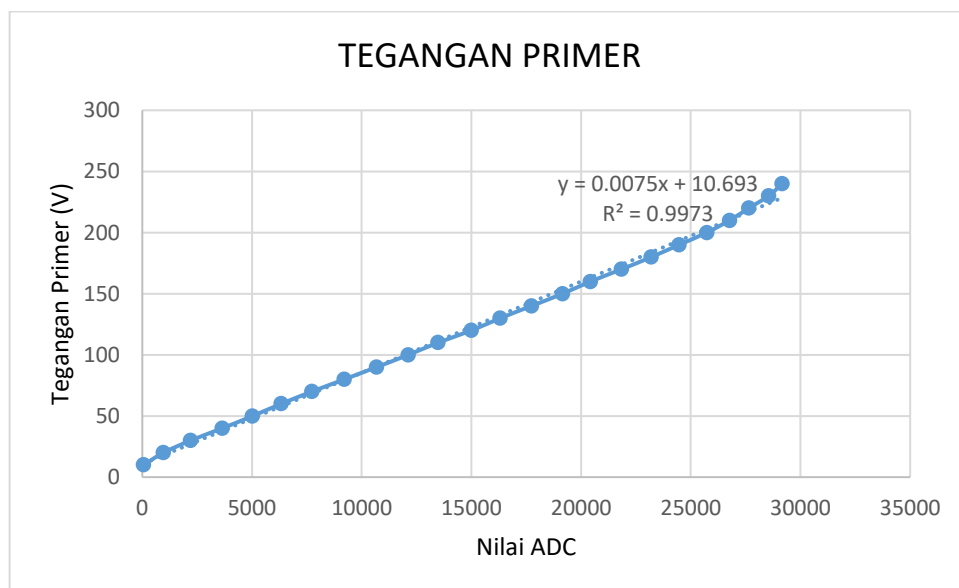
Berdasarkan tabel hasil pengukuran, terlihat bahwa nilai ADC meningkat secara bertahap mengikuti kenaikan tegangan primer yang diukur menggunakan multimeter. Mulai dari 1 pada tegangan 10 volt hingga mencapai 29171 pada nilai ADC (*Analog to Digital Converter*) di tegangan 240 volt, kenaikan yang konsisten ini menunjukkan bahwa sensor mampu merespons perubahan tegangan dengan stabil dan tidak ada penyimpangan sampai tegangan 240 volt.

Tabel 4.1 Karakterisasi Tegangan Primer

ADC Primer	Volt Primer
58	10
963	20
2207	30
3653	40
5026	50
6335	60
7731	70
9213	80
10681	90
12127	100
13480	110
15006	120
16314	130
17741	140
19151	150
20431	160
21843	170
23202	180
24465	190
25730	200
26767	210

27647	220
28550	230
29171	240

Hal tersebut kemudian diperkuat melalui grafik karakterisasi, dimana titik-titik data yang terbentuk tampak mengikuti garis lurus sehingga menunjukkan hubungan linear antara tegangan primer dan nilai ADC. Garis regresi pada grafik menegaskan bahwa respons sensor meningkat secara proporsional terhadap kenaikan tegangan. Dengan demikian, hasil pada tabel dan grafik secara bersama-sama membuktikan bahwa sensor tegangan bekerja secara akurat, konsisten, dan dapat diandalkan pada rentang pengujian yang dilakukan.



