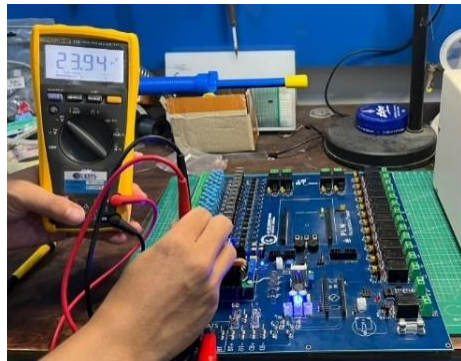


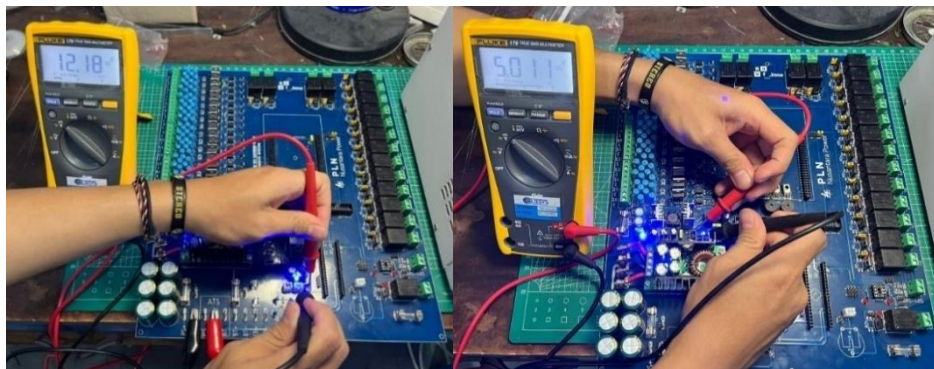
BAB IV PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian *Supply Daya* Pada Sistem Elektrikal Modul Board FACP

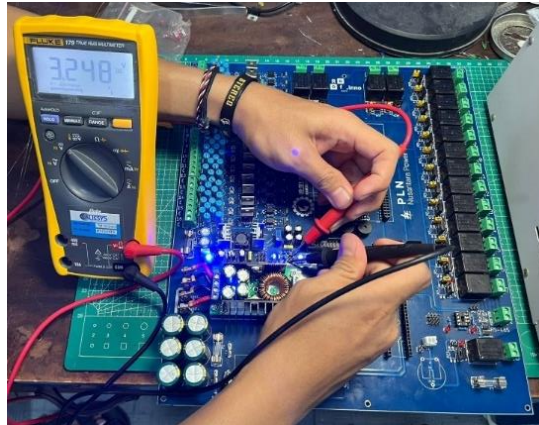
Pengujian Rangkaian Elektrikal Modul Board FACP dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran dari sistem power yang ada pada modul board FACP dan nilai perhitungan dengan alat ukur. Pengujian ini hanya dilakukan untuk mengukur tegangan keluaran dari *buck converter* dan konsumsi arus yang digunakan pada rangkaian elektrikal modul *board* FACP. Pengujian dilakukan pada modul *board* FACP yang disuplai menggunakan *DC power supply* dengan tegangan 24V.



Gambar 4.1 Output Tegangan dari Modul Buck Converter 24V



Gambar 4.2 Output Tegangan dari Buck Converter On Board 12V dan 5V



Gambar 4.3 Output Tegangan dari Buck Converter On Board 3V3

Hasil pengukuran tegangan keluaran dari *buck converter* ditunjukkan pada Gambar 4.1 yang mengukur keluaran tegangan dari *buck converter* 24V dengan hasil pengukuran sebesar 23.94V, yang mendekati nilai nominal 24V, Gambar 4.2 memperlihatkan hasil pengujian pada *buck converter* 12V dan 5V dengan hasil tegangan keluaran sebesar 12.18V dan 5.01V, dan Gambar 4.3 yang menunjukkan hasil pengujian pada *buck converter* 3.3V dengan tegangan keluaran sebesar 3.248V. Dari pengujian yang telah dilakukan diperoleh selisih nilai antara tegangan referensi atau nominal dengan tegangan pengukuran atau aktual, selisih dan error yang dihasilkan dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Tegangan Referensi dan Pengukuran

Sumber Tegangan	Tegangan Referensi (V)	Tegangan Pengukuran (V)	Selisih (V)	Error (%)
Modul Buck Converter 24V	24	23.94	0.06	0.25%
Buck Converter On Board 12V	12	12.18	0.18	1.50%
Buck Converter On Board 5V	5	5.011	0.011	0.22%
Buck Converter On Board 3V3	3.3	3.248	0.052	1.576%

Pengujian dilakukan menggunakan alat ukur multimeter digital merk Fluke 179 dengan akurasi pembacaan $\pm 0.09\%$. Berdasarkan Tabel 4.1, hasil dari pengukuran terdapat *error* terhadap tegangan referensi (aktual). *Error* yang di dapat antara selisih referensi dengan pengukuran tidak $> 2\%$, hasil *error* ini masuk dalam kategori aman dan wajar karena maksimum standar toleransi tegangan adalah $\pm 5\%$. *Error* yang dihasilkan dapat dipengaruhi oleh faktor toleransi komponen, beban yang digunakan, suhu, dan alat ukur.



Gambar 4.4 Modul Board FACP ketika posisi HIGH tanpa beban input dan output

Berdasarkan Gambar 4.4, pengukuran total arus dari Modul Board FACP yang disuplai menggunakan DC *power supply* dengan tegangan 24V dalam kondisi HIGH tanpa beban sensor dan annunciator. Pengukuran total arus menunjukkan nilai arus sebesar 0.49A, pengukuran dilakukan menggunakan alat ukur *clamp meter* untuk mengetahui besar arus yang digunakan pada Modul Board FACP.

Tabel 4.2 Pengujian Total Daya dan Total Arus

Pengujian	Perhitungan		Pengukuran		<i>Error</i>	
	Total Daya	Total Arus	Total Daya	Total Arus	Total Daya	Total Arus
Modul Board FACP	12.485	0.515	11.76	0.49	5.8%	4.85%

Pada Tabel 4.2, perhitungan total arus dan daya modul board FACP dilakukan dengan menggunakan referensi rating komponen berdasarkan spesifikasi teknis dari komponen utama yang terpasang. Hasil perhitungan menunjukkan kebutuhan daya total sebesar 12.485W dengan total arus sebesar 0.515A. Hasil pengukuran aktual menunjukkan bahwa total arus yang dikonsumsi oleh modul board FACP adalah 0.49A dengan total daya sebesar 11.76W. Dari data yang telah dihitung dan diukur terdapat selisih antara hasil perhitungan dan pengukuran, yaitu *error* sebesar 5.8% untuk daya dan 4.85% untuk arus, dimana nilai hasil pengukuran cenderung lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan.

Perbedaan ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, tegangan baterai mengalami penurunan saat diberi beban (*voltage drop under load*), sehingga daya yang masuk ke rangkaian menjadi lebih rendah dibandingkan asumsi perhitungan. Kedua, terdapat penurunan kinerja pada jalur suplai daya, seperti *voltage drop* pada jalur distribusi dan efisiensi regulator atau konverter yang tidak mencapai nilai ideal, sehingga daya yang diterima modul menjadi sedikit berkurang. Ketiga, keterbatasan akurasi alat ukur, baik dari segi resolusi, kalibrasi, maupun metode pengukuran, juga dapat mempengaruhi hasil. Selain itu, toleransi komponen dan pengaruh suhu kerja dapat menyebabkan arus serta daya aktual berbeda dari nilai perhitungan teoritis.

Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti toleransi komponen, efisiensi rangkaian konversi daya, dan rugi daya pada jalur distribusi, selisih sekitar 5% antara nilai perhitungan dan hasil pengukuran masih tergolong wajar dalam pengujian sistem elektronik. Perbedaan ini merupakan hal yang umum terjadi akibat variasi kondisi operasional dan karakteristik komponen. Hasil pengujian menunjukkan daya yang dikonsumsi sedikit lebih rendah dari perkiraan teoritis, menandakan bahwa desain modul board FACP bekerja cukup efisien serta sesuai dengan perhitungan awal, tanpa deviasi signifikan yang dapat mempengaruhi kinerja sistem secara keseluruhan.

4.2 Pengujian Sensor *Smoke Detector* Analog

Pengujian sensor *smoke detector* analog dilakukan dengan mengukur keluaran arus dari *smoke detector* analog menggunakan alat ukur multimeter dan pembacaan dari mikrokontroler. *Smoke detector* analog pada sistem ini menggunakan tegangan 24V dan memiliki karakteristik keluaran arus mengikuti kondisi dari sensor, *smoke detector* yang digunakan memiliki 3 kondisi yaitu kondisi *standby*, kondisi *standby* LED berkedip, dan kondisi *Alarm*. Pengujian pengukuran arus *smoke detector* dilakukan tanpa menggunakan EOL (*End of Line*) resistor, yang dimana EOL resistor ini dapat berpengaruh pada keluaran arus dari *smoke detector*, sehingga keluaran arus pada *smoke detector* tidak maksimal atau tidak sesuai dengan spesifikasi dari *smoke detector*.

Tabel 4.3 Pengujian 1 Sensor Smoke Detector Analog

Kondisi Smoke	Pengukuran		Perhitungan	
	Led Mati	1	Led Mati	1
Standby	0.09mA	0.17mA	0.9mA	0.18mA
Alarm	-	38.75mA	-	38.75mA

Pada Tabel 4.3 menunjukan pengujian satu *smoke detector* dengan pengukuran dan perhitungan memiliki pola data pada setiap kondisinya, ketika *standby* LED berkedip pengukuran menunjukan hasil 0.17mA, dan perhitungan menunjukan hasil 0.18mA. Hasil perhitungan 0.18mA didapat dari ketika pengukuran sensor saat LED kedip menghasilkan arus 0.17-0.18mA, jadi penulis memasukkan nilai 0.18mA sebagai nilai perhitungan kondisi *standby* LED berkedip. Kemudian, nilai *standby* LED berkedip memiliki pola kelipatan 2x dari kondisi awal atau kondisi *standby*. Pada pengujian pengukuran kondisi *alarm*, sensor dapat menghasilkan arus hingga 38.75mA. Untuk pengujian perhitungan kondisi *alarm* sensor menggunakan nilai arus 38.75mA, nilai arus didapat dari hasil rata-rata keluaran arus sensor saat kondisi alarm.

Tabel 4.4 Pengujian 2 Sensor Smoke Detector Analog

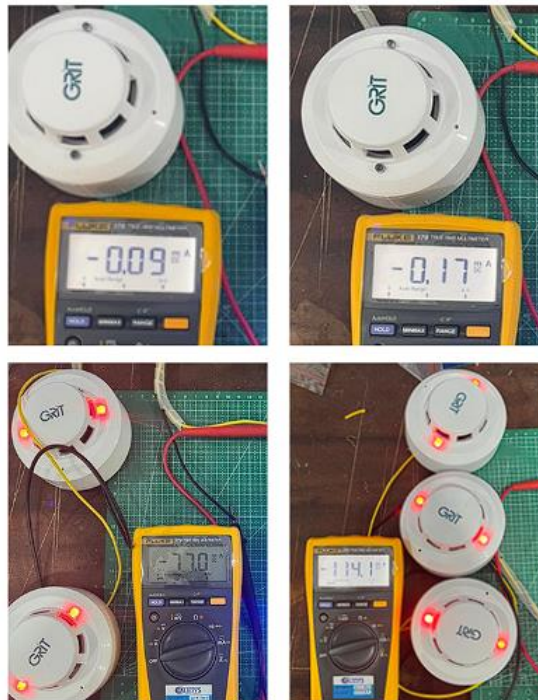
Kondisi Smoke	Pengukuran			Perhitungan		
	Led Mati	1	2	Led Mati	1	2
Standby	0.19mA	0.24mA	0.33mA	0.18mA	0.27mA	0.36mA
Alarm	-	38.65mA	77mA	-	38.75mA	77.5mA
1 Alarm + 1 Standby (Led Kedip)	-	38.72mA	-	-	38.84mA	-

Pada Tabel 4.4 menunjukkan hasil pengujian 2 *smoke detector* dengan pengukuran dan perhitungan. Pada saat pengukuran dengan 2 *smoke detector* kemudian satu *smoke detector* berkedip dan satu *smoke detector* posisi *standby*, nilai arus yang terbaca memiliki perbedaan dengan pengukuran satu *smoke detector*, karena nilai arus yang terbaca adalah nilai arus total dari 2 *smoke detector* dalam keadaan berbeda.

Tabel 4.5 Pengujian 3 Sensor Smoke Detector Analog

Kondisi Smoke	Led Mati	Pengukuran			Led Mati	Perhitungan		
		1	2	3		1	2	3
Standby	0.29mA	0.37mA	0.47mA	0.50mA	0.27mA	0.36mA	0.45mA	0.54mA
Alarm	-	38.57mA	76.8mA	114.1mA	-	38.75mA	77.5mA	116.25mA
Alarm + 1 Standby (Led Kedip)	-	38.61mA	76.9mA	-	-	38.84mA	77.59mA	
Alarm + 2 Standby (Led Kedip)	-	38.72mA	-	-	-	38.93mA	-	

Pada Tabel 4.5 menunjukkan hasil pengujian 3 *smoke detector* dengan pengukuran dan perhitungan. Hasil nilai arus yang didapatkan pada saat pengukuran memiliki selisih yang tidak jauh dari hasil perhitungan, hal ini membuktikan bahwa nilai arus pengukuran pada sensor sesuai dengan yang diharapkan.



Gambar 4.5 a.) 1 Smoke Detector (Standby) b.) 1 Smoke Detector (Standby LED kedip) c.) 2 Smoke Detector (All Alarm) d.) 3 Smoke Detector (All alarm)

Berdasarkan Tabel 4.3, Tabel 4.4 dan Tabel 4.5, pengujian dilakukan menggunakan dua metode, yaitu pengujian pengukuran dan pengujian perhitungan. Pengujian pengukuran dilakukan menggunakan multimeter dengan cara menghubungkan sensor secara seri ke terminal segmen untuk mengukur arus keluaran dari sensor. Untuk pengujian perhitungan, dilakukan berdasarkan nilai arus keluaran satu sensor yang terbaca dari multimeter dalam tiga kondisi, yaitu saat *standby*, LED berkedip, dan alarm dari satu unit *smoke detector*. Gambar 4.5 merupakan hasil pengukuran ketika satu terminal segmen input menggunakan satu *smoke detector*, dua *smoke detector*, dan 3 *smoke detector*. Pengukuran pada Gambar 4.5 dilakukan dengan variasi kondisi sensor alarm.

Pada pengujian ini membuktikan bahwa pada saat sensor dalam kondisi *standby* LED berkedip hanya menambah sedikit arus, artinya keadaan sensor LED berkedip tidak signifikan memengaruhi beban total sensor.

4.3 Pengujian Sistem Pemrosesan Sinyal *Smoke Detector* Analog

Sensor analog yang digunakan adalah *smoke detector* analog yang menghasilkan sinyal keluaran berupa arus listrik, arus yang keluar akan terus berubah berdasarkan kondisi dari sensor. *Smoke detector* analog tetap mengeluarkan arus meskipun dalam kondisi *standby*, kemudian arus akan berubah naik ketika LED *internal* sensor berkedip dan jika sensor mendeteksi asap maka sensor akan memberikan sinyal arus yang tinggi. Karena pada sistem FACP yang dibuat menggunakan STM32F4 Discovery sebagai MCU utama sistem yang tidak bisa membaca sinyal arus langsung maka, arus yang dikeluarkan dari sensor harus diubah menjadi tegangan agar bisa dibaca oleh STM32F4 Discovery lalu akan *diconvert* menjadi data ADC.



Gambar 4.6 Rangkaian Shunt Resistor

Gambar 4.6 merupakan rangkaian sistem input, setiap segmennya memiliki 4 resistor yang disusun membentuk dua jalur paralel yang dihubungkan secara seri vertikal dari input sensor ke GND. Pemrosesan sinyal arus pada sensor ini melibatkan rangkaian shunt resistor sebagai rangkaian pemroses sinyal analog, arus yang melewati rangkaian shunt resistor akan dirubah menjadi pengukuran tegangan. Resistor yang digunakan adalah resistor dengan resistansi 3.3Ω 3W.

