

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Overview Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem *monitoring* medan listrik atmosfer berbasis *Electric Field Mill* (EFM) yang telah direalisasikan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan setiap komponen, mulai dari catu daya, sensor EFM, rangkaian *amplifier* LM358, hingga mikrokontroler ESP32-S3, dapat bekerja sesuai dengan fungsi dan spesifikasi yang telah dirancang. Selain itu, pengujian juga dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan *amplifier* terhadap kualitas dan sensitivitas sinyal keluaran sensor.

Pengujian sistem dilaksanakan pada hari Senin, 23 Juni 2026 bertempat di Laboratorium Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang. Pengambilan data dilakukan pada kondisi sistem beroperasi normal dengan seluruh komponen terhubung sesuai perancangan yang telah dibuat.

4.2 Tujuan Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sensor *Electric Field Mill* (EFM) dan rangkaian *amplifier* LM358 yang digunakan pada sistem *monitoring* medan listrik atmosfer. Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh data karakteristik sinyal keluaran sensor sebelum melalui proses penguatan, serta mengetahui kemampuan *amplifier* dalam meningkatkan amplitudo sinyal yang dihasilkan. Dengan demikian, dapat diketahui apakah rangkaian yang telah dirancang mampu bekerja sesuai dengan fungsi yang diharapkan.

Selain itu, pengujian dilakukan untuk menganalisis nilai gain *amplifier*, hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran, serta kualitas sinyal yang dihasilkan setelah proses penguatan. Hasil pengujian kemudian digunakan untuk mengevaluasi performa *amplifier* LM358 dalam memperkuat sinyal keluaran *Electric Field Mill*, menjaga linearitas penguatan, dan meningkatkan kualitas sinyal

sehingga lebih mudah digunakan untuk proses pengukuran dan analisis medan listrik atmosfer.

4.3 Langkah-Langkah Pengujian Sistem

Pengujian sistem ini dilakukan melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

1. Menyiapkan seluruh perangkat yang digunakan dalam pengujian, meliputi sensor *Electric Field Mill* (EFM), rangkaian *amplifier* LM358, catu daya, dan perangkat pendukung lainnya.
2. Menghubungkan sensor *Electric Field Mill* dengan rangkaian *amplifier* serta memastikan seluruh koneksi rangkaian telah terpasang dengan benar.
3. Melakukan pengukuran sinyal keluaran *Electric Field Mill* sebelum melalui proses penguatan untuk memperoleh nilai tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan puncak-ke-puncak (V_{pp}).
4. Menguji kinerja *amplifier* LM358 dengan mengukur tegangan masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) pada beberapa kondisi pengujian untuk mengetahui nilai penguatan (*gain*) yang dihasilkan.
5. Melakukan pengujian linearitas *amplifier* dengan memberikan variasi tegangan masukan dan mengamati perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan.
6. Menyusun data hasil pengujian linearitas dalam bentuk tabel dan grafik untuk mengetahui hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *amplifier*.
7. Melakukan pengukuran *noise* pada sinyal yang diuji untuk memperoleh nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) sebagai parameter kualitas sinyal.
8. Mencatat seluruh data hasil pengujian yang diperoleh pada setiap tahap pengukuran untuk digunakan dalam proses analisis.
9. Menganalisis data hasil pengujian guna mengetahui karakteristik sinyal keluaran *Electric Field Mill* serta kinerja *amplifier* LM358 berdasarkan parameter amplitudo sinyal, *gain*, linearitas, dan *Signal to Noise Ratio* (SNR).

4.4 Hasil Realisasi Sistem Monitoring Medan Listrik Atmosfer

Pada tahap ini telah dilakukan realisasi sistem *monitoring* medan listrik atmosfer sesuai dengan perancangan yang telah dibuat pada Bab III. Sistem terdiri dari sensor *Electric Field Mill* (EFM), motor DC sebagai penggerak rotor, rangkaian *amplifier* LM358, *RC Filter*, ESP32-S3 sebagai pengolah data, serta perangkat *monitoring*. Seluruh komponen dirakit dan diintegrasikan sehingga membentuk sistem yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan memonitor perubahan medan listrik atmosfer secara *real-time*.

Gambar 4.1 menunjukkan hasil realisasi keseluruhan sistem *monitoring* medan listrik atmosfer yang telah dirakit berdasarkan desain mekanik dan elektronik yang dirancang pada Bab III.