Gambar 4. 1 Grafik Tegangan Primer

4.1.2 Pengujian Tegangan Sekunder

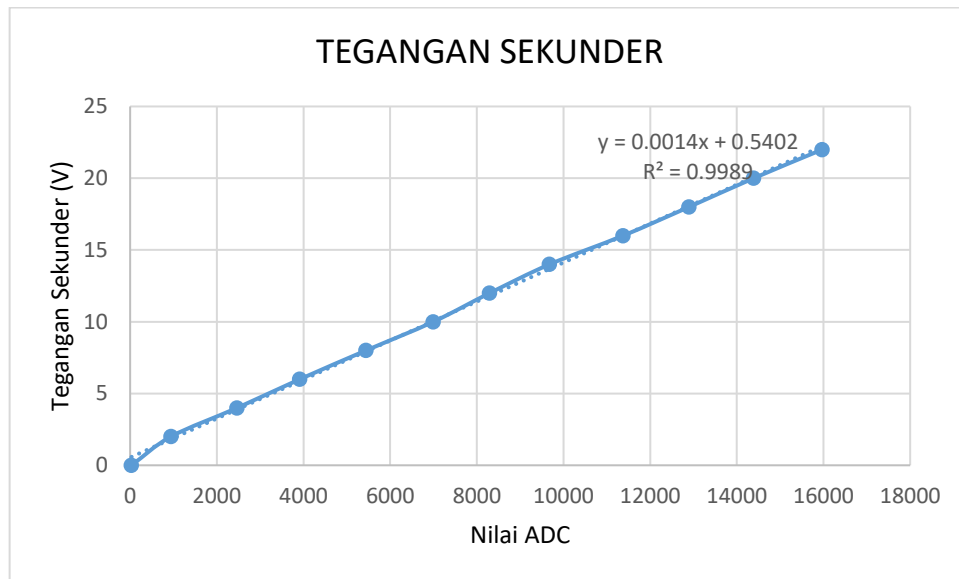
Berdasarkan tabel hasil pengukuran tegangan sekunder, terlihat bahwa nilai ADC meningkat secara konsisten seiring bertambahnya tegangan yang terbaca pada multimeter. Pada tegangan 0 volt, nilai ADC yang tercatat adalah 30, kemudian naik menjadi 942 pada 2 volt, dan terus meningkat hingga mencapai 15973 nilai ADC pada tegangan 22 volt. Pola kenaikan yang berbanding lurus ini menunjukkan

bahwa sensor mampu mengikuti perubahan tegangan dengan stabil dan tanpa adanya penyimpangan sepanjang proses pengukuran.

Tabel 4.2 Karakterisasi Tegangan Sekunder

ADC Sekunder	Volt Sekunder
30	0
942	2
2469	4
3918	6
5444	8
6998	10
8298	12
9680	14
11378	16
12899	18
14389	20
15973	22

Hubungan tersebut semakin jelas ketika dilihat melalui grafik karakterisasi, di mana titik-titik data membentuk garis lurus dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9989, yang menandakan tingkat linearitas yang sangat tinggi. Garis regresi pada grafik menunjukkan bahwa setiap perubahan tegangan sekunder menghasilkan perubahan nilai ADC yang proporsional, sehingga sensor dapat dikatakan bekerja dengan akurat dan konsisten. Oleh karena itu, baik tabel maupun grafik tersebut bersama-sama menegaskan bahwa sensor tegangan sekunder dapat diandalkan untuk digunakan pada perhitungan daya dan analisis efisiensi transformator pada tahap berikutnya.



Gambar 4. 2 Grafik Tegangan Sekunder

4.2 Pengujian Pembacaan Arus dengan ADC Eksternal ADS1115

Sensor arus ZMCT103C berfungsi mengonversi arus AC menjadi sinyal tegangan analog yang sebanding. Sinyal keluaran sensor selanjutnya dilewatkan ke rangkaian pembagi tegangan dan filter sebelum diproses oleh modul ADS1115. Pada pengukuran arus primer digunakan konfigurasi resistor 3 k Ω dan 1 k Ω , sedangkan pada arus sekunder digunakan 10 k Ω dan 2 k Ω untuk menyesuaikan level tegangan agar berada dalam batas aman input ADC. Kapasitor 70 μ F dipasang sebagai filter untuk mereduksi ripple dan noise sehingga sinyal menjadi lebih stabil sebelum dikonversi menjadi data digital 16-bit. Data hasil konversi kemudian dikirim melalui komunikasi I²C ke Arduino Uno R3 untuk diproses dalam perhitungan daya dan efisiensi transformator.

Pengujian dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap nilai arus yang diukur menggunakan multimeter sebagai referensi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu mengikuti perubahan arus secara konsisten tanpa perbedaan signifikan terhadap nilai acuan, sehingga memiliki tingkat linearitas dan akurasi yang memadai. Dengan performa yang stabil tersebut, sensor arus dinyatakan layak digunakan dalam proses analisis daya dan evaluasi efisiensi transformator pada tahap pengujian selanjutnya.