Tabel 4.6 Perhitungan Konversi Arus ke Tegangan dan ADC

Resistansi (Ω)	Vref (V)	Kondisi Smoke	Arus (A)	Tegangan (V)	ADC	
3.3	3.3	Standby	0.00009	0.000297	0.36855	≈ 0

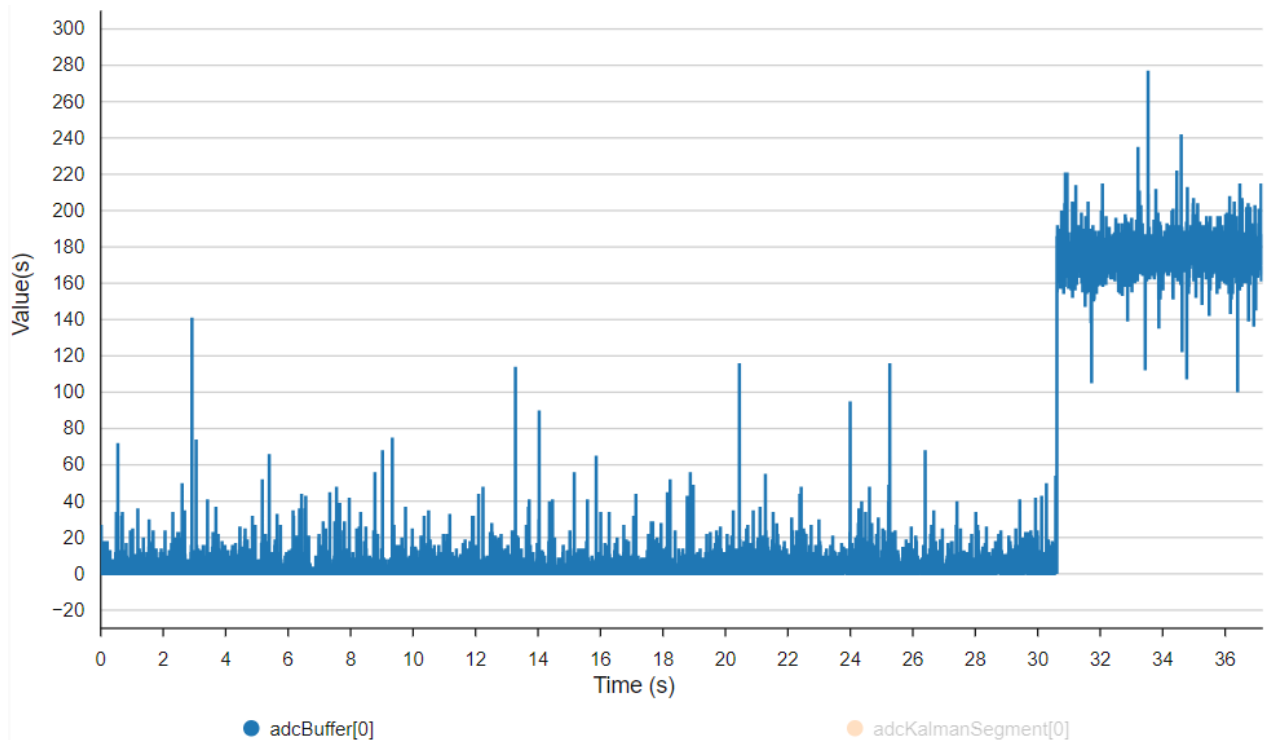
Tabel Lanjutan 4.6 Perhitungan Konversi Arus ke Tegangan dan ADC

Resistansi (Ω)	Vref (V)	Kondisi Smoke	Arus (A)	Tegangan (V)	ADC	
3.3	3.3	Standby	0.00017	0.000561	0.69615	≈ 0
		LED kedip				
		Alarm	0.03875	0.127875	155.61	≈ 155

Berdasarkan Tabel 4.6, perhitungan konversi menggunakan satu *smoke detector* dapat menghasilkan tegangan dan ADC sesuai dengan kondisi sensor. Perhitungan data ADC menggunakan tegangan referensi 3.3V dengan resolusi 12-bit (nilai digitalnya 0 - 4095).

4.3.1 Hasil dan Analisa Pembacaan ADC Dari Sensor Pada Mikrokontroler

Pembacaan data ADC dari sensor pada mikrokontroler dilakukan menggunakan *software* STM32CubeMonitor untuk menampilkan grafik nilai data ADC yang terbaca.

**Gambar 4.7** Pembacaan nilai ADC pada Mikrokontroler

Berdasarkan Gambar 4.7, nilai ADC dari sensor dapat terbaca oleh mikrokontroler dengan interval waktu per milidetik. Nilai ADC yang terbaca pada rentang waktu 0 – 30.5 detik adalah kondisi *standby* dari sensor, meskipun nilai ADC yang terbaca relatif rendah, data menunjukkan adanya *noise* berupa lonjakan (*spike*) yang mencapai nilai hingga 140. Pada rentang waktu 30.5 – 37 detik terjadi lonjakan tajam nilai ADC karena sensor berada dalam kondisi mendeteksi asap atau alarm.

Tabel 4.7 Pembacaan Nilai ADC dari Sensor Pada Mikrokontroler

No	Time	ADC	No	Time	ADC
1	0.5	34	11	30.612	0
2	1.007	0	12	30.615	186
3	1.502	0	13	31.007	179
4	2.921	141	14	31.503	185
5	3.056	74	15	32.01	160
6	28.508	4	16	35.006	176
7	29.002	8	17	35.501	185
8	29.5	4	18	36.002	176
9	30.004	0	19	36.508	180
10	30.501	0	20	37.003	170

Berdasarkan Tabel 4.7, pada rentang waktu 0.5 hingga 30.612 detik, nilai ADC menunjukkan data yang fluktuatif. Efek *spike* tertinggi terjadi saat *smoke detector* berada dalam kondisi *standby*, yakni mencapai nilai 141 pada detik ke-2.921, dan *spike* berikutnya sebesar 74 terjadi pada detik ke-3.056. Namun demikian, pola nilai ADC yang terbaca juga sesekali menyentuh nilai 0. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi *standby* smoke detector dengan pola kedipan LED setiap 10 detik tidak menghasilkan pola *spike* yang konsisten pada nilai ADC. Kasus ini bisa terjadi karena kenaikan arus sesaat saat LED berkedip, yang bersifat acak (tidak berpola) dan mengalami delay terhadap waktu pembacaan, dan bisa juga dipengaruhi oleh karakteristik respon sensor atau sensitivitas pembacaan ADC terhadap perubahan tegangan yang sangat cepat.

Kemudian, pada detik ke-30.615 terjadi lonjakan tajam pada pembacaan nilai ADC hingga mencapai 186. Pada rentang waktu detik ke-30.615 hingga detik ke-37.003, grafik menunjukkan pola pembacaan nilai ADC dalam kondisi *alarm*. Nilai ADC pada rentang ini cenderung stabil, karena nilai ADC yang terbaca menunjukkan nilai > 155 namun tetap ada variasi (*noise*).

Pada pengujian ini, menunjukkan bahwa mikrokontroler dapat membaca nilai ADC dari sensor sesuai dengan kondisinya meskipun memiliki variasi *noise* atau efek *spike* dari sensor maupun efek sensitivitas pembacaan ADC.

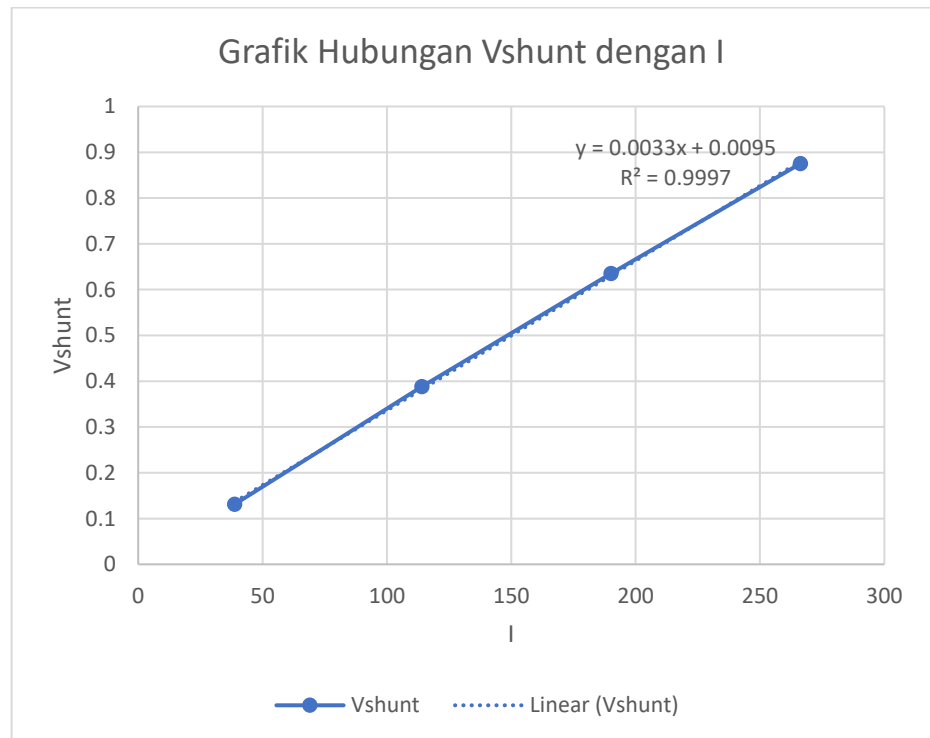
4.3.2 Hasil dan Analisa Pengukuran Vshunt, Arus, dan ADC

Pengukuran nilai Vshunt dilakukan dengan mengukur tegangan keluaran yang dihasilkan dari shunt resistor, untuk pengukuran arus dilakukan dengan mengukur keluaran dari sensor secara langsung dan nilai ADC akan dihasilkan dari pembacaan mikrokontroler.

Tabel 4.8 Pengukuran Vshunt dan I Sensor

Sensor	I	V_{shunt}
1	38.75	0.131
3	114.1	0.388
5	190.15	0.635
7	266.21	0.875

Berdasarkan Tabel 4.8, pengukuran Vshunt dan I (arus) pada sensor dilakukan pada kondisi sensor mendeteksi asap atau kondisi alarm. Dari Tabel 4.8, didapat grafik hubungan linear antara Vshunt dengan I atau total arus. Dari grafik tersebut didapat persamaan regresi linear hubungan Vshunt dengan total arusnya.



Gambar 4.8 Grafik Hubungan Vshunt dengan I

Berdasarkan Gambar 4.8, grafik hubungan antara Vshunt dengan arus total, diperoleh persamaan regresi linear $V_{shunt} = 0.0033 I + 0.0095$ dengan R^2 sebesar 0.997, yang menunjukkan hubungan sangat kuat dan linear. Persamaan ini menunjukkan bahwa setiap kenaikan arus sebesar 1A akan meningkatkan tegangan Vshunt sebesar 0.0033V (3.3mV), sedangkan nilai 0.0095V pada persamaan merepresentasikan tegangan *offset* yang muncul meskipun arus belum mengalir, yang dapat disebabkan oleh *noise* atau toleransi komponen. Nilai R^2 yang mendekati nilai 1 mengindikasikan bahwa hubungan antara arus dan tegangan sangat linear, sehingga model regresi linear ini memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam memprediksi Vshunt berdasarkan arus atau sebaliknya.

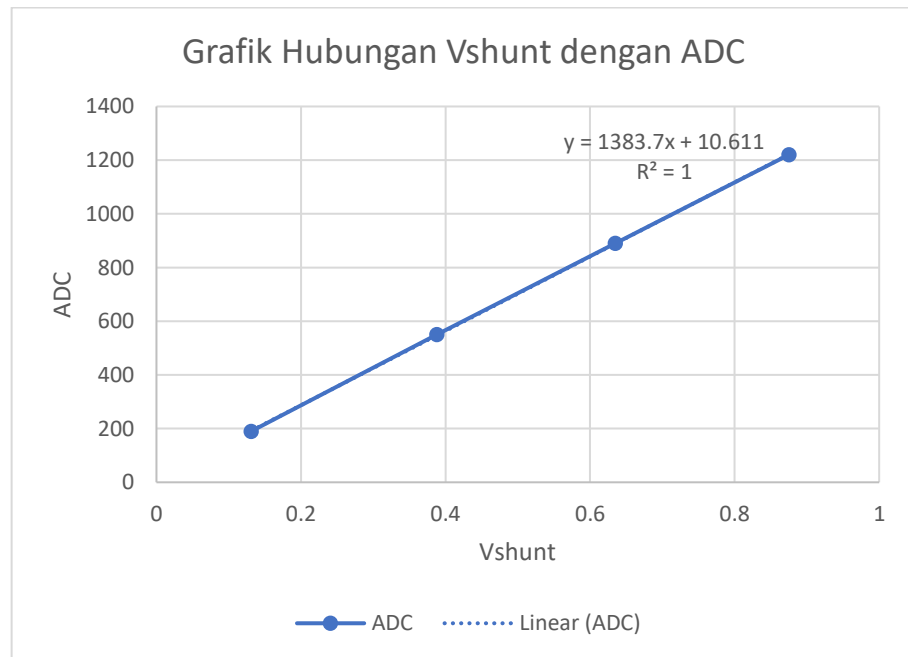
Dari persamaan regresi linear tersebut dapat dihitung bahwa untuk batas Vshunt maksimal 3.3V, arus total maksimal adalah sekitar 997mA. Dengan asumsi arus per sensor sekitar 38.75mA,

maka jumlah detektor yang dapat aktif secara bersamaan dalam satu segmen adalah maksimal 25 unit. Analisis ini belum dapat ditentukan sebagai batas maksimal sensor yang digunakan pada satu segmen, karena sistem FACP menggunakan mikrokontroler yang memiliki batas pembacaan ADC nya adalah 12-bit atau 4095. Selain itu sinyal V_{shunt} tidak langsung dikirim ke ADC, melainkan melewati rangkaian *input* yang memiliki berbagai komponen yang dapat mempengaruhi pembacaan nilai ADC.

Tabel 4.9 Pengukuran ADC dan V_{shunt}

Sensor	V_{shunt}	ADC
1	0.131	190
3	0.388	550
5	0.635	890
7	0.875	1220

Berdasarkan Tabel 4.9, pengukuran ADC dan V_{shunt} pada sensor dilakukan pada kondisi sensor mendeteksi asap atau kondisi alarm di dalam mikrokontroler. Dari Tabel 4.9, didapat grafik hubungan linear antara ADC dan V_{shunt} dan dari grafik tersebut didapat persamaan regresi linear hubungan antara ADC dan V_{shunt} .



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Vshunt dengan ADC

Berdasarkan Gambar 4.9 Grafik Hubungan Vshunt dengan ADC, diperoleh persamaan regresi linear $ADC = 1383.7 Vshunt + 10.611$ dengan R^2 sebesar 1, yang mengindikasikan akurasi kalibrasi yang optimal tanpa deviasi dari linearitas. Dari persamaan kalibrasi tersebut, diperoleh sensitivitas sistem sebesar 1383.7 ADC per volt, dengan offset sebesar 10.611 pada kondisi tegangan shunt nol. Perhitungan menunjukkan bahwa mencapai nilai ADC maksimum 4095 (12-bit), diperlukan tegangan shunt sebesar 2.951V, yang diperoleh dari substitusi nilai maksimum ADC ke dalam persamaan kalibrasi.

Batas tegangan referensi (V_{ref}) ADC sebesar 3.3V menjadi batas fisik maksimum sinyal analog yang dapat diterima oleh mikrokontroler. Namun, berdasarkan persamaan regresi linier hasil kalibrasi, didapatkan hubungan antara Vshunt dan nilai ADC dengan *slope* dan *offset* tertentu. Persamaan ini menunjukkan bahwa pembacaan ADC akan mencapai nilai maksimum 4095 pada Vshunt sebesar 2.951V, bukan 3.3V. Oleh karena itu, batas praktis perhitungan arus maksimal yang dapat diukur tidak hanya ditentukan

oleh batas V_{ref} , tetapi juga dikoreksi berdasarkan model regresi nyata agar tidak terjadi kesalahan pembacaan akibat *overflow* ADC.