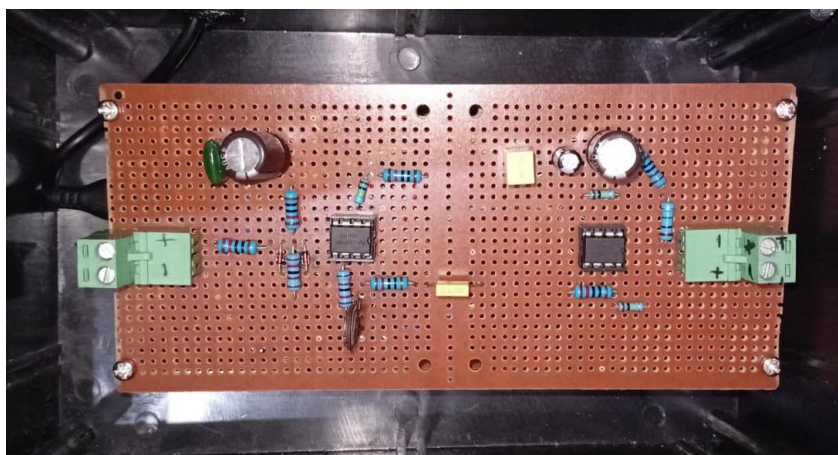
Gambar 4. 1 Hasil Realisasi Keseluruhan Sistem

Gambar 4.2 menunjukkan hasil realisasi sensor *Electric Field Mill* terdiri dari rotor dan stator yang berfungsi untuk memodulasi medan listrik atmosfer sehingga menghasilkan sinyal listrik yang dapat diproses oleh sistem.



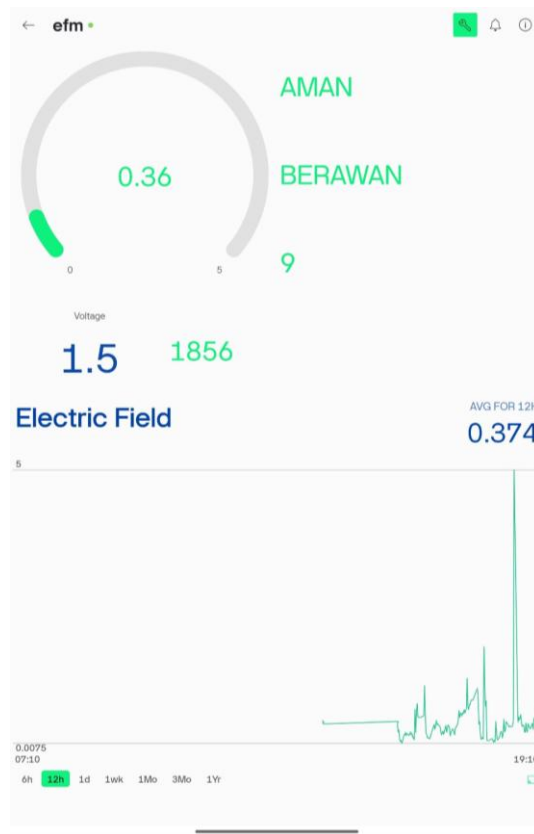
Gambar 4. 2 Realisasi Sensor Electric Field Mill

Gambar 4.3 menunjukkan hasil realisasi sistem elektronik terdiri dari ESP32-S3 sebagai pengolah data, dan rangkaian *amplifier* serta RC *Filter* sebagai pengkondisi sinyal.



Gambar 4. 3 Realisasi Sistem Elektronik

Gambar 4.4 menunjukkan data hasil pembacaan sensor ditampilkan secara *real-time* melalui sistem *monitoring* sehingga memudahkan pengguna dalam memantau perubahan medan listrik atmosfer.