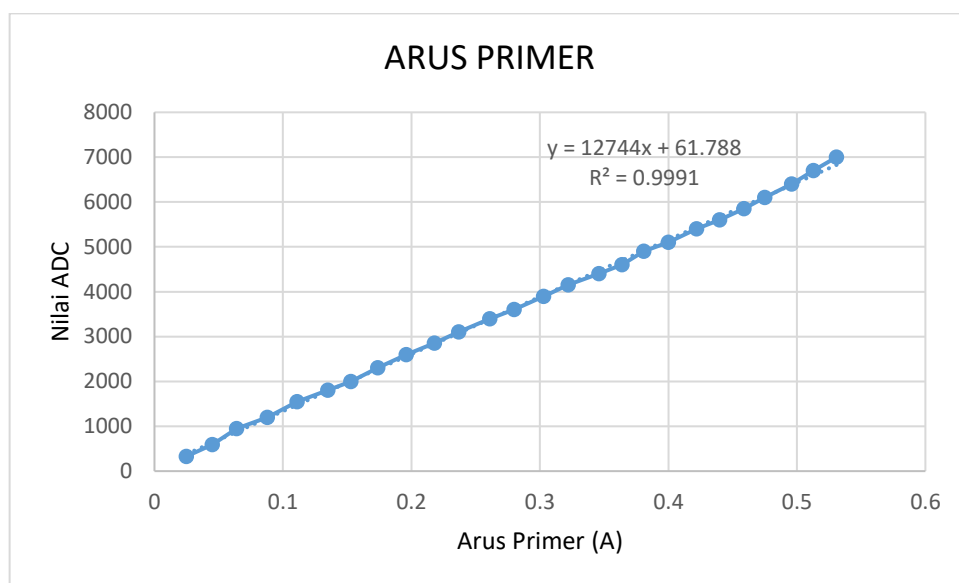
4.2.1 Pengujian Arus Primer

Berdasarkan tabel dibawah, nilai pembacaan sensor arus meningkat secara bertahap mengikuti kenaikan arus yang diukur menggunakan multimeter. Misalnya, pada arus 0,025 A sensor mencatat nilai ADC 331, kemudian meningkat menjadi 1201 pada arus 0,088 A, dan terus bertambah hingga nilai sensor mencapai 7003 pada arus 0,531 A. Kenaikan yang konsisten ini menunjukkan bahwa sensor arus mampu merespons perubahan arus secara stabil tanpa penyimpangan yang signifikan sepanjang rentang pengujian.

Tabel 4.3 Karakterisasi Arus Primer

Volt	Alat Ukur (A)	Nilai ADC
10	0.025	331
20	0.045	594
30	0.064	949
40	0.088	1201
50	0.111	1552
60	0.135	1803
70	0.153	2001
80	0.174	2302
90	0.196	2601
100	0.218	2853
110	0.237	3102
120	0.261	3401
130	0.28	3602
140	0.303	3900
150	0.322	4152
160	0.346	4403
170	0.364	4601
180	0.381	4902
190	0.4	5100
200	0.422	5401
210	0.44	5602
220	0.459	5850
230	0.475	6101
240	0.496	6402
250	0.513	6701
260	0.531	7003

Grafik dibawah membuktikan bahwa hubungan antara pembacaan sensor dan arus aktual sangat linear dan akurat dimana titik-titik data membentuk garis linear yang rapi dan mengikuti tren kenaikan yang teratur. Hal ini menandakan bahwa sensor arus bekerja secara proporsional terhadap setiap perubahan arus primer. Oleh karena itu, baik tabel maupun grafik menunjukkan bahwa sensor arus memiliki performa yang baik dan dapat diandalkan sebagai alat pengukur untuk mendukung perhitungan daya pada pengujian efisiensi transformator.