Dengan menggunakan batas pembacaan ADC 12-bit sebesar 4095 dan persamaan regresi kalibrasi yang menghubungkan V_{shunt} dengan nilai ADC, diperoleh tegangan shunt maksimum sebesar 2.951V. Berdasarkan hubungan linear antara V_{shunt} dan arus total, arus maksimal yang dapat diukur adalah sekitar 892mA. Dengan asumsi arus per sensor sebesar 38.75mA pada kondisi alarm, maka jumlah sensor maksimum dalam satu segmen adalah sekitar 23 unit agar pembacaan ADC tetap berada dalam rentang akuisisi mikrokontroler tanpa mengalami *overflow*.

Namun demikian, sistem FACP juga mempertimbangkan aspek keselamatan operasional dan keandalan segmen kabel. Meskipun batas teknis arus maksimum mendekati 1A, untuk mengurangi risiko kelebihan beban dan memastikan keamanan kabel, sambungan, dan komponen input arus operasional per segmen dibatasi hanya hingga 0.8A. Dengan demikian perhitungan menunjukkan bahwa jumlah detektor dalam satu segmen sebaiknya dibatasi sekitar 20 unit, agar total arus alarm tetap dibawah batas keamanan 0.8A meskipun sistem masih bekerja dalam rentang akuisisi ADC yang valid.

4.4 Pengujian Kinerja Kalman Filter Pada Pembacaan Sensor *Smoke Detector*

Pengujian dilakukan untuk menganalisis kinerja Kalman Filter dalam memproses data pembacaan arus yang dirubah jadi data ADC dari *smoke detector* didalam mikrokontroler. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menganalisa pengaruh variasi parameter Q (*noise* proses) dan R (*noise* pengukuran) terhadap estimasi nilai ADC yang lebih stabil dan minim *noise*. Selain itu, pengujian ini melibatkan pengujian kalibrasi *threshold* serta efek dari penerapan kalman filter terhadap penggunaan dari 3 dan 7 *smoke detector* pada satu segmen input. Pada pengujian ini, data ADC mentah akan dirubah

menjadi nilai arus dan data ADC yang telah *filter* akan dirubah menjadi nilai arus filter dengan satuan miliAmpere (mA).

$$\text{TeganganSegment}[0] = (vRef * adcBuffer[0]) / 4095;$$

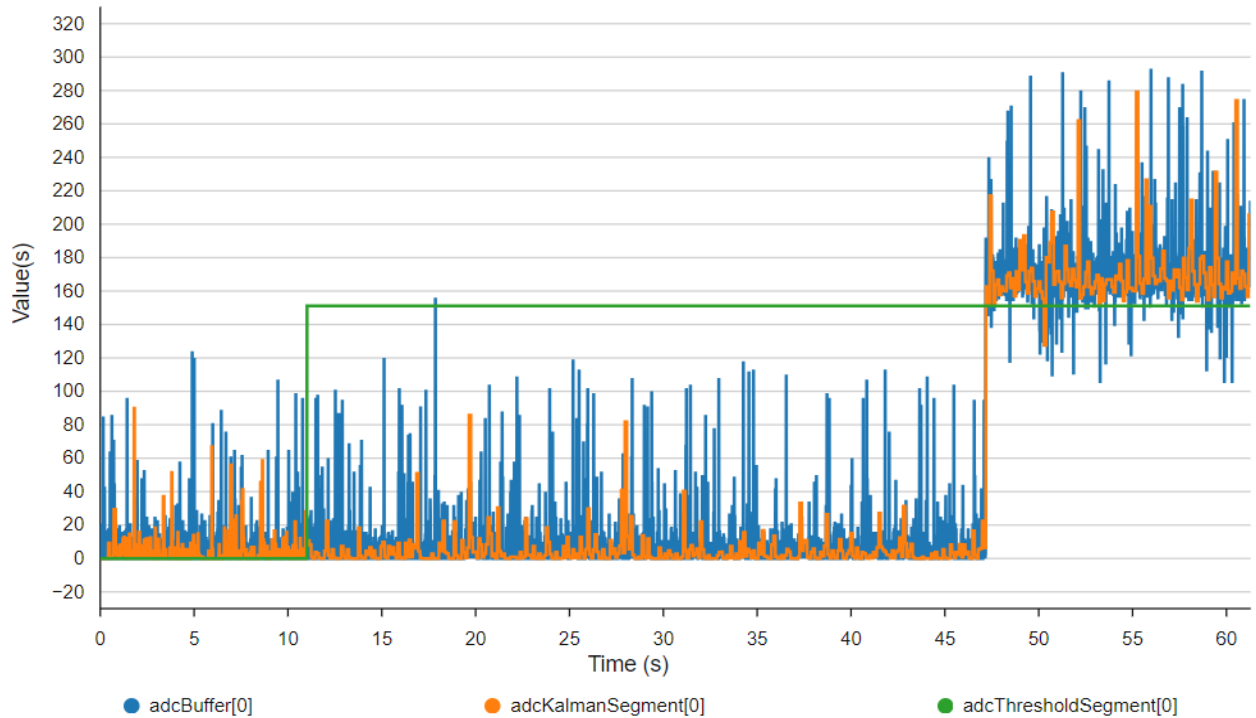
$$\text{ArusAsliSegment}[0] = (\text{TeganganSegment}[0] / resistor) * 1000;$$

Potongan listing program di atas berfungsi untuk memperoleh nilai tegangan dan arus asli sensor berdasarkan data ADC yang terbaca. Nilai tegangan dihitung dari hasil pembacaan ADC, kemudian dikonversi menjadi arus asli sensor dengan memperhitungkan nilai resistor shunt yang digunakan. Selanjutnya, nilai arus asli ini digunakan sebagai pembanding terhadap hasil arus yang telah melalui proses penyaringan menggunakan metode Kalman Filter.

4.4.1 Hasil Tuning Parameter Kalman Filter

Tuning Parameter Kalman Filter dilakukan dengan cara *trial and error* untuk menentukan rasio nilai parameter, rasio yang dilakukan dengan menggunakan kelipatan 10 karena lebih efisien dibandingkan perubahan linear kecil. *Tuning* parameter dilakukan untuk menargetkan hasil redaman dari Kalman Filter, peneliti menargetkan redaman 50%. Target redaman 50% dipilih peneliti karena dianggap sebagai kompromi terbaik antara kehalusan sinyal dan kecepatan respon deteksi alarm kebakaran. Dengan redaman pada kisaran ini, sistem tetap mampu menekan *noise* tanpa mengorbankan akurasi dan kecepatan pendeteksian kondisi kebakaran secara *real-time*.

A. Konfigurasi Parameter Nilai $Q = 0.1$ dan Nilai $R = 0.01$ ($Q > R$)



Gambar 4.10 Hasil Perbandingan Nilai ADC dengan Konfigurasi Parameter $Q = 0.1$ dan Parameter $R = 0.01$ dengan Nilai ADC mentah

Berdasarkan Gambar 4.10, hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC Kalman Filter menggunakan parameter Q dengan nilai 0.1 dan parameter R dengan nilai 0.01. Parameter nilai Q adalah nilai *Process Noise Covariance* yang menunjukkan seberapa besar sistem percaya pada sinyal sebenarnya, dan parameter nilai R adalah nilai *Measurement Noise Covariance* yang menunjukkan seberapa ketidakpastian atau *noise* pada hasil pembacaan sensor.

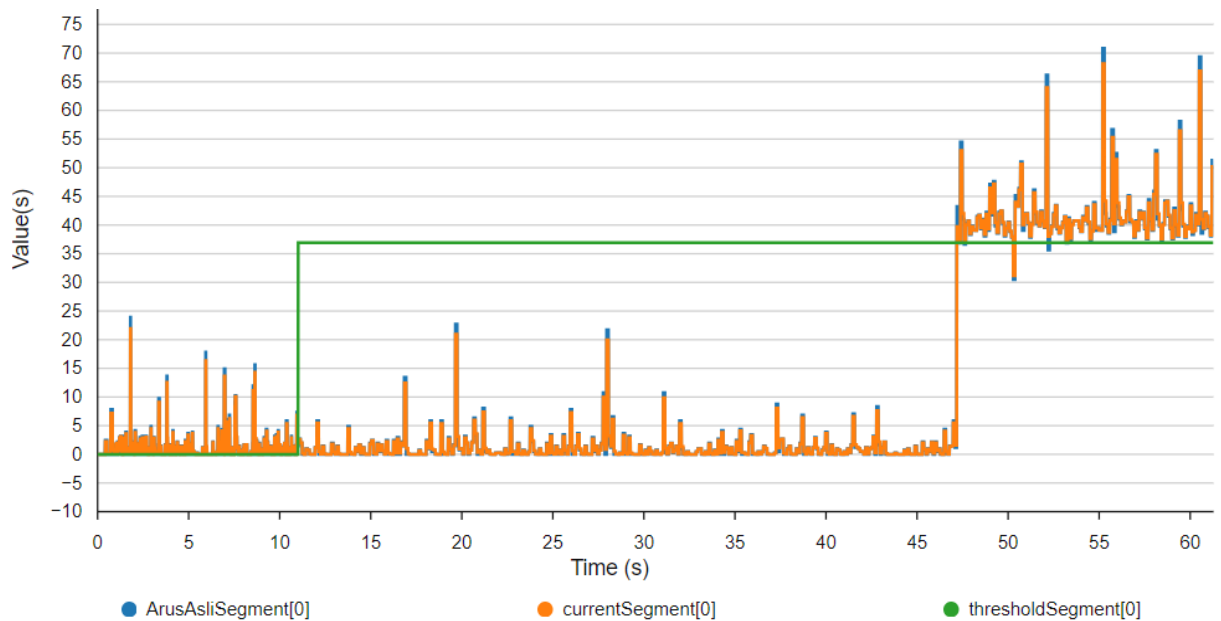
Tabel 4.10 Perbandingan nilai ADC asli dengan ADC yang telah difilter

Time (s)	ADC	ADC Filter	Selisih	Redaman (%)
0.784	45	29.3	15.7	34.9%
1.578	20	14.7	5.3	26.5%
6.958	61	55.8	5.2	8.5%
12.446	62	41.3	20.7	33.4%

Tabel Lanjutan 4.10 Perbandingan nilai ADC asli dengan ADC yang telah difilter

Time (s)	ADC	ADC Filter	Selisih	Redaman (%)
18.326	34	22.3	11.7	34.4%
27.39	25	23.8	1.2	4.8%
27.842	8	5.7	2.3	28.8%
38.671	32	26.27	5.73	17.9%
47.456	227	217	10	4.4%
52.624	192	177.4	14.6	7.6%

Berdasarkan Tabel 4.10, Hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC Kalman Filter menunjukkan hasil redaman dengan rata – rata persentase redaman sebesar 20.1%. Hasil rata – rata persentase redaman nilai ADC ini memiliki hasil yang cukup baik, namun pada pembacaan grafik nilai ADC filter, grafik menunjukkan pola yang masih mengikuti pola *noise* dari ADC asli. Untuk selanjutnya, peneliti mengonversi nilai ADC menjadi nilai arus, fungsi pengonversian nilai ADC menjadi nilai arus adalah untuk memudahkan membaca nilai sinyal sensor dan membuat ambang batas status alarm sistem. Pengubahan dari nilai ADC menjadi nilai arus akan memengaruhi delay pembacaan nilai arus.



Gambar 4.11 Perbandingan nilai Arus asli dengan Arus yang telah difilter

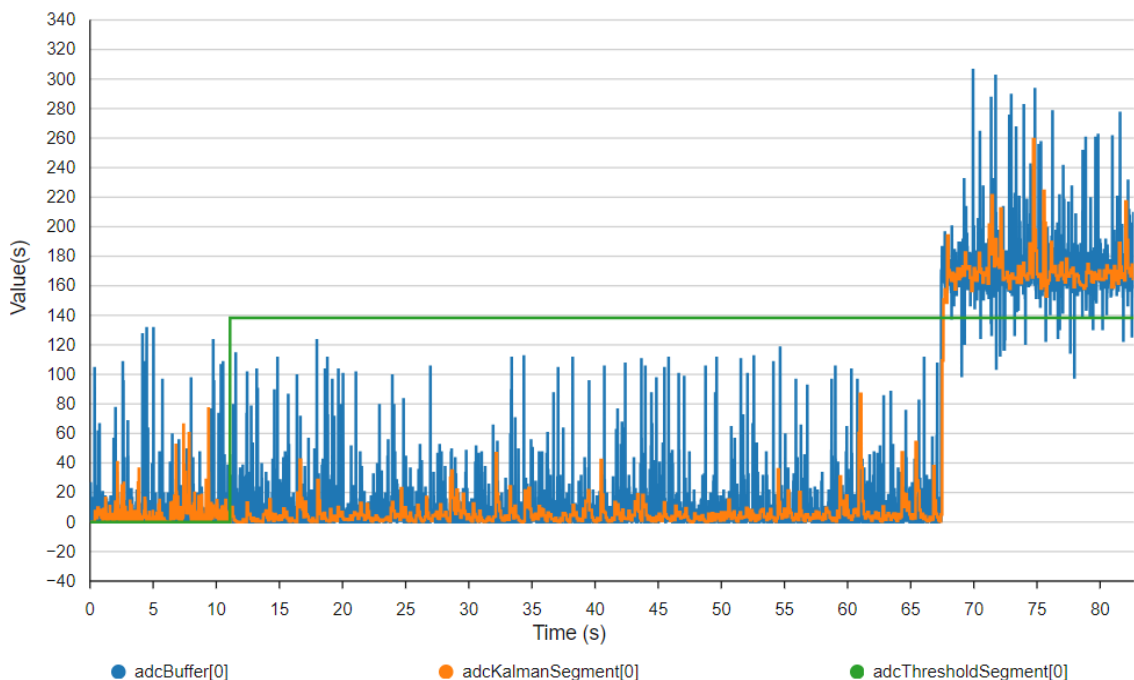
Berdasarkan Gambar 4.11, Nilai ADC akan dirubah menjadi nilai arus dan hasil menunjukkan nilai arus yang telah difilter terlihat sangat mendekati nilai arus asli. Nilai arus asli ditunjukkan oleh garis berwarna biru, dan nilai arus filter ditunjukkan oleh garis berwarna jingga.

Tabel 4.11 Hasil Konversi Data ADC menjadi Nilai Arus Pada Parameter Q = 0.1 dan Parameter R = 0.01

Time (s)	Konversi ADC ke Arus (mA)	Arus Filter (mA)	Selisih (mA)	Redaman (%)
0.784	7.8	7.15	0.65	8.3%
1.578	3.9	3.59	0.31	7.9%
6.958	14.89	13.64	1.25	8.4%
12.446	1.4	1.3	0.1	7.1%
18.326	5.8	5.45	0.35	6.0%
27.39	10.7	9.9	0.8	7.5%
27.842	21.7	19.9	1.8	8.3%
38.671	6.8	6.4	0.4	5.9%
47.456	54.4	53	1.4	2.6%
52.624	43.4	43.3	0.1	0.2%

Berdasarkan Tabel 4.11, menunjukkan hasil pembacaan nilai ADC yang telah dikonversi menjadi nilai arus. Pada penggunaan parameter Q yang lebih besar dibanding parameter R, Kalman Filter akan menganggap lebih percaya pada data pengukuran arus asli dibandingkan dengan prediksi nilai sebelumnya. Dengan menggunakan nilai parameter ini, hasil estimasi akan lebih responsif mengikuti fluktuasi data sensor. Hasil redaman yang dihasilkan pada pengujian ini menunjukkan bahwa parameter ini berhasil meredam nilai ADC asli, namun hasil redaman yang dihasilkan menunjukkan persentase rata rata hasil redaman konversi arus sebesar 6.2%. Hasil redaman ini membuktikan bahwa konfigurasi parameter yang digunakan pengujian ini tidak masuk kedalam kriteria berhasil dari peneliti, karena memiliki rata rata hasil redaman jauh dibawah 50% dan grafik pembacaan data filter terlalu mengikuti data asli sehingga ini bisa membuat sistem mengaktifkan *false alarm*.