Gambar 4. 4 Tampilan Monitoring Medan Listrik Atmosfer

×

medan listrik atmosfer

+

Bagikan

⋮

↶ ↷ Arial 10 B I U A

≡

↓

↶

↷

⌂

🔍

A≡

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Tanggal	Jam	ADC Raw Volt Filter (V)	Volt Raw (V)	Noise Diff (V)	Delta ADC	Electric Field (kV/m)	Cuaca	Status	
2	16/06/2026	18:39:13	1852	0.448	1.492	1.0444	13	0.52	MENDUNG	WASPADA
3	16/06/2026	18:39:16	1853	0.523	1.493	0.9706	12	0.48	BERAWAN	AMAN
4	16/06/2026	18:39:19	1851	0.597	1.492	0.8944	14	0.56	MENDUNG	WASPADA
5	16/06/2026	18:39:23	1851	0.672	1.492	0.8198	14	0.56	MENDUNG	WASPADA
6	16/06/2026	18:39:26	1851	0.746	1.492	0.7452	14	0.56	MENDUNG	WASPADA
7	16/06/2026	18:39:29	1853	0.821	1.493	0.6722	12	0.48	BERAWAN	AMAN
8	16/06/2026	18:39:36	1853	0.97	1.493	0.5229	12	0.48	BERAWAN	AMAN
9	16/06/2026	18:39:40	1850	1.045	1.491	0.446	15	0.6	MENDUNG	WASPADA
10	16/06/2026	18:39:45	1853	1.12	1.493	0.3737	12	0.48	BERAWAN	AMAN
11	16/06/2026	18:39:48	1853	1.194	1.493	0.2991	12	0.48	BERAWAN	AMAN
12	16/06/2026	18:39:51	1853	1.269	1.493	0.2244	12	0.48	BERAWAN	AMAN
13	16/06/2026	18:39:55	1852	1.343	1.492	0.149	13	0.52	MENDUNG	WASPADA
14	16/06/2026	18:40:00	1854	1.418	1.494	0.0750	14	0.64	BERAWAN	AMAN

☆ Tanggal

≡

Sheet1

Sheet2

+

Gambar 4. 5 Tampilan Data Spreadsheet Monitoring Medan Listrik Atmosfer

4.5 Hasil Pengujian Sinyal Keluaran EFM Sebelum Penguatan

Pada pengujian ini dilakukan pengukuran sinyal keluaran *Electric Field Mill* (EFM) sebelum melewati rangkaian *amplifier* LM358. Pengukuran bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan keluaran sensor yang dihasilkan akibat perubahan medan listrik atmosfer. Data hasil pengukuran digunakan sebagai acuan untuk mengetahui kebutuhan penguatan sinyal sebelum diproses oleh mikrokontroler ESP32-S3.

Pengukuran dilakukan pada keluaran sensor EFM menggunakan osiloskop yang terhubung langsung ke titik keluaran sensor sebelum masuk ke rangkaian *amplifier*. Hasil pengukuran ditunjukkan pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengukuran Sinyal Keluaran EFM Sebelum Penguatan

No.	Vin (mV)	Vmax(mV)	Vmin (mV)	Vpp (mV)
1.	85.20 mV	400,000 mV	-240,000 mV	640,000 mV
2.	89.50 mV	400,000 mV	-160,000 mV	560,000 mV
3.	83.02 mV	460,000 mV	-160,000 mV	620,000 mV
4.	83.54 mV	400,000 mV	-160,000 mV	720,000 mV
5.	83.31 mV	400,000 mV	-320,000 mV	640,000 mV
6.	83.89 mV	480,000 mV	-240,000 mV	640,000 mV
7.	86.57 mV	480,000 mV	-160,000 mV	640,000 mV
8.	84.94 mV	320,000 mV	-240,000 mV	560,000 mV
9.	82.94 mV	400,000 mV	-240,000 mV	560,000 mV
10.	82.88 mV	480,000 mV	-160,000 mV	720,000 mV

Nilai tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) diperoleh dari selisih antara tegangan maksimum (V_{max}) dan tegangan minimum (V_{min}) sesuai dengan Persamaan (1) pada Bab II.

$$V_{pp} = V_{max} - V_{min}$$

Contoh perhitungan menggunakan data pengukuran pertama pada Tabel 4.1:

$$V_{pp} = 400,000 - (-240,000)$$

$$V_{pp} = 640,000 \text{ mV}$$

Hasil perhitungan tersebut sesuai dengan nilai V_{pp} yang diperoleh dari hasil pengukuran osiloskop.

Berdasarkan hasil pengukuran pada Tabel 4.1, diperoleh nilai V_{in} berkisar antara 82.88 mV hingga 89.50 mV dengan nilai rata-rata sekitar 84.58 mV. Tegangan maksimum (V_{max}) yang terukur berada pada rentang 320 mV hingga 480 mV, sedangkan tegangan minimum (V_{min}) berada pada rentang -320 mV hingga -80 mV. Nilai tegangan puncak ke puncak (V_{pp}) yang dihasilkan sensor EFM berkisar antara 480 mV hingga 720 mV.