Gambar 4. 3 Grafik Arus Primer Trafo 5A

4.2.2 Pengujian Arus Sekunder

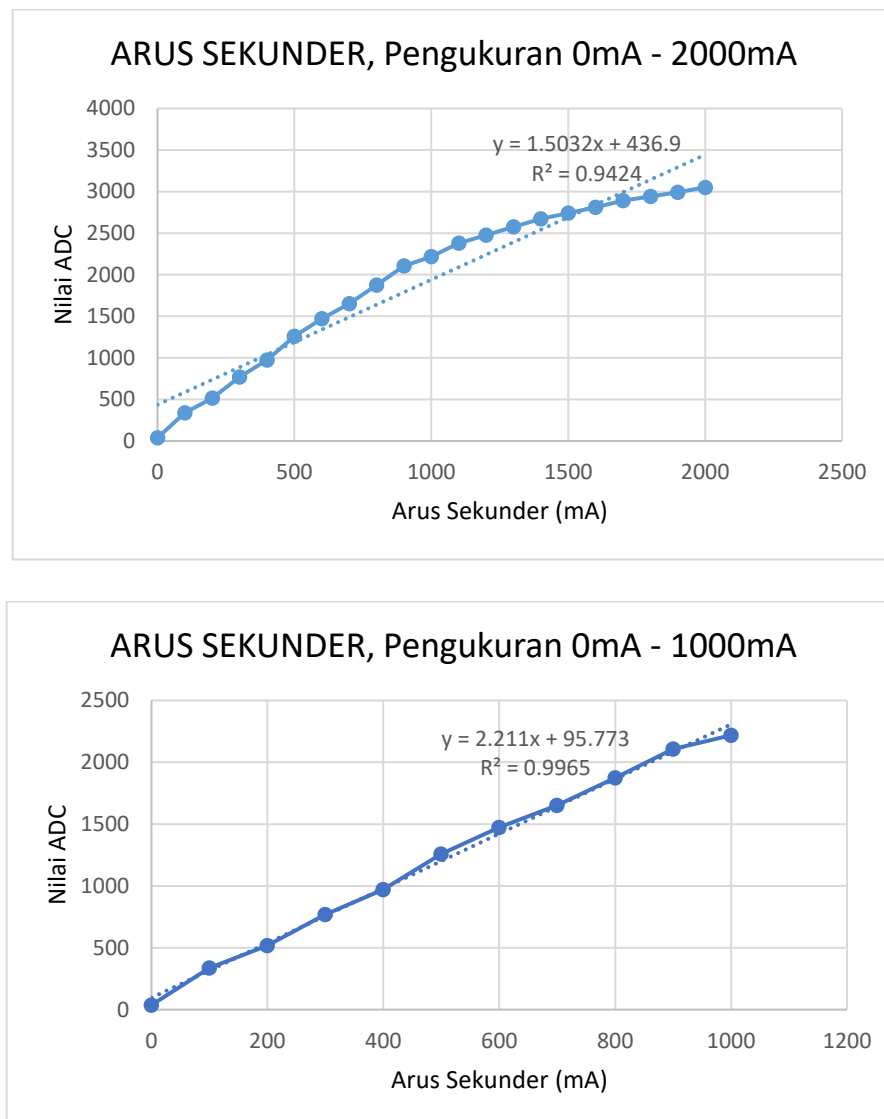
Berdasarkan tabel hasil karakterisasi arus sekunder, terlihat bahwa nilai ADC meningkat secara teratur seiring bertambahnya arus yang diukur dalam miliampere. Pada arus 0 mA sensor mencatat nilai ADC sebesar 37, kemudian naik menjadi 337 pada 100 mA, 770 pada 300 mA, dan terus meningkat hingga mencapai 3051 pada arus 2000 mA. Pola kenaikan yang konsisten ini menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan arus sekunder dengan baik hanya menyampai pada 1000mA.

Tabel 4.4 Karakterisasi Arus Sekunder

Nilai ADC	Alat Ukur (mA)
37	0
337	100

517	200
770	300
972	400
1258	500
1472	600
1651	700
1875	800
2107	900
2218	1000
2381	1100
2477	1200
2574	1300
2671	1400
2743	1500
2811	1600
2891	1700
2940	1800
2990	1900
3051	2000

Hal tersebut diperjelas pada grafik karakterisasi, di mana titik-titik data membentuk garis tren yang tidak lurus secara ideal dengan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9424. Nilai ini menunjukkan tingkat linearitas yang kurang baik dalam efisiensi dikarenakan ada penyimpangan yang signifikan dari garis lurus ideal. Garis regresi pada grafik memperlihatkan bahwa sensor bekerja kurang maksimal dalam membaca arus yang berubah, akibatnya nanti dalam pengujian transformator berdampak mendapatkan nilai yang tidak akurat di nilai hasil efisiensinya jika. Untuk mendapatkan nilai bagus dan akurat mengharuskan nilai koefisien determinasi (R^2) diatas 0,99.