B. Konfigurasi Parameter Nilai Q = 0.1 dan Nilai R = 0.1 (Q = R)



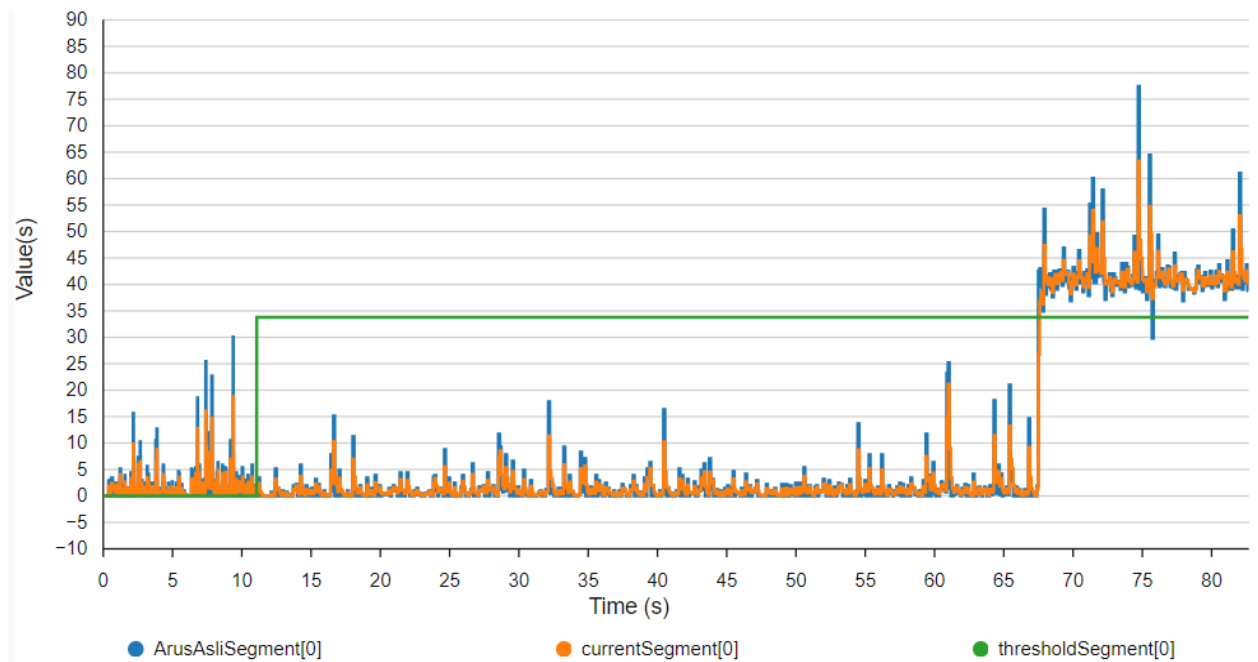
Gambar 4.12 Hasil Perbandingan Nilai ADC dengan Konfigurasi Parameter Q = 0.1 dan Parameter R = 0.1 dengan Nilai ADC mentah

Berdasarkan Gambar 4.12, Hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC Kalman Filter menggunakan parameter Q dan parameter R dengan nilai yang sama yaitu 0.1 menghasilkan sinyal filter yang stabil dan dapat meredam nilai ADC mentah. Penggunaan konfigurasi parameter ini dapat dilihat telah berhasil bahwa filter tidak mengikuti hasil pembacaan ADC asli, namun sesekali redaman yang dihasilkan tetap bernilai tinggi.

Tabel 4.12 Perbandingan nilai ADC asli dengan ADC yang telah difilter

Time (s)	ADC	ADC Filter	Selisih	Redaman (%)
1.075	10	8.7	1.3	13.0%
2.684	38	26.4	11.6	30.5%
8.191	26	12.4	13.6	52.3%
12.4	32	13.08	18.92	59.1%
16.664	72	42.15	29.85	41.5%
28.639	50	34.8	15.2	30.4%
32.15	66	46.6	19.4	29.4%
55.293	37	21.2	15.8	42.7%
71.458	225	221	4	1.8%
71.762	210	191.6	18.4	8.8%

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC yang telah difilter menunjukkan hasil redaman dengan rata – rata persentase redaman sebesar 30.9%. Hasil redaman memiliki hasil yang cukup baik tetapi rata – rata persentase redaman masih belum mendekati target dari peneliti yaitu sebesar 50%.



Gambar 4.13 Perbandingan nilai Arus asli dengan Arus yang telah difilter

Berdasarkan Gambar 4.13, Hasilnya menunjukkan bahwa arus yang telah difilter menggunakan parameter $Q = 0.1$ dan $R = 0.1$ terlihat stabil dibandingkan dengan konfigurasi parameter sebelumnya.

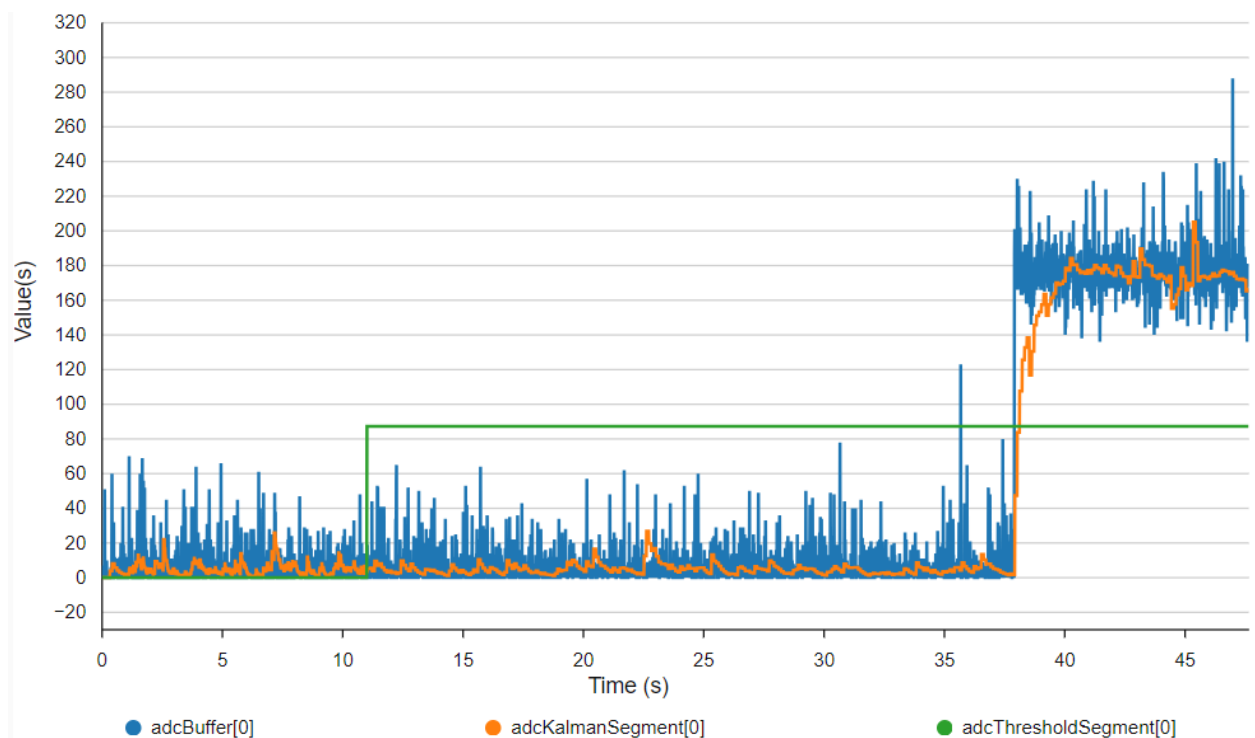
Tabel 4.13 Hasil Konversi ADC menjadi Arus Pada Parameter $Q = 0.1$ dan Parameter $R = 0.1$

Time (s)	Konversi ADC ke Arus (mA)	Arus Filter (mA)	Selisih (mA)	Redaman (%)
1.075	2.4	2.1	0.3	12.5%
2.684	10.2	6.4	3.8	37.3%
8.162	25.3	16.08	9.22	36.4%
12.4	5.12	3.19	1.93	37.7%
16.664	15.1	10.2	4.9	32.5%
28.639	11.7	7.2	4.5	38.5%
32.15	17.8	11.36	6.44	36.2%
55.293	7.8	5.1	2.7	34.6%
71.458	60.07	54.05	6.02	10.0%
71.762	57.8	51.8	6	10.4%

Berdasarkan Tabel 4.13, menunjukkan hasil pembacaan nilai ADC yang telah dikonversi menjadi nilai arus. Pada penggunaan

parameter Q dan parameter R dengan nilai yang sama yaitu 0.1, Kalman Filter akan menyeimbangkan kepercayaan prediksi dan pengukuran. Hasil redaman yang dihasilkan pada pengujian ini menunjukkan bahwa parameter ini berhasil meredam nilai ADC asli dengan rata – rata persentase redaman sebesar 28.6%. Hasil redaman ini membuktikan bahwa konfigurasi parameter yang digunakan pada pengujian ini masih belum masuk kedalam kriteria berhasil dari peneliti, karena memiliki rata – rata persentase redahan masih dibawah 50%.

C. Konfigurasi Parameter Nilai Q = 0.01 dan Nilai R = 0.1 ($Q < R$)



Gambar 4.14 Hasil Perbandingan Nilai ADC dengan Konfigurasi Parameter Q = 0.01 dan Parameter R = 0.1 dengan Nilai ADC mentah

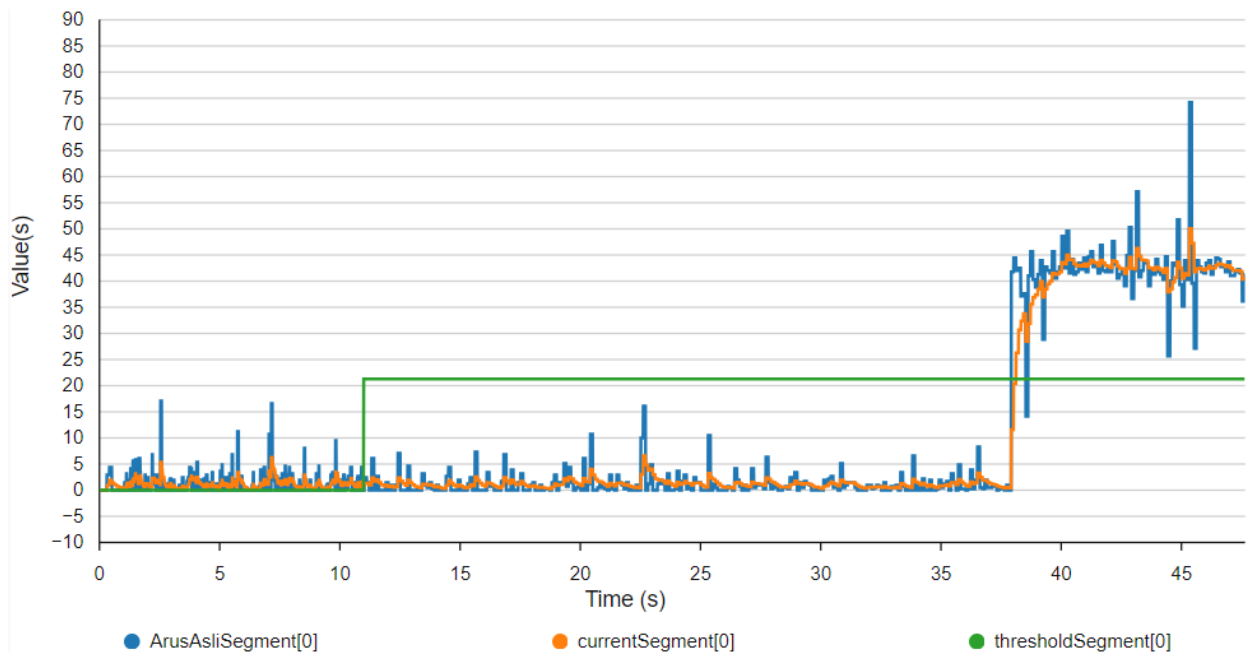
Berdasarkan Gambar 4.14, Hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC Kalman Filter menggunakan parameter Q dengan nilai 0.01 dan parameter R dengan nilai 0.1 menghasilkan sinyal filter yang lebih stabil dibandingkan nilai

ADC mentah. Nilai pengkonfigurasi ini membuktikan bahwa Kalman filter lebih percaya pada hasil prediksi internal dibandingkan fluktuasi data pengukuran, sehingga perubahan mendadak yang dianggap sebagai *noise* dapat diredam secara signifikan. Dengan demikian, pembacaan arus menjadi lebih halus dan stabil, meskipun memiliki sedikit *delay* respon terhadap perubahan sinyal yang bersifat tiba – tiba.

Tabel 4.14 Perbandingan nilai ADC asli dengan ADC yang telah difilter

Time (s)	ADC	ADC Filter	Selisih	Redaman (%)
3.001	30	24	6	20.0%
4.941	65	10	55	84.6%
10.717	20	15	5	25.0%
12.234	67	7	60	89.6%
21.109	58	14	44	75.9%
30.95	36	4	32	88.9%
35.678	124	17	107	86.3%
37.94	41.7	11	30.7	73.6%
38.146	42	26.27	15.73	37.5%
45.377	47.2	32.7	14.5	30.7%

Berdasarkan Tabel 4.14, hasil perbandingan nilai ADC mentah dengan nilai ADC yang telah difilter menunjukkan hasil redaman dengan rata – rata persentase redaman sebesar 61.25%. Hasil persentasi redaman memiliki hasil yang bagus, dan untuk pembacaan data filter menunjukkan pola yang stabil tidak terpengaruh efek *noise* yang terbaca.



Gambar 4.15 Perbandingan nilai Arus asli dengan Arus yang telah difilter

Berdasarkan Gambar 4.15, Hasilnya menunjukkan bahwa arus yang telah difilter menggunakan parameter $Q = 0.01$ dan $R = 0.1$ lebih stabil dibandingkan menggunakan konfigurasi parameter sebelumnya.

Tabel 4.15 Hasil Konversi ADC menjadi Arus Pada Parameter $Q = 0.01$ dan Parameter $R = 0.1$

Time (s)	Konversi ADC ke Arus (mA)	Arus Filter (mA)	Selisih (mA)	Redaman (%)
3.001	2.1	1.2	0.9	42.9%
4.941	3.6	1.2	2.4	66.7%
10.717	2.19	1.03	1.16	53.0%
12.234	7	2.4	4.6	65.7%
21.109	2.9	1.3	1.6	55.2%
30.95	5.1	1.9	3.2	62.7%
35.678	4.8	2.094	2.706	56.4%
37.94	41.7	11.5	30.2	72.4%
38.146	42	26.27	15.73	37.5%
45.377	47.2	32.7	14.5	30.7%

Berdasarkan Tabel 4.15, menunjukkan hasil data ADC yang telah difilter berhasil meredam fluktuasi pembacaan arus cukup

besar yaitu dengan rata rata presentasi redaman sebesar 54.32%. Hal ini menunjukkan bahwa parameter Q dengan nilai 0.01 dan parameter R dengan nilai 0.1 berhasil meredam ADC yang dikonversi menjadi arus yang terbaca oleh mikrokontroler secara signifikan, Parameter tersebut membuat filter lebih mengandalkan hasil prediksi internal dibandingkan data pengukuran yang terpengaruh *noise*, sehingga nilai arus yang dihasilkan menjadi lebih stabil. Meskipun demikian, pemilihan parameter ini juga menyebabkan adanya keterlambatan respon (*delay*) terhadap perubahan arus yang mendadak.

Meskipun penggunaan Kalman Filter menimbulkan keterlambatan (*delay*) pada pembacaan arus, filter ini tetap efektif karena tujuan utamanya adalah meredam *noise* dan menstabilkan sinyal dari gangguan mendadak. *Delay* yang terjadi merupakan konsekuensi normal dari proses filtering sinyal, dimana filter berupaya memisahkan perubahan data yang valid dari fluktuasi yang bersifat gangguan. Dengan demikian, kalman filter dengan konfigurasi parameter seperti ini terbukti dapat meningkatkan keandalan pembacaan sensor dengan kompromi *delay* yang masih dalam batas wajar dan dapat disesuaikan kembali melalui pengaturan parameter Q dan R.