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sinyal keluaran EFM masih berada pada level tegangan yang relatif rendah sehingga diperlukan rangkaian penguat untuk meningkatkan amplitudo sinyal. Sinyal dengan amplitudo yang rendah akan sulit diproses secara optimal oleh ADC ESP32-S3 sehingga diperlukan proses pengkondisian sinyal menggunakan *amplifier* LM358.

4.6 Hasil Pengujian Gain Amplifier LM358

Pengujian *gain* dilakukan untuk mengetahui kemampuan rangkaian *amplifier* LM358 dalam memperkuat sinyal keluaran *Electric Field Mill*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai tegangan masukan (V_{in}) dari keluaran sensor EFM dengan tegangan keluaran (V_{out}) pada rangkaian *amplifier* LM358. Hasil pengukuran digunakan untuk mengetahui besarnya penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier*.

Berdasarkan perancangan rangkaian *non-inverting amplifier* yang telah dijelaskan pada Bab II, nilai *gain* aktual dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$A_v = \frac{V_{out}}{V_{in}}$$

Pengujian dilakukan sebanyak beberapa kali untuk mengetahui konsistensi penguatan yang dihasilkan oleh rangkaian *amplifier* LM358. Nilai tegangan

masukan (V_{in}) dan tegangan keluaran (V_{out}) diukur menggunakan alat ukur yang sama pada kondisi pengujian yang identik. Selanjutnya, nilai gain aktual dihitung pada setiap pengukuran dan dibandingkan dengan nilai gain teoritis yang telah dirancang. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kesesuaian kinerja rangkaian *amplifier* terhadap desain yang telah dibuat serta mengidentifikasi adanya penyimpangan.

Hasil pengujian *gain amplifier* ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Gain Amplifier LM358

No.	Tegangan Input (mV)	Tegangan Output (V)	Pengutan Aktual	Penguatan Teoritis	Error (%)
1.	85.20 mV	1.683 V	19.75	20	1.25
2.	89.50 mV	1.680 V	18.77	20	6.15
3.	83.02 mV	1.682 V	20.26	20	1.30
4.	83.54 mV	1.682 V	20.13	20	0.65
5.	83.31 mV	1.683 V	20.20	20	1.00
6.	83.89 mV	1.685 V	20.09	20	0.45
7.	86.57 mV	1.662 V	19.20	20	4.00
8.	84.94 mV	1.682 V	20.80	20	1.00
9.	82.94 mV	1.682 V	20.28	20	1.40
10.	82.88 mV	1.683 V	20.31	20	1.55
Rata-rata	84.58 mV	1.680 V	19.87	20	1.88

Contoh perhitungan gain menggunakan data pengukuran pertama pada Tabel 4.2 adalah sebagai berikut:

$$A_v = \frac{1.6804}{0,08458}$$

$$A_v = 19.87$$

Perhitungan Error

$$\text{Error} = \left| \frac{20 - 19.87}{20} \right| \times 100\% \\ = 0.65\%$$

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.1, diperoleh rata-rata tegangan masukan sebesar 84,58 mV dan rata-rata tegangan keluaran sebesar 1,680 V. Nilai gain aktual rata-rata yang diperoleh sebesar 19,87, mendekati gain teoritis sebesar 20 dengan nilai error rata-rata hanya 0,65%. Selisih kecil ini disebabkan oleh toleransi komponen resistor yang digunakan serta karakteristik internal Op-Amp LM358 seperti input offset voltage. Hal ini menunjukkan bahwa nilai *gain* yang digunakan sudah cukup optimal untuk meningkatkan sensitivitas sistem *Electric Field Mill* tanpa menyebabkan penurunan kualitas sinyal. Dengan demikian, rangkaian *amplifier* LM358 dapat mendukung proses pengukuran medan listrik secara lebih akurat sebelum sinyal diteruskan ke rangkaian *filter* dan mikrokontroler ESP32-S3.