Gambar 4. 4 Grafik Arus Sekunder

Pada grafik 0mA – 1000mA memiliki nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9965 di mana titik-titik data membentuk garis tren yang lurus secara ideal bahwa sensor bekerja secara konsisten dalam membaca arus yang berubah. Dengan demikian, kombinasi data pada tabel dan grafik membuktikan bahwa sensor arus sekunder dapat diandalkan untuk digunakan dalam proses perhitungan pada pengujian transformator maksimal dengan 1000mA atau 1A.

4.3 Pengujian Proses Sistem

Pengujian proses sistem dilakukan untuk memastikan bahwa keseluruhan rangkaian alat uji efisiensi transformator berbasis Arduino UNO R3 dapat bekerja

sesuai dengan fungsi yang dirancang. Pada tahap ini, seluruh komponen—mulai dari sensor tegangan, sensor arus, rangkaian transformator, hingga sistem pemrosesan data pada Arduino—diintegrasikan menjadi satu kesatuan. Pengujian dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara langsung, kemudian mengamati bagaimana data tegangan dan arus dari sisi primer maupun sekunder diproses dan ditampilkan. Data yang masuk dari sensor diolah oleh Arduino untuk menghasilkan informasi berupa daya masuk, daya keluar, serta nilai efisiensi transformator secara real-time.

Selama proses pengujian, sistem menunjukkan bahwa keseluruhan alur kerja mulai dari pengambilan data, pemrosesan, hingga penampilan hasil pada LCD atau antarmuka lainnya dapat berjalan dengan lancar. Sensor mampu memberikan data yang stabil, dan Arduino dapat menghitung daya serta efisiensi tanpa terjadi keterlambatan atau kesalahan perhitungan yang signifikan. Respons sistem juga cukup cepat dalam menyesuaikan perubahan tegangan dan arus ketika beban diubah. Dengan demikian, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara terintegrasi dan dapat diandalkan untuk melakukan pengukuran serta analisis efisiensi transformator pada kondisi pengujian yang sebenarnya.

4.3.1 Trafo KURAE 1A/12V

Berdasarkan data hasil pengujian, trafo KURAE menunjukkan bahwa pada tegangan rendah hingga sekitar 26 volt, arus primer masih sangat kecil sehingga daya input bernilai hampir nol dan belum menghasilkan daya pada sisi sekunder, membuat efisiensi masih 0%. Ketika tegangan mulai dinaikkan ke kisaran 35–49 volt, arus primer meningkat dan trafo mulai menghasilkan daya pada sisi sekunder. Efisiensi tertinggi pada tahap ini mencapai sekitar 64%, menandakan bahwa trafo mulai bekerja dengan baik pada awal pembebanan.

Tabel 4. 1 Trafo KURAE 1A/12V

Vp	Ip	Pp	Vs	Is	Ps	Efisiensi (%)
12	0	0	0	45	0	0
20	0	0	0	100	0	0
26	2	52	0	107	0	0
35	5,2	182	0	170	0	0

49	8,2	401,8	1	258	258	64,2110503
56	10,9	610,4	1	257	257	42,1035387
70	15,5	1085	1	321	321	29,5852535
83	22,3	1850,9	2	375	750	40,5208277
99	22	2178	2	478	956	43,8934803
112	28,2	3158,4	2	511	1022	32,358156
125	32,8	4100	3	588	1764	43,0243902
139	35,2	4892,8	3	649	1947	39,7931655
149	39,4	5870,6	4	678	2712	46,1963002
164	43,2	7084,8	4	778	3112	43,9250226
186	51,1	9504,6	5	856	4280	45,0308272
193	56,5	10904,5	5	881	4405	40,3961667
205	62,6	12833	5	940	4700	36,6243279
213	62,2	13248,6	6	1031	6186	46,6917259
221	70,6	15602,6	6	998	5988	38,378219

Namun, ketika tegangan dan arus primer semakin meningkat di kisaran 56 hingga 221 volt, daya input naik jauh lebih cepat dibanding daya keluaran pada sisi sekunder. Hal ini membuat efisiensi berada pada rentang 32%–46%, dengan kecenderungan menurun saat beban makin berat. Nilai tersebut menunjukkan bahwa trafo KURAE masih mampu bekerja secara stabil pada pembebanan menengah, tetapi mengalami penurunan performa saat mendekati batas maksimal operasional.