Berdasarkan hasil pengujian pada tiga konfigurasi nilai parameter Q dan R, dapat disimpulkan bahwa pengaturan nilai Q dan R berpengaruh signifikan terhadap performa redaman *noise* sinyal ADC maupun konversi arus. Semakin kecil nilai Q dibandingkan R, maka redaman yang dihasilkan semakin tinggi karena filter lebih mempercayai prediksi dibandingkan pembacaan sensor. Sebaliknya, jika nilai Q lebih besar atau sama dengan R, maka filter lebih responsif terhadap data sensor, sehingga redaman *noise* lebih rendah tetapi sinyal lebih cepat merespon perubahan.

Tabel 4.16 Hasil Pengujian Konfigurasi Nilai Parameter Kalman Filter

Konfigurasi Parameter	Nilai Q	Nilai R	Rise Time (s)	Redaman ADC (%)	Redaman Konversi ADC ke Arus (%)
$Q > R$	0.1	0.01	0.34	20.1%	6.2%
$Q = R$	0.1	0.1	1.3	30.9%	28.6%
$Q < R$	0.01	0.1	2	61.25%	54.32%

Berdasarkan Tabel 4.16, hasil menunjukkan pola yang konsisten bahwa perbandingan nilai Q dan R memengaruhi Tingkat kehalusan sinyal. Konfigurasi $Q < R$ memberikan redaman *noise* tertinggi sehingga sinyal lebih stabil, namun kecepatan respon menurun. Sebaliknya, konfigurasi $Q > R$ menjadikan filter lebih responsif, namun *noise* sensor lebih sulit ditekan sepenuhnya. Oleh karena itu, pemilihan konfigurasi parameter harus mempertimbangkan keseimbangan antara kebutuhan sinyal yang stabil dan kecepatan respon sesuai karakteristik sensor dan sistem.

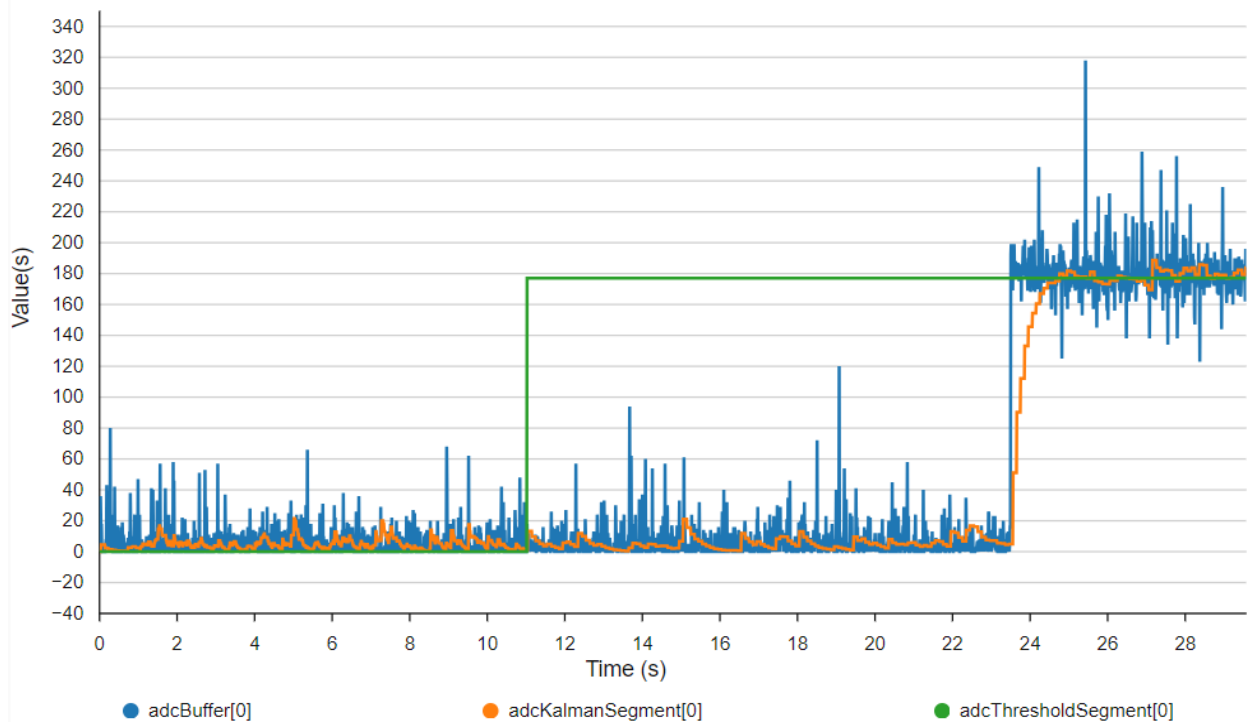
Peneliti menggunakan konfigurasi parameter Kalman Filter dengan nilai Q sebesar 0.01 dan R sebesar 0.1 karena nilai tersebut memberikan keseimbangan antara kemampuan filter dalam meredam *noise* pembacaan arus dan tetap mempertahankan respon filter agar dapat mengikuti perubahan sinyal yang valid secara bertahap. Selain itu, target persentase redaman yang dihasilkan Kalman Filter adalah 50%. Pemilihan nilai Q yang lebih kecil dibandingkan R menandakan bahwa perubahan sinyal arus dianggap tidak terlalu cepat, sementara pembacaan sensor masih memiliki kemungkinan gangguan *noise* yang perlu diredam. Berdasarkan hasil pengujian juga, konfigurasi ini terbukti mampu meredam fluktuasi pembacaan arus dengan rata-rata redaman sebesar 54.32%

tanpa mengganggu keakuratan pembacaan arus pada kondisi kerja normal.

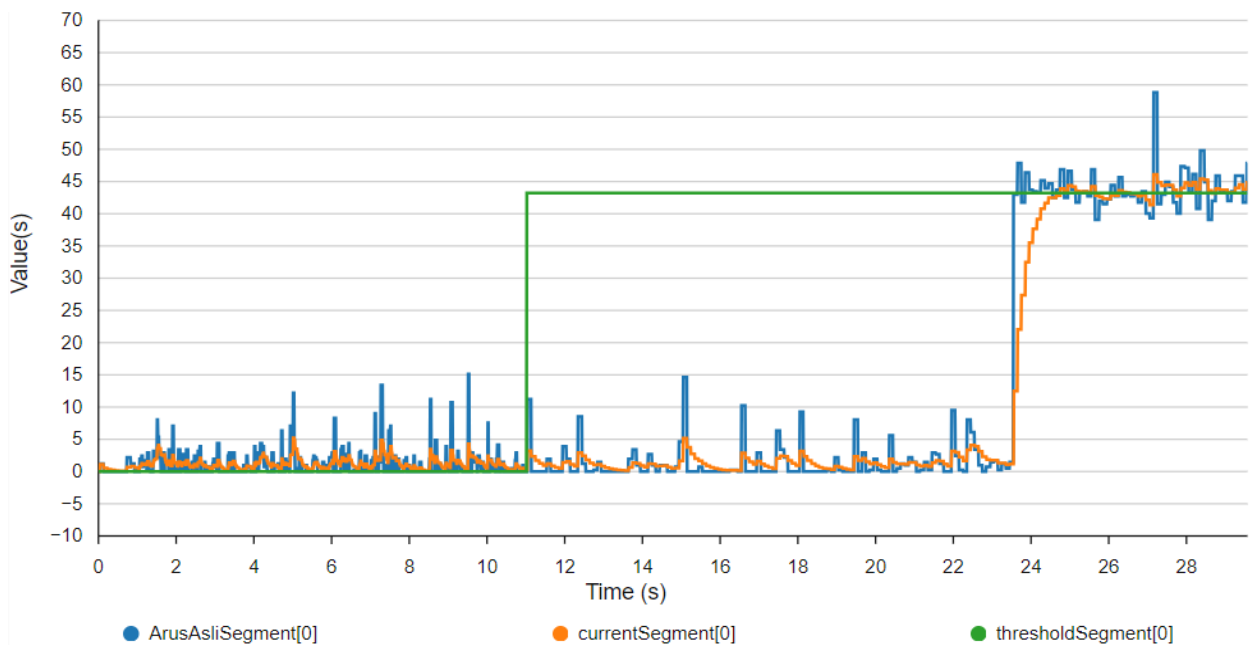
4.4.2 Hasil Kalibrasi Threshold dari Kalman Filter

Kalibrasi *threshold* dilakukan dengan mengambil data arus tertinggi yang telah difilter selama 10 detik pertama setelah menekan tombol *scan sensor*, tombol *scan sensor* bertujuan untuk mengambil parameter nilai *threshold*. Nilai *threshold* secara otomatis disesuaikan berdasarkan pembacaan arus tertinggi hasil *filter* selama 10 detik pertama, nilai ini digunakan sebagai nilai ambang batas minimal arus yang menandakan kondisi *alarm* dari sensor. Untuk menentukan nilai *threshold*, diperlukan nilai set interval yang diambil berdasarkan karakteristik dari sensor yang digunakan. Sensor *smoke detector* yang digunakan memiliki keluaran arus saat kondisi *alarm* dengan nilai 38.75mA, nilai set interval akan ditentukan dengan cara *trial error* berdasarkan karakteristik keluaran arus dari sensor. Nilai *threshold* akan ditentukan oleh arus tertinggi pada periode 10 detik pertama, kemudian akan ditambahkan nilai set interval. Set interval merupakan nilai yang akan ditetapkan oleh peneliti untuk memberikan jarak aman antara fluktuasi normal dan kondisi alarm.

A. Pengujian Nilai Set Interval = 38



a) Pembacaan Nilai ADC



b) Pembacaan Konversi ADC ke Arus

Gambar 4.16 Hasil Threshold Menggunakan Nilai Set Interval 38

Berdasarkan Gambar 4.16, Hasil *threshold* jika menggunakan nilai set interval 38mA dapat menentukan status

kondisi alarm. Meskipun nilai filter dapat mencapai *threshold*, nilai set interval ini memiliki delay.

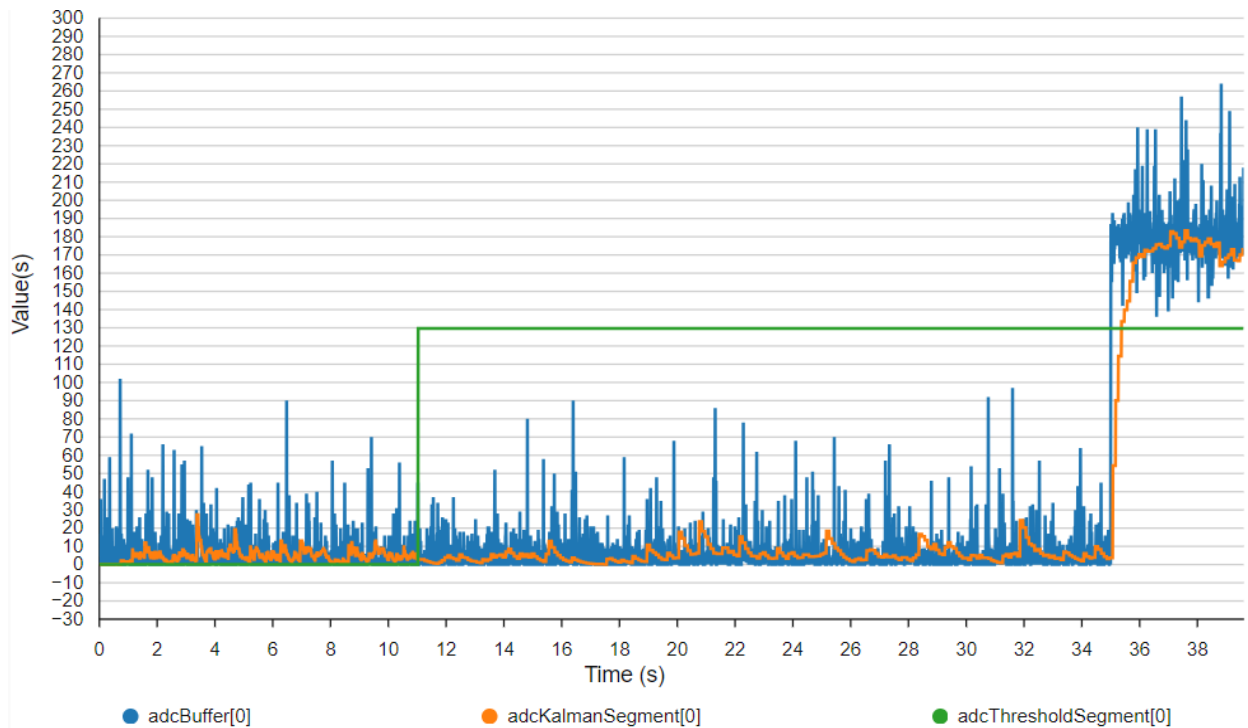
Tabel 4.17 Hasil Threshold dan Waktu Capai Threshold

Time Stamp (s)	Threshold ADC	ADC Asli	ADC Filter
5.199	0	24	8.3
11.036	177	5	1.12
23.532	177	183	4.8
24.772	177	199	179

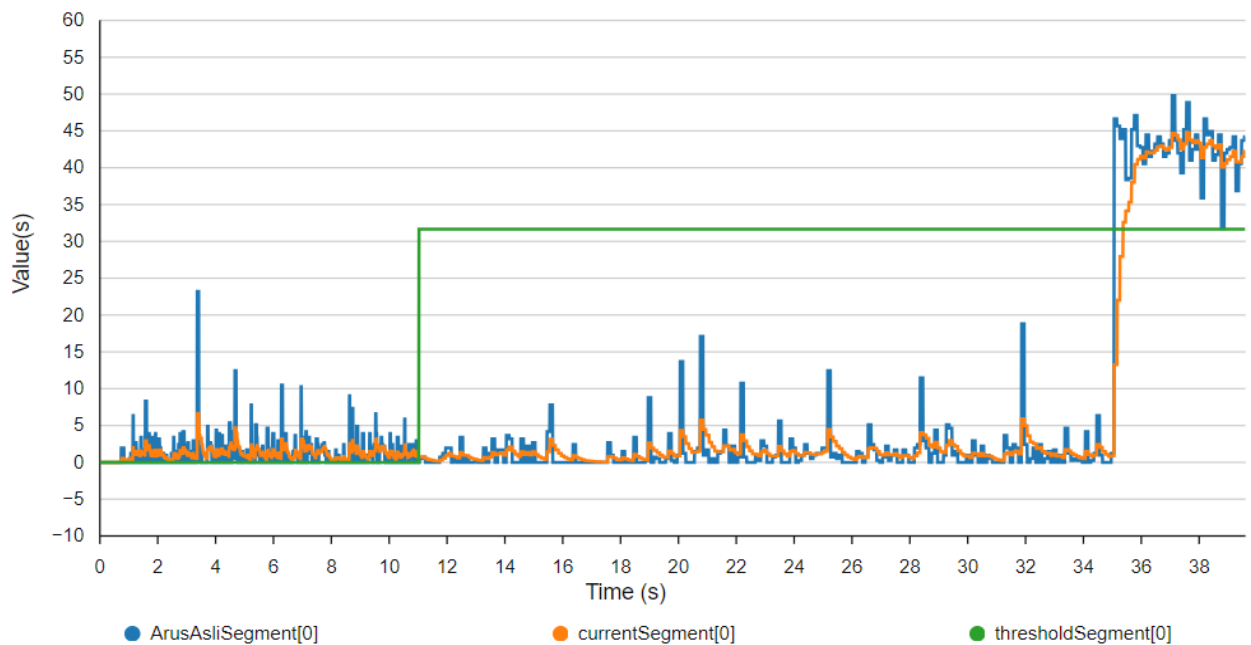
Time Stamp (s)	Threshold Arus	Konversi ADC ke Arus Asli	Arus Filter
5.199	0	2.19	2.02
11.036	43.23	11.2	3.2
23.532	43.23	47.8	22.3
24.772	43.23	46.8	43.9

Berdasarkan Tabel 4.17, Hasil data ADC asli dan data Arus asli pada detik ke-23.532 sistem membaca bahwa data tersebut telah melebihi *threshold* atau ambang batas. Tetapi, hasil data ADC filter dan Arus filter terbaca melebihi *threshold* pada detik ke-24.772. Hal ini membuktikan penggunaan *set value* interval sebesar 38 memiliki delay 1.24 detik untuk sistem menentukan status alarm. *Delay* yang dihasilkan dari *set value* interval ini tidak masuk dalam kategori *delay* ideal, karena *delay* pembacaan status alarm pada sistem yang memiliki filter sinyal seharusnya bisa mencapai 100ms.