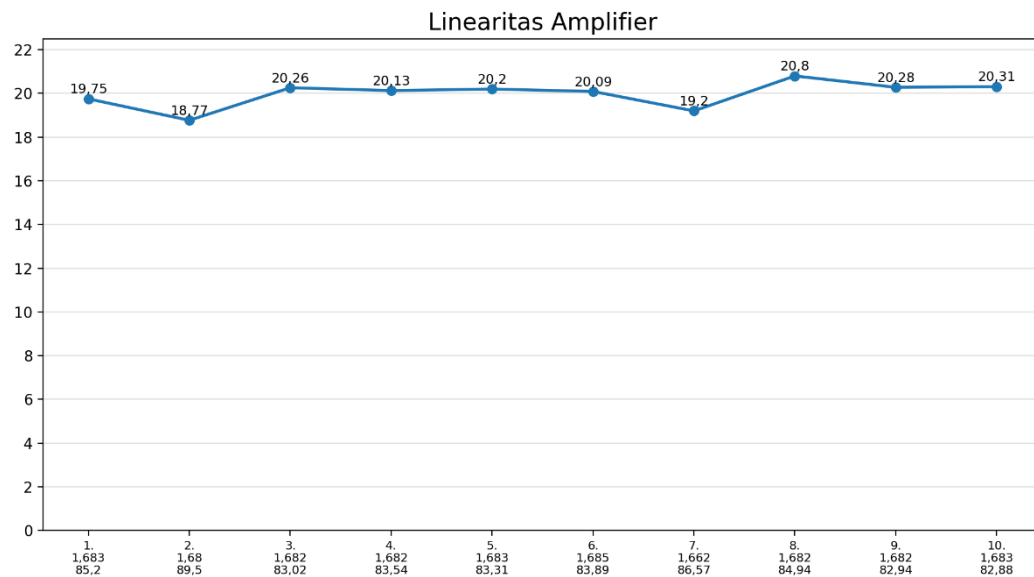
4.7 Hasil Pengujian Linearitas Amplifier LM358

Pengujian linearitas dilakukan untuk mengetahui hubungan antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *amplifier*. Pengujian dilakukan dengan memberikan variasi nilai tegangan masukan dan mengamati perubahan tegangan keluaran yang dihasilkan.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Linearitas Amplifier

No.	Tegangan Input (mV)	Tegangan Output (V)
1.	85.20 mV	1.683 V
2.	89.50 mV	1.680 V
3.	83.02 mV	1.682 V
4.	83.54 mV	1.682 V
5.	83.31 mV	1.683 V
6.	83.89 mV	1.685 V

7.	86.57 mV	1.662 V
8.	84.94 mV	1.682 V
9.	82.94 mV	1.682 V
10.	82.88 mV	1.683 V



Gambar 4. 6 Grafik Hubungan Tegangan Masukan dan Keluaran Amplifier

Grafik hubungan V_{in} terhadap V_{out} menunjukkan bahwa tegangan keluaran meningkat seiring bertambahnya tegangan masukan. Semakin mendekati bentuk garis lurus, maka semakin baik tingkat linearitas *amplifier* yang digunakan.

Berdasarkan data hasil pengujian, terlihat bahwa perubahan tegangan masukan menghasilkan perubahan tegangan keluaran yang relatif sebanding. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian *amplifier* LM358 bekerja pada daerah operasi linier sehingga mampu memperkuat sinyal tanpa mengalami distorsi yang signifikan. Karakteristik linear tersebut penting dalam sistem monitoring medan listrik karena memastikan bahwa perubahan sinyal yang diterima dari sensor Electric Field Mill dapat direpresentasikan secara akurat pada sisi keluaran. Dengan demikian, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa *amplifier* LM358 yang digunakan telah memenuhi fungsi penguatan yang diharapkan dan layak digunakan sebagai tahap pengkondisi sinyal pada sistem yang dirancang.

4.8 Hasil Pengujian Signal to Noise Ratio (SNR)

Pengujian *Signal to Noise Ratio* (SNR) dilakukan untuk mengevaluasi kualitas sinyal keluaran dari rangkaian *amplifier* LM358 yang digunakan pada sistem *Electric Field Mill* (EFM). Parameter SNR digunakan untuk mengetahui perbandingan antara amplitudo sinyal yang diinginkan dengan amplitudo *noise* yang ikut muncul pada keluaran sistem. Semakin besar nilai SNR yang diperoleh, maka semakin baik kualitas sinyal karena pengaruh *noise* terhadap sinyal menjadi semakin kecil. Pada pengujian ini, pengukuran dilakukan sebanyak 10 kali dengan mengamati tegangan keluaran *amplifier* (V_{out}), tegangan maksimum (V_{max}), dan tegangan minimum (V_{min}). Data hasil pengukuran tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai *noise* dan SNR pada setiap pengujian. Hasil pengukuran dan perhitungan SNR ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Pengujian Signal to Noise Ratio (SNR)