4.3.2 Trafo KING 500mA/12V

Pengujian trafo KING menunjukkan bahwa pada tegangan input rendah (17–39 volt), trafo mulai menghasilkan daya sekunder dengan efisiensi awal berada pada kisaran 52–55%. Nilai tersebut menunjukkan respons yang baik pada pembebanan ringan. Ketika tegangan dinaikkan ke rentang 51–88 volt, daya pada kedua sisi trafo meningkat dan efisiensi berada di kisaran 41–48%, masih cukup stabil meskipun mulai terjadi fluktuasi akibat kenaikan arus primer.

Tabel 4. 2 Trafo KING 500mA/12V

Vp	Ip	Pp	Vs	Is	Ps	Efisiensi (%)
17	1,1	18,7	0	75	0	0
27	5,9	159,3	0	157	0	0
39	10	390	1	204	204	52,30769231

51	13,6	693,6	1	273	273	39,35986159
60	13,2	792	1	323	323	40,78282828
70	19	1330	2	370	740	55,63909774
78	26,5	2067	2	427	854	41,31591679
84	22,5	1890	2	455	910	48,14814815
92	24,1	2217,2	2	484	968	43,65866859
106	29,3	3105,8	3	543	1629	52,45025436
120	33,7	4044	3	661	1983	49,03560831
133	3,82	5,0806	4	715	2,86	56,29256387
139	44,6	6199,4	4	741	2964	47,81107849
148	41,9	6201,2	4	808	3232	52,11894472
168	48,8	8198,4	5	895	4475	54,58382123
176	54,7	9627,2	5	918	4590	47,67741399
182	54,8	9973,6	5	962	4810	48,22732013
199	63,7	12676,3	6	1003	6018	47,47442077
208	64,9	13499,2	6	1054	6324	46,84722058
212	68,8	14585,6	7	1075	7525	51,59198113
222	73,7	16361,4	7	1037	7259	44,36661899
227	304,5	69121,5	8	2256	18048	26,11054448
228	588	134064	8	3723	29784	22,21625492

Pada pembebanan yang lebih tinggi (92–228 volt), daya input meningkat jauh lebih besar dibanding daya output sekunder, sehingga efisiensi bervariasi pada rentang 22–51%. Efisiensi tertinggi pada pembebanan berat terjadi pada sekitar 182 volt, namun menurun tajam saat beban mendekati batas kemampuan trafo. Hal ini menunjukkan bahwa trafo KING bekerja optimal pada pembebanan ringan hingga menengah, namun performanya semakin menurun saat mendekati kapasitas maksimum.

4.3.3 Trafo KING 1A/12V

Berdasarkan data hasil pengujian, trafo KING 1A/12V mulai menunjukkan keluaran daya pada sisi sekunder ketika tegangan primer mencapai sekitar 53 volt, dengan efisiensi awal sekitar 80%. Pada rentang tegangan berikutnya, yaitu antara 68 hingga 109 volt, daya sekunder meningkat secara signifikan dan efisiensi berada pada kisaran 55–70%. Hal ini menunjukkan bahwa trafo bekerja dengan cukup baik pada pembebanan ringan hingga menengah, dan mampu menjaga performa yang stabil saat daya input meningkat secara bertahap.