B. Pengujian Nilai Set Interval = 25



a) Pembacaan Nilai ADC



b) Pembacaan Konversi ADC ke Arus

Gambar 4.17 Hasil Threshold Menggunakan Nilai Set Interval 25

Berdasarkan Gambar 4.17, Hasil *threshold* jika menggunakan nilai set interval 25mA dapat menentukan status

kondisi alarm. Nilai *threshold* dengan nilai interval ini terlihat posisinya ditengah antara arus *standby* dengan arus alarm, tetapi nilai interval ini masih memiliki *space* yang jauh antara posisi nilai *standby noise* dengan nilai *threshold*.

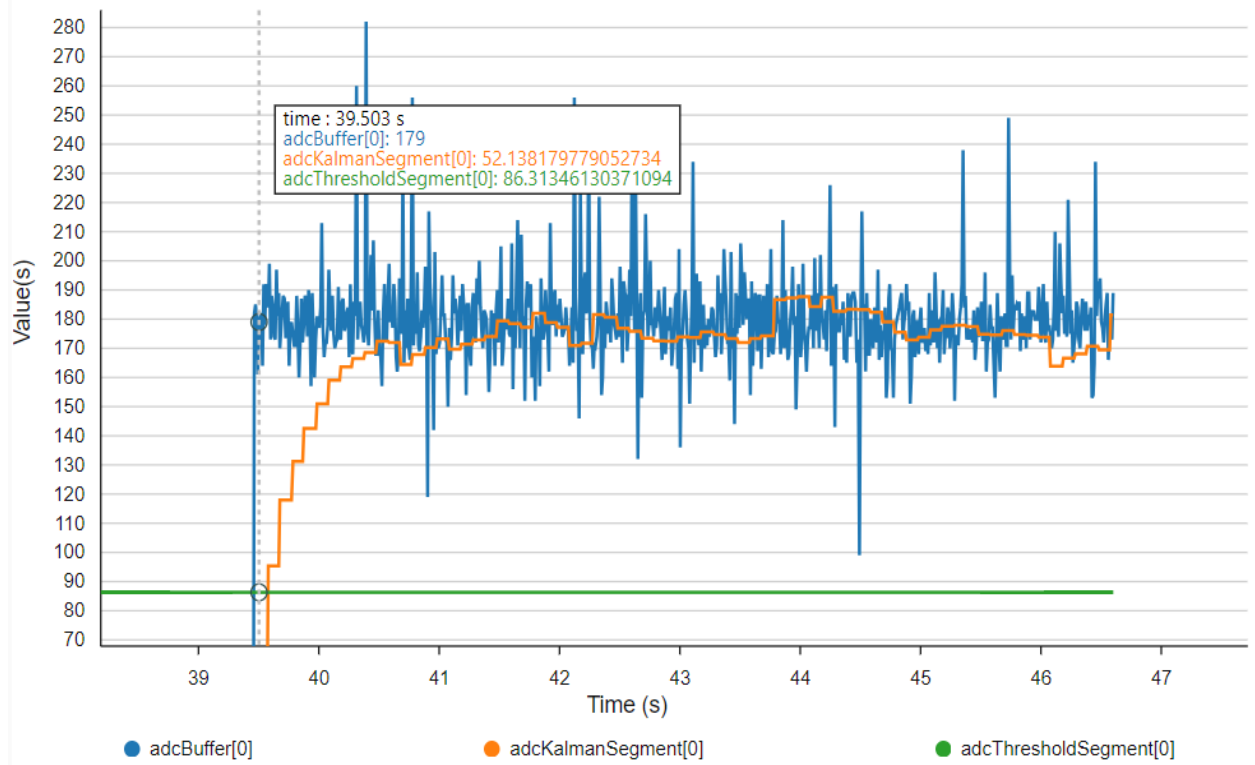
Tabel 4.18 Hasil Threshold dan Waktu Capai Threshold

Time Stamp (s)	Threshold ADC	ADC Asli	ADC Filter
5.079	0	9	3.4
11.052	129.6	3	2.8
35.054	129.6	181	3.7
35.455	129.6	170	133.4

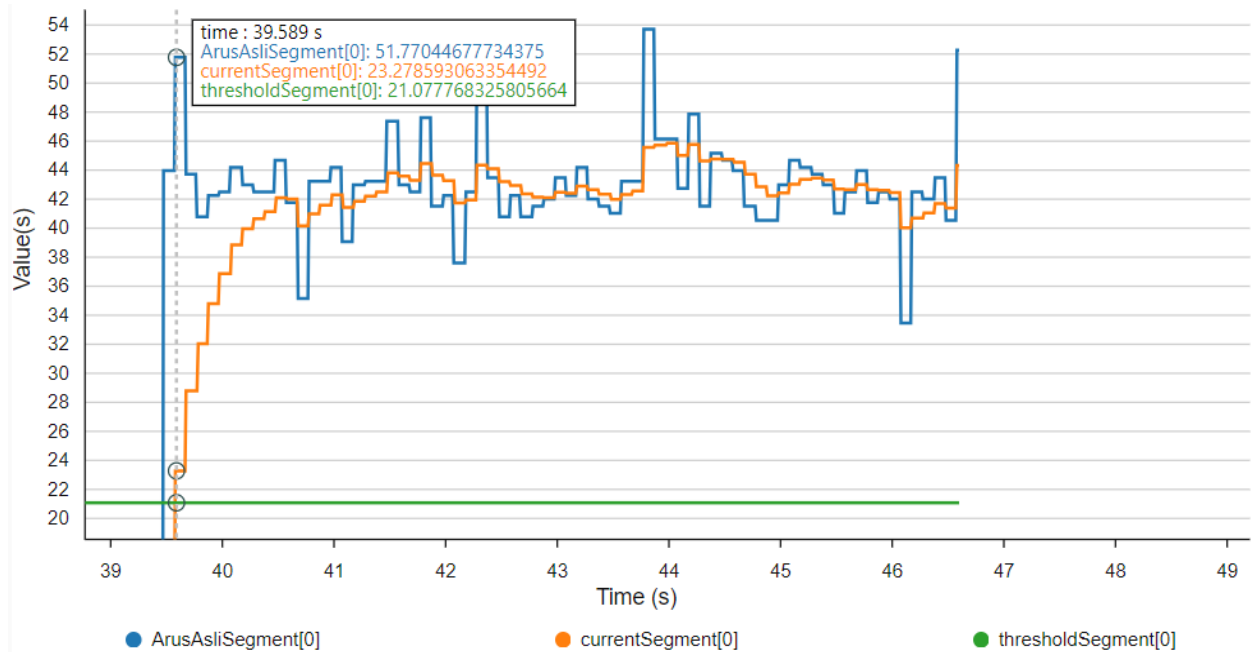
Time Stamp (s)	Threshold Arus	Konversi ADC ke Arus Asli	Arus Filter
5.079	0	1.7	0.9
11.052	31.6	0.4	0.6
35.054	31.6	46.64	13.2
35.455	31.6	45	32.5

Berdasarkan Tabel 4.18, hasil data ADC asli dan data Arus asli pada detik ke-35.054 sistem membaca bahwa data tersebut telah melebihi *threshold* atau ambang batas. Tetapi, hasil data ADC filter dan Arus filter terbaca melebihi *threshold* pada detik ke-45.455. Hal ini membuktikan penggunaan *set value* interval sebesar 25 memiliki delay 0.401 detik untuk sistem menentukan status alarm. *Delay* yang dihasilkan dari *set value* interval ini sudah mendekati target, yaitu 400ms. Tetapi, sistem FACP yang dirancang membutuhkan pendeteksian yang lebih cepat dengan target delay sebesar 100ms.

C. Pengujian Nilai Set Interval = 15



a) Pembacaan Nilai ADC



b) Pembacaan Konversi ADC ke Arus

Gambar 4.18 Hasil Threshold Menggunakan Nilai Set Interval 15

Berdasarkan Gambar 4.18, hasil *threshold* jika menggunakan nilai set interval 15mA dapat menentukan status kondisi alarm dan memiliki delay yang sangat kecil yakni mencapai 0.056 detik.

Tabel 4.19 Hasil Threshold dan Waktu Capai Threshold

Time Stamp (s)	Threshold ADC	ADC Asli	ADC Filter
4.887	0	9	6.7
11.061	86.3	14	4.6
39.503	86.3	179	52.13
39.559	86.3	173	95.3

Time Stamp (s)	Threshold Arus	Konversi ADC ke Arus Asli	Arus Filter
4.887	0	2.68	2.26
11.061	21.07	0	1.12
39.503	21.07	43.95	12.7
39.559	21.07	51.7	23.27

Berdasarkan Tabel 4.19, hasil data ADC asli dan data Arus asli pada detik ke-39.503 sistem membaca bahwa data tersebut telah melebihi *threshold* atau ambang batas. Untuk hasil data ADC dan data arus yang telah difilter melebihi *threshold* pada detik ke-39.559. Hal ini membuktikan penggunaan *set value* interval sebesar 15 hanya memiliki delay 0.056 detik untuk sistem menentukan status alarm. *Delay* yang dihasilkan dari *set value* interval ini masuk kedalam kategori ideal dibawah 100ms yaitu 56ms. Pada penentuan *set value* interval ini, sistem FACP akan lebih cepat mendeteksi kondisi alarm. Dengan demikian, kombinasi Kalman Filter dan *threshold* interval 15 dapat digunakan pada sistem FACP yang memerlukan pendeteksian cepat tanpa mengorbankan kestabilan sistem.

Berdasarkan hasil pengujian pada tiga nilai set value interval, pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh nilai set value interval terhadap kecepatan sistem dalam mendeteksi arus hingga status alarm aktif. Dari tiga kali percobaan kalibrasi dengan nilai interval berbeda terlihat semakin kecil nilai set value interval, maka semakin cepat waktu yang dibutuhkan untuk mendeteksi kondisi alarm. Hal ini menunjukkan bahwa nilai interval berperan langsung sebagai ambang batas waktu akumulasi pembacaan arus sebelum sistem mengambil keputusan status alarm.

Tabel 4.20 Hasil Pengujian Kalibrasi Set Value Interval

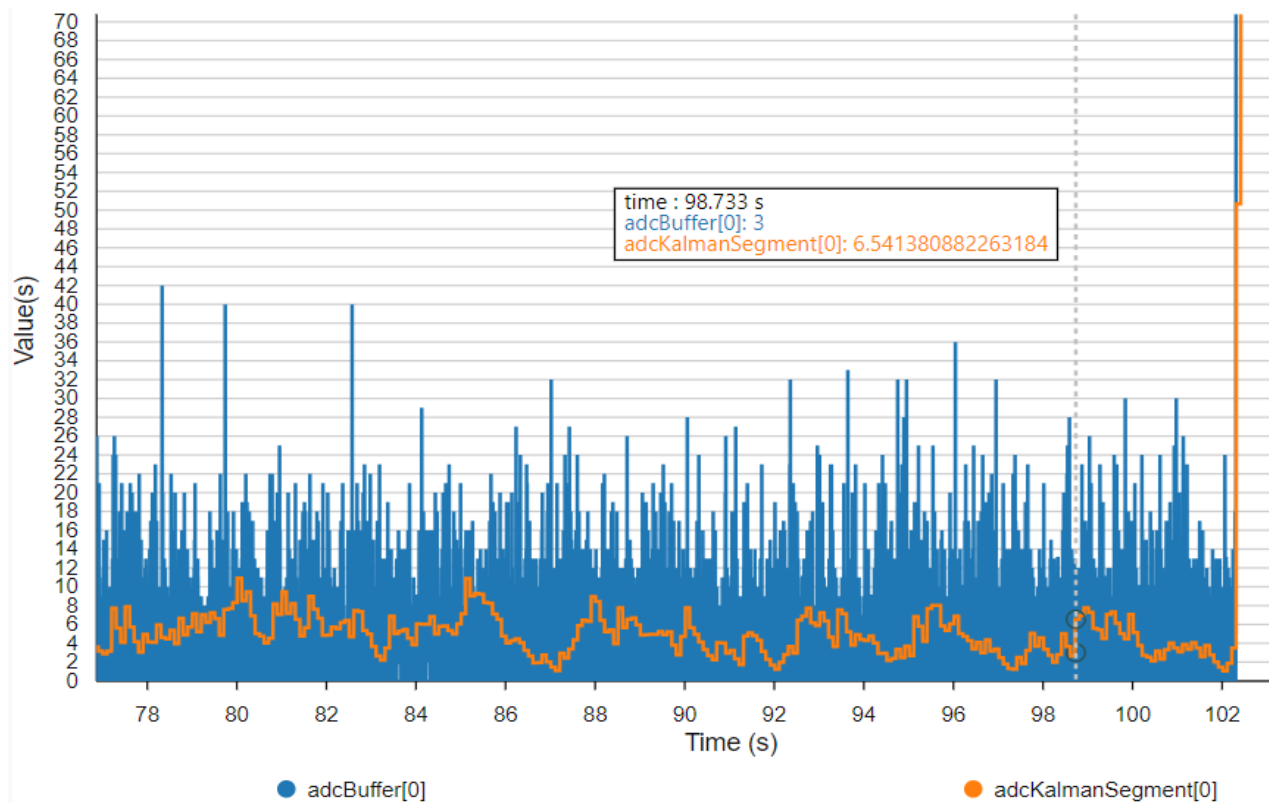
Set Value Interval	<i>Delay</i> Status Alarm (s)
38	1.24
25	0.401
15	0.056

Berdasarkan Tabel 4.20, Hasil pengujian menunjukkan hubungan searah antara nilai *set value interval* dengan waktu delay pendeteksian status alarm. Semakin besar nilai interval, maka waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai kondisi alarm semakin lama karena akumulasi data lebih banyak sebelum melewati threshold. Sebaliknya, semakin kecil nilai interval, threshold lebih cepat terpenuhi sehingga alarm lebih cepat aktif. Berdasarkan hasil ini, peneliti memilih nilai set value interval 15, karena memberikan waktu delay pembacaan status alarm di bawah 100 ms (0.056 detik). Nilai ini dinilai ideal untuk memastikan sistem deteksi kebakaran dapat merespons kondisi abnormal secara cepat tanpa mengorbankan akurasi pendeteksian.