No.	V_{out} <i>Amplifier</i> (V)	V_{max} (V)	V_{min} (V)	Noise (V)	SNR (dB)
1.	1.683 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
2.	1.680 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,44 dB
3.	1.682 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
4.	1.682 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
5.	1.683 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
6.	1.685 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,47 dB
7.	1.662 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
8.	1.682 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
9.	1.682 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB
10.	1.683 V	1,280 V	1,200 V	0,080 V	86,45 dB

Nilai *noise* diperoleh dari selisih antara tegangan maksimum (V_{max}) dan tegangan minimum (V_{min}) yang terukur pada keluaran *amplifier* sebelum

memasuki rangkaian *filter*. Perhitungan *noise* mengacu pada Persamaan (5) yang telah dijelaskan pada Bab II.

$$V_{noise} = V_{max} - V_{min}$$

Contoh perhitungan menggunakan data pengukuran pertama pada Tabel 4.4:

$$V_{noise} = 1,280 - 1,200$$

$$V_{noise} = 0,080 \text{ V}$$

Setelah nilai *noise* diperoleh, nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$SNR(dB) = 20\log\left(\frac{V_{signal}}{V_{noise}}\right)$$

Contoh perhitungan menggunakan data pengukuran pertama:

$$SNR = 20\log\left(\frac{1.683}{0,080}\right)$$

$$SNR = 20\log(21.037)$$

$$SNR = 86,45 \text{ dB}$$

Hasil perhitungan tersebut sesuai dengan nilai SNR yang diperoleh pada Tabel 4.4.

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.4, diperoleh nilai *Signal to Noise Ratio* (SNR) berkisar antara 86,44 dB hingga 86,47 dB dengan nilai rata-rata sebesar 86,45 dB. Nilai SNR yang relatif konstan pada setiap pengujian menunjukkan bahwa rangkaian *amplifier* LM358 memiliki performa yang sangat stabil dalam memperkuat sinyal dengan tingkat gangguan (*noise*) yang sangat rendah. Tegangan keluaran *amplifier* berada pada rentang 1,662 V hingga 1,685 V, sedangkan nilai *noise* yang terukur sebesar 0,080 V. Konsistensi nilai SNR tersebut menunjukkan bahwa sinyal hasil penguatan tetap stabil meskipun terjadi sedikit variasi pada tegangan keluaran selama proses pengujian.

Dengan nilai SNR rata-rata sebesar 86,45 dB, kualitas sinyal keluaran amplifier dapat dikategorikan sangat baik (*excellent*) karena daya sinyal jauh lebih besar dibandingkan daya *noise*. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengaruh *noise* terhadap sinyal keluaran sangat kecil sehingga sinyal yang dihasilkan memiliki tingkat kejernihan dan kestabilan yang tinggi. Oleh karena itu, rangkaian *amplifier* LM358 mampu menghasilkan sinyal yang optimal untuk diproses oleh rangkaian filter dan mikrokontroler ESP32-S3, sehingga mendukung proses pengukuran medan listrik pada sistem *Electric Field Mill* (EFM) dengan akurasi dan keandalan yang baik.

4.9 Analisa Data

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian yang telah dilakukan, rangkaian *amplifier* berbasis IC LM358 mampu meningkatkan amplitudo sinyal keluaran *Electric Field Mill* (EFM) yang semula berada pada rentang 82,88–89,50 mV menjadi 1,662–1,685 V dengan nilai penguatan rata-rata sekitar 19,98 kali. Nilai penguatan yang relatif konstan menunjukkan bahwa rangkaian *amplifier* bekerja secara linear dan stabil dalam memperkuat sinyal tanpa mengalami perubahan yang signifikan pada setiap pengujian. Pengujian distorsi juga memperlihatkan bahwa bentuk gelombang keluaran tetap menyerupai sinyal masukan, sedangkan pengujian saturasi menunjukkan bahwa tegangan keluaran maksimum 1,685 V masih berada di bawah batas catu daya LM358, sehingga *amplifier* bekerja pada daerah linear dan tidak mengalami *clipping*.

Dari sisi kualitas sinyal, nilai *Signal-to-Noise Ratio* (SNR) rata-rata sebesar 86,45 dB menunjukkan bahwa sinyal hasil penguatan memiliki kualitas yang sangat baik dengan pengaruh *noise* yang sangat kecil. Hal ini didukung oleh hasil pengujian stabilitas yang memperlihatkan variasi tegangan keluaran yang rendah selama proses pengukuran serta grafik linearitas yang menunjukkan hubungan proporsional antara tegangan masukan dan tegangan keluaran *amplifier*.