Tabel 4. 3 Trafo KING 1A/12V

Vp	Ip	Pp	Vs	Is	Ps	Efisiensi (%)
27	1,3	35,1	0	145	0	0
53	6,8	360,4	1	289	289	80,18868
64	15,6	998,4	1	350	350	35,05609
68	13,9	945,2	2	366	732	77,44393
77	16,7	1285,9	2	456	912	70,92309
87	19,7	1713,9	2	483	966	56,36268
98	23,6	2312,8	3	546	1638	70,82324
109	28	3052	3	616	1848	60,55046
124	34,2	4240,8	4	669	2676	63,1013
139	40,2	5587,8	4	771	3084	55,19167
153	45,6	6976,8	5	828	4140	59,33953
169	52,3	8838,7	5	945	4725	53,45809
181	58	10498	6	966	5796	55,21052
192	59,2	11366,4	6	1026	6156	54,15963
201	63,2	12703,2	6	1009	6054	47,65728
211	68,7	14495,7	7	1024	7168	49,44915
216	74,5	16092	7	1086	7602	47,24087
221	78,1	17260,1	7	1051	7357	42,62432

Namun, ketika tegangan primer dinaikkan lebih tinggi ke kisaran 124 hingga 221 volt, daya input meningkat lebih besar dibanding daya keluaran, sehingga efisiensi cenderung menurun ke kisaran 45–62%. Penurunan ini terjadi seiring bertambahnya arus primer yang mengakibatkan rugi-rugi internal trafo semakin besar. Meskipun demikian, performa trafo masih tergolong stabil dan dapat digunakan dengan baik pada rentang tegangan operasional menengah, serta memberikan efisiensi yang cukup layak untuk aplikasi daya rendah hingga sedang.

4.3.4 Trafo KING 1A/24V

Pada trafo KING 1A/24V, hasil pengujian menunjukkan bahwa pada tegangan primer rendah (11–25 volt), trafo belum menghasilkan daya pada sisi sekunder sehingga efisiensi masih 0%. Trafo mulai memberikan keluaran ketika tegangan mencapai 32 volt dengan efisiensi sekitar 24%, lalu meningkat hingga kisaran 30% pada rentang tegangan 58 hingga 76 volt. Hal ini menunjukkan bahwa trafo mulai

bekerja secara efektif pada tegangan menengah, meskipun efisiensinya masih lebih rendah dibanding tipe 12V.

Tabel 4. 4 Trafo KING 1A/24V

Vp	Is	Pp	Vs	Is	Ps	Efisiensi (%)
11	3,6	39,6	0	55	0	0
13	13,3	172,9	0	105	0	0
25	24,1	602,5	0	239	0	0
32	33,1	1059,2	1	261	261	24,64124
42	37,7	1583,4	1	335	335	21,157
49	51,3	2513,7	1	422	422	16,788
58	54,8	3178,4	2	471	942	29,63755
74	71,8	5313,2	2	613	1226	23,07461
76	70	5320	3	568	1704	32,03008
98	91	8918	3	776	2328	26,10451
99	90,8	8989,2	4	724	2896	32,21644
99	92,2	9127,8	4	724	2896	31,72725
112	100	11200	4	883	3532	31,53571
113	101,8	11503,4	4	810	3240	28,16559
125	115,2	14400	5	920	4600	31,94444
130	118	15340	5	982	4910	32,00782
137	123,8	16960,6	5	951	4755	28,03556
140	127,2	17808	5	974	4870	27,34726
151	139	20989	6	1061	6366	30,33017
152	132,2	20094,4	6	1049	6294	31,32216
170	140,5	23885	7	1077	7539	31,56374
174	149,9	26082,6	7	1095	7665	29,38741
184	153,8	28299,2	7	1157	8099	28,61918
190	155	29450	8	1159	9272	31,48387
197	153,8	30298,6	8	1157	9256	30,54927
203	167,2	33941,6	8	1128	9024	26,58684
209	160,4	33523,6	9	1231	11079	33,04836
215	166,9	35883,5	9	1239	11151	31,07556
217	164,3	35653,1	9	1213	10917	30,62006
223	173,2	38623,6	9	1169	10521	27,23982

Saat tegangan primer dinaikkan lebih tinggi hingga rentang 98 hingga 223 volt, daya input dan output meningkat dengan pola yang cukup stabil, namun efisiensi berada di kisaran 26–32%. Efisiensi yang relatif rendah ini disebabkan oleh rugi-rugi inti dan tembaga yang meningkat seiring bertambahnya beban. Meskipun

begitu, trafo tetap mampu bekerja secara konsisten dan memberikan daya keluaran yang cukup untuk digunakan dalam kebutuhan daya rendah, terutama pada aplikasi yang tidak membutuhkan tingkat efisiensi yang sangat tinggi.