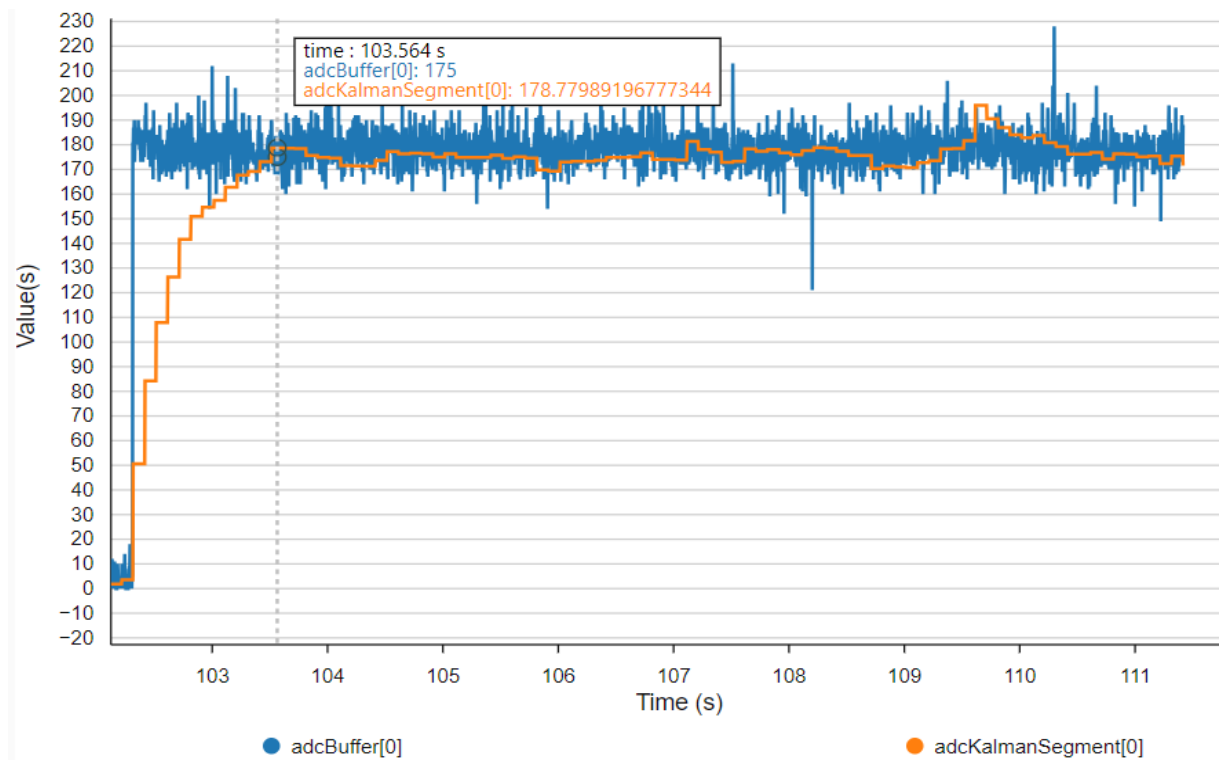
4.4.4 Hasil Filtrasi Kalman Filter pada Sensor *Smoke Detector*

Pada pengujian ini dilakukan hasil nilai ADC dan nilai arus setelah menggunakan konfigurasi yang ditentukan peneliti, untuk konfigurasi parameter Q adalah 0.01, parameter R adalah 0.1, dan nilai set interval untuk *threshold* adalah 15mA. Pengujian ini dilakukan menggunakan 3 *smoke detector*, 7 *smoke detector* yang terpasang pada satu segmen di sistem FACP dan 1 *smoke detector* dengan panjang kabel hingga 50m . Berikut adalah hasil grafik pembacaan pada pengujian hasil filtrasi dari kalman filter.

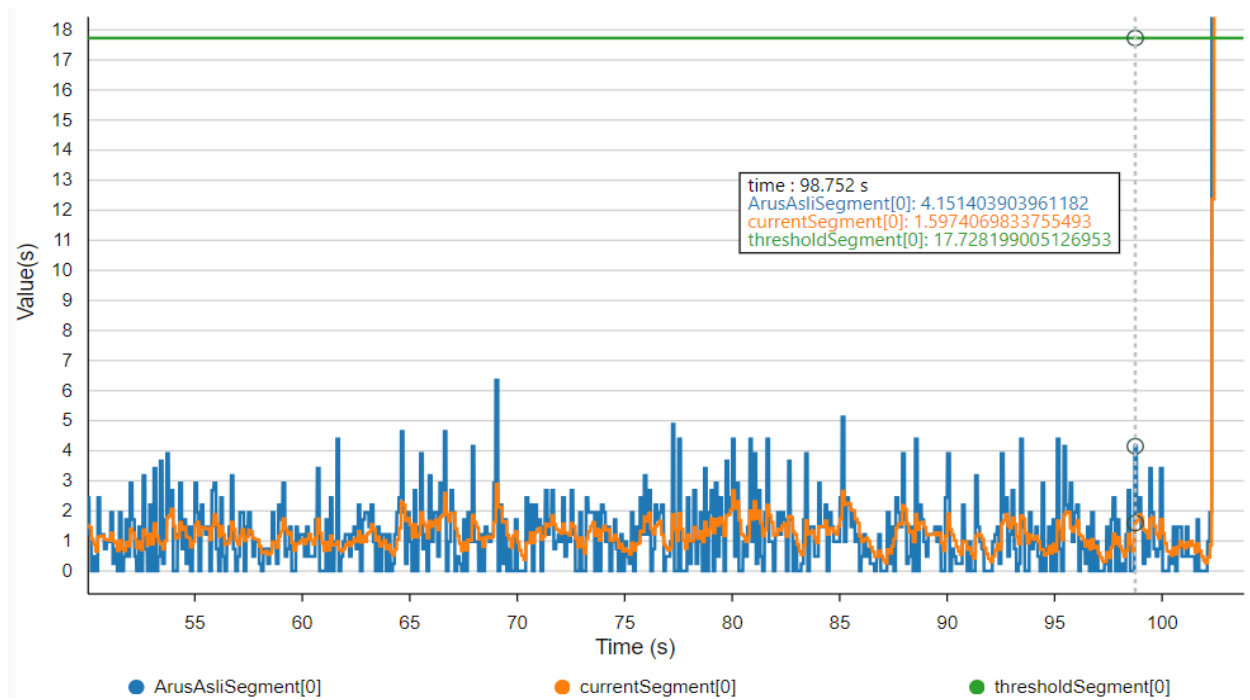
A. Hasil Kalman Filter dengan 3 Smoke Detector

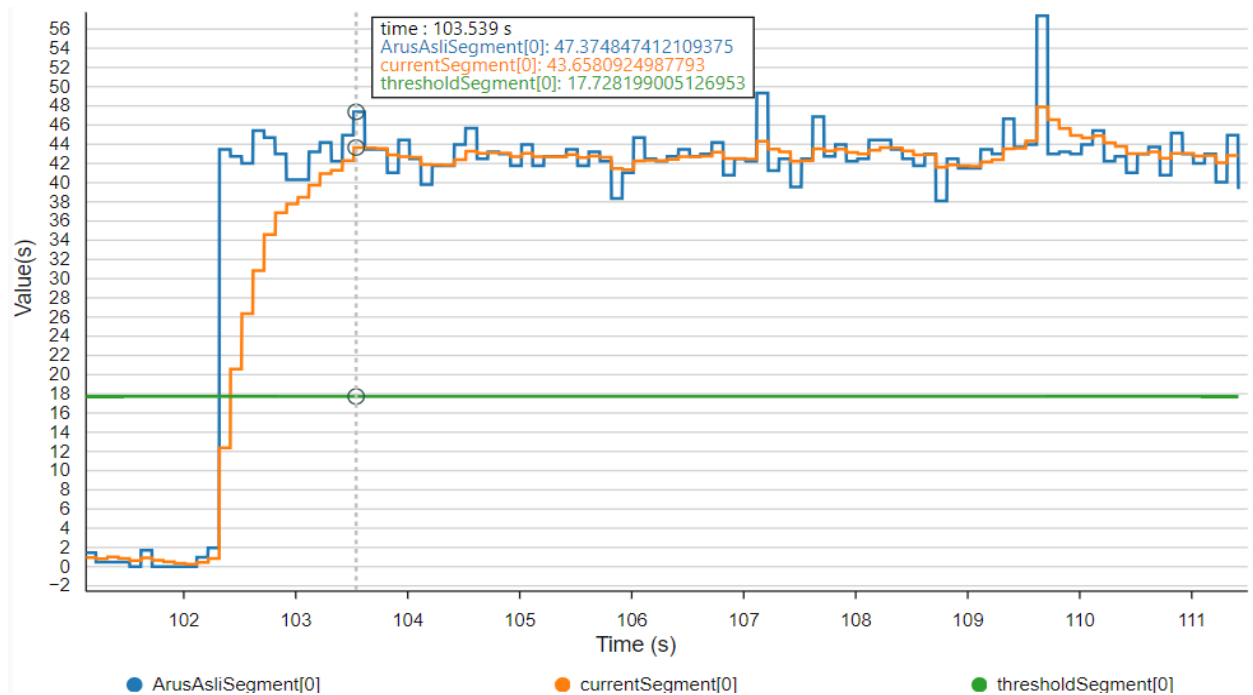


a) Kondisi ADC saat *Standby* Mendekati Kondisi Alarm



b) Kondisi Nilai ADC Saat Alarm

c) Kondisi Konversi ADC ke Arus saat *Standby* Mendekati Alarm

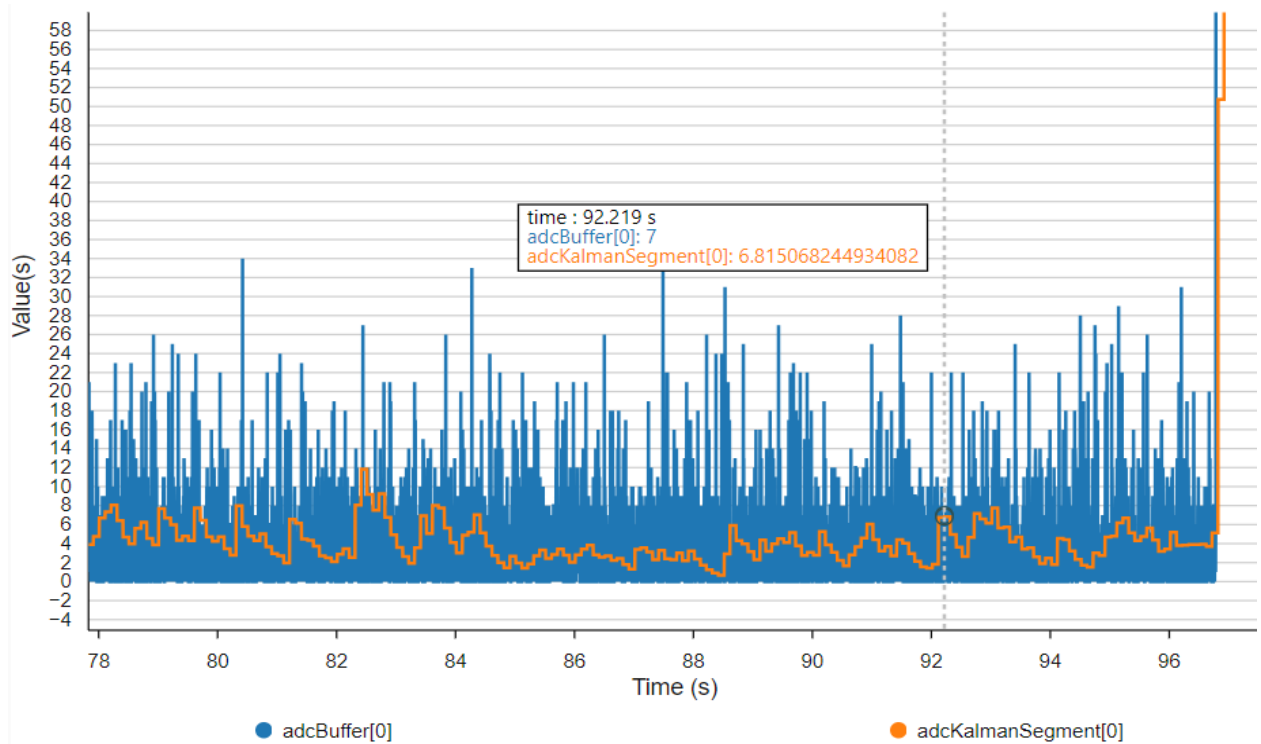


d) Kondisi Konversi ADC ke Arus saat Alarm

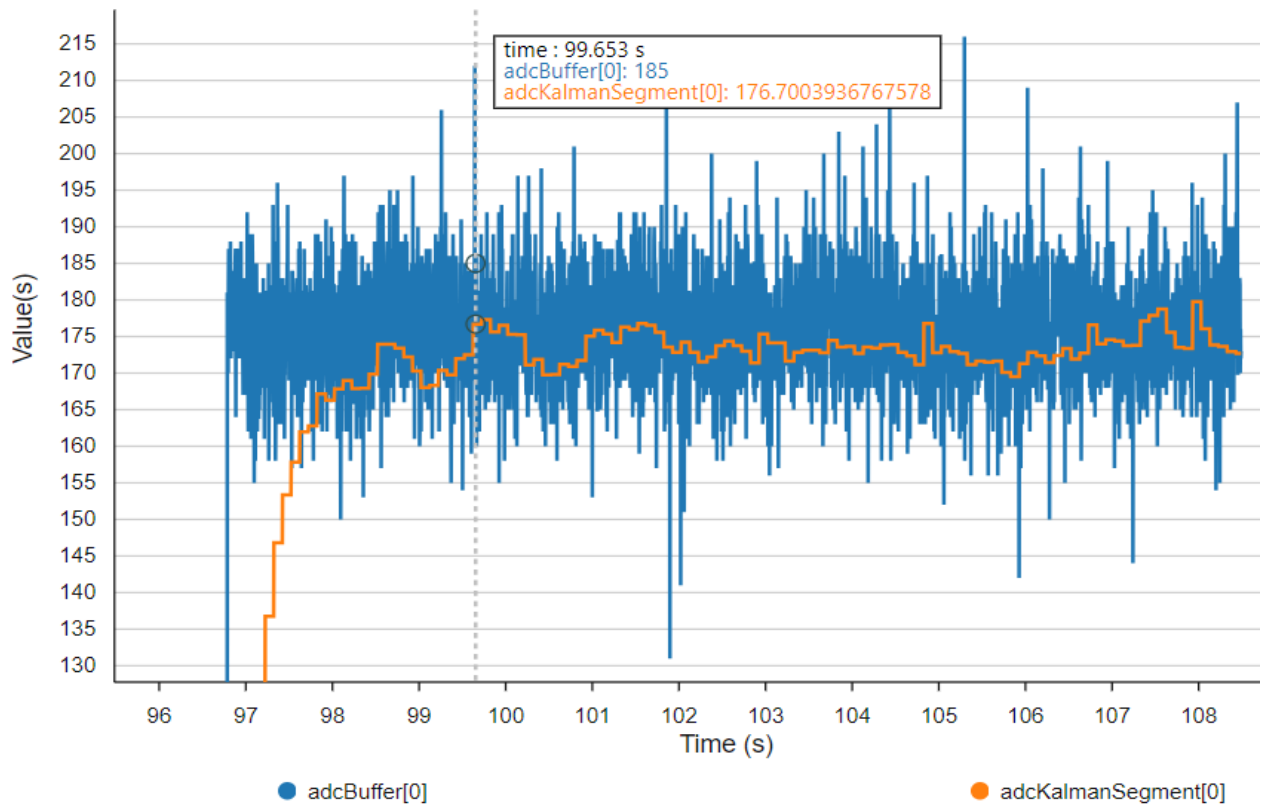
Gambar 4.19 Hasil Pembacaan Nilai ADC dan Konversi ADC ke Arus dengan hasil Filter

Berdasarkan Gambar 4.19, Hasil Pembacaan nilai adc dan nilai arus saat menggunakan 3 *smoke detector* pada satu segmen input. Pengujian ini dilakukan ketika satu *smoke detector* mendeteksi asap, dan 2 *smoke detector* berada dalam kondisi *standby*. Hasil nilai ADC dan arus yang telah difilter berhasil diredam, hal ini membuktikan bahwa metode Kalman Filter bisa digunakan pada satu segmen yang menggunakan 3 *smoke detector*. Selain itu, Kalman Filter membantu mode *single wire* yang dapat merubah status sistem ketika satu *smoke detector* mendeteksi asap meskipun pada 1 segmennya terpasang 3 *smoke detector*.

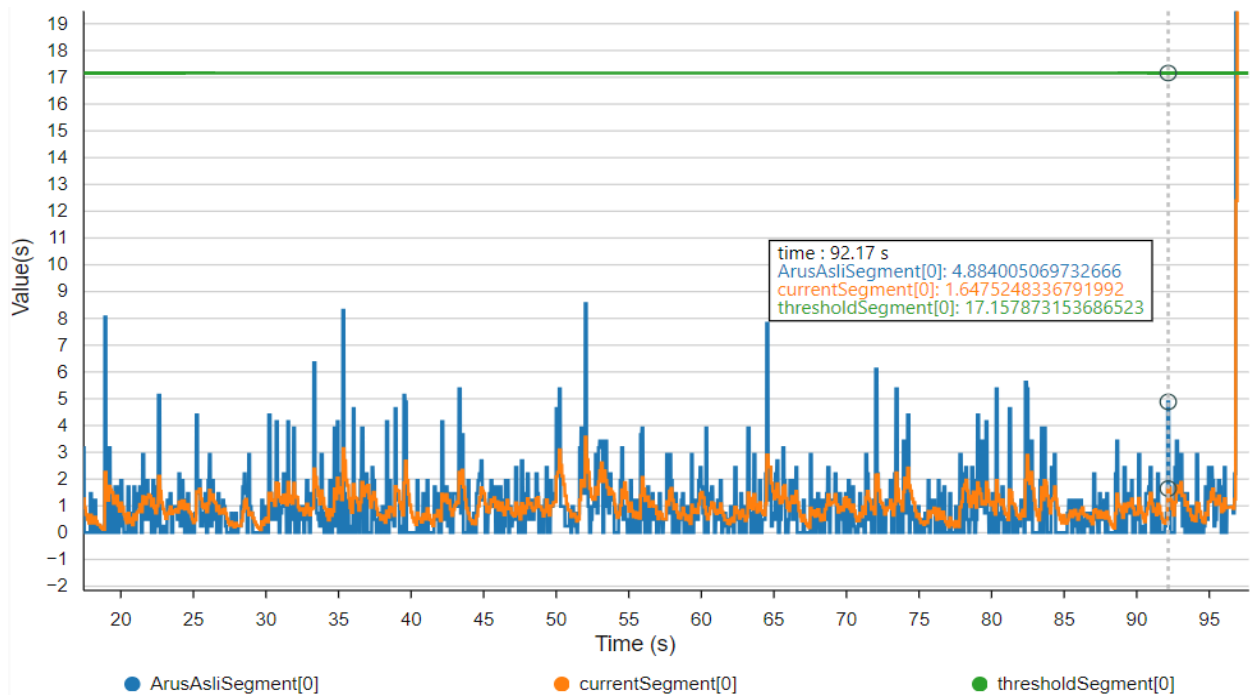
B. Hasil Kalman Filter dengan 7 Smoke Detector



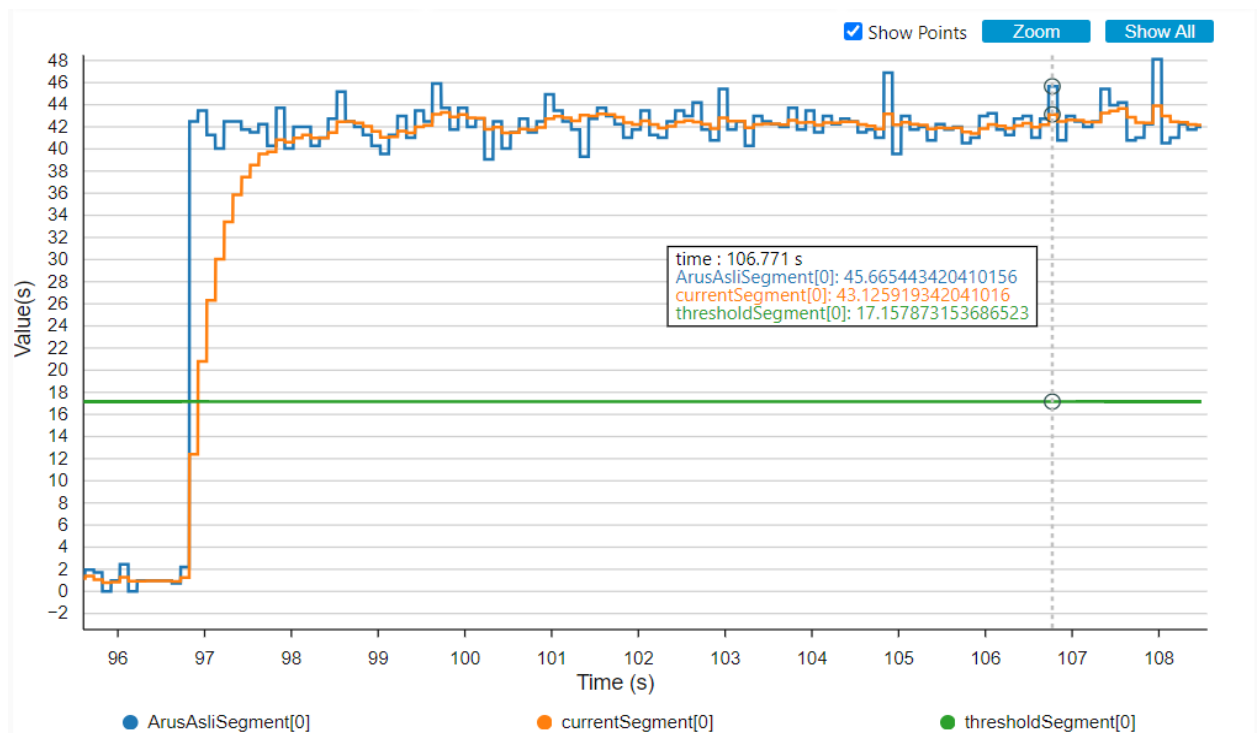
a) Kondisi ADC Saat *Standby* Mendekati Kondisi Alarm



b) Kondisi Nilai ADC Saat Alarm



c) Kondisi Konversi ADC ke Arus saat *Standby* mendekati Alarm



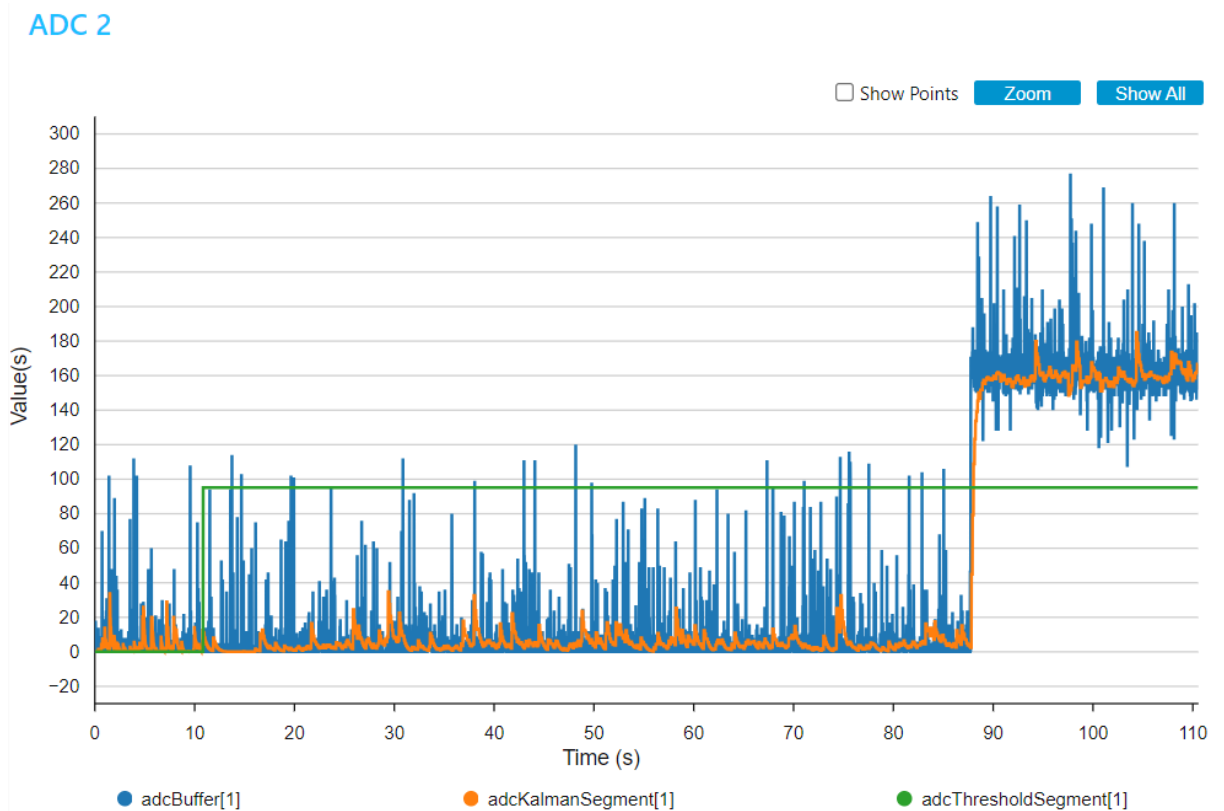
d) Kondisi Konversi ADC ke Arus saat Alarm

Gambar 4.20 Hasil Pembacaan Nilai ADC dan Konversi ADC ke Arus dengan hasil Filter

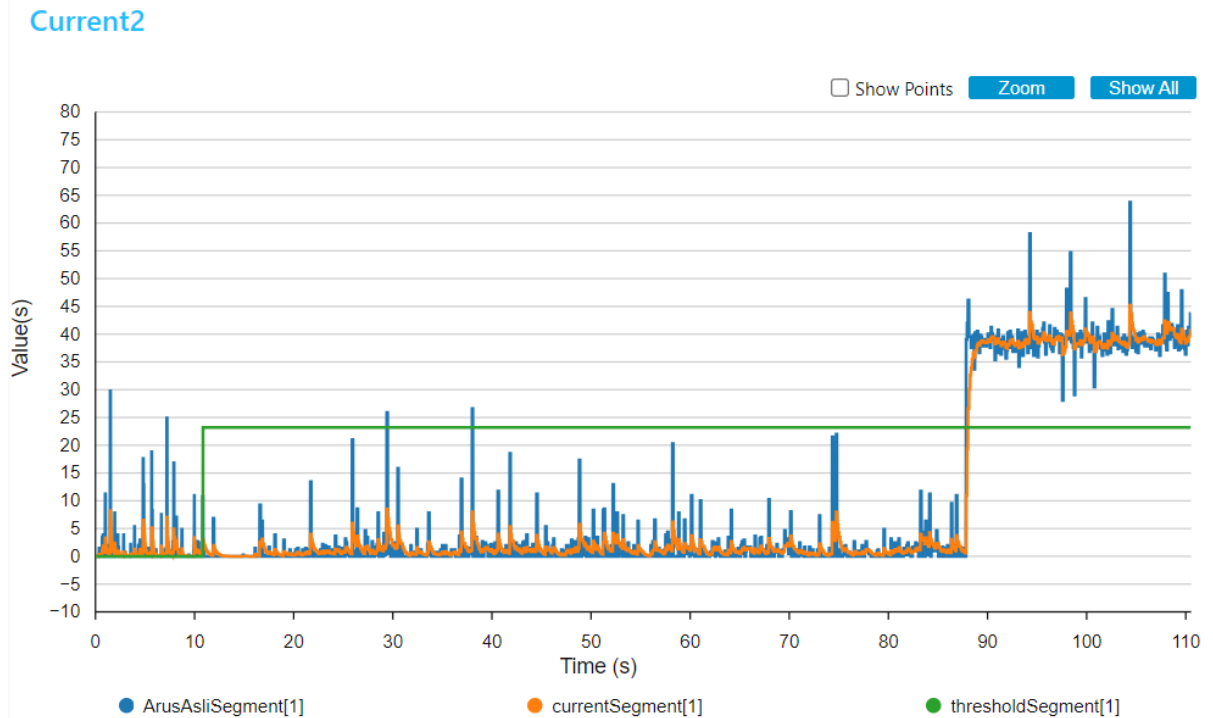
Berdasarkan Gambar 4.20. Hasil Pembacaan nilai adc dan nilai arus saat menggunakan 7 *smoke detector* pada satu segmen

input. Pengujian dilakukan ketika satu *smoke detector* mendeteksi asap, dan sisanya berada dalam kondisi *standby*. Hasil nilai ADC dan arus yang telah difilter berhasil diredam, hal ini membuktikan bahwa metode Kalman Filter bisa digunakan pada satu segmen yang menggunakan 7 *smoke detector*. Selain itu, Kalman Filter membantu proses mode *single wire* yang dapat merubah status sistem ketika satu *smoke detector* mendeteksi asap meskipun pada 1 segmennya terpasang 7 *smoke detector*.

C. Hasil Kalman Filter 1 Smoke Detector dengan Panjang Kabel 50m



a) Kondisi Nilai ADC pada Segmen 2 dengan Panjang Kabel 50m



b) Kondisi Nilai Konversi ADC ke Arus pada Segmen 2 dengan Panjang Kabel 50m

Gambar 4.21 Hasil Pembacaan Nilai ADC dan Konversi ADC ke Arus dengan Panjang Kabel 50m

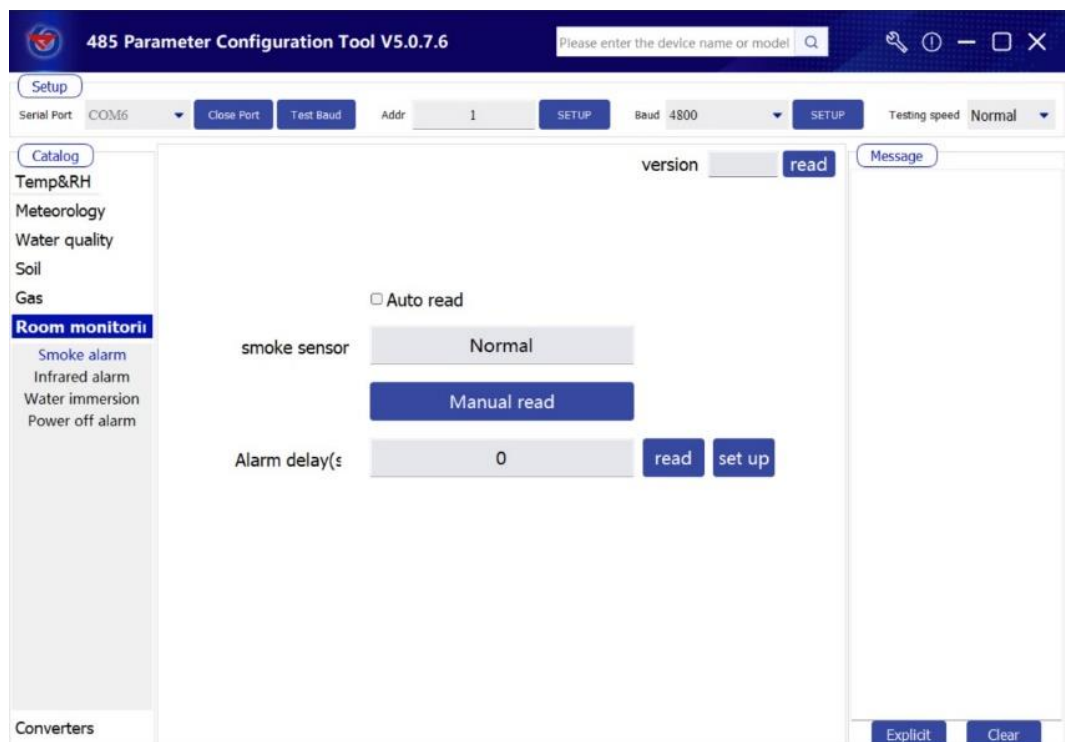
Berdasarkan Gambar 4.21, hasil Pembacaan nilai adc dan nilai arus saat 1 *smoke detector* menggunakan panjang kabel hingga 50m. Pengujian ini dapat membuktikan, jika pada satu segmennya menggunakan 1 *smoke detector* dengan panjang kabel hingga 50m, sistem FACP tetap dapat menerima sinyal keluaran dari *smoke detector* dan sistem tetap dapat menentukan kondisi alarm. Foto dokumentasi simulasi dapat dilihat pada Lampiran 29 dan Lampiran 30.

4.5 Pengujian Konfigurasi Sistem Pemrosesan Sinyal *Addressable Smoke Detector*

Pengkonfigurasi untuk sistem sensor digital dilakukan dengan cara 3 tahap yaitu konfigurasi *address* pada *addressable smoke detector* atau sensor digital, konfigurasi untuk akuisisi data dari sensor digital pada mikrokontroler, dan monitoring hasil konfigurasi sistem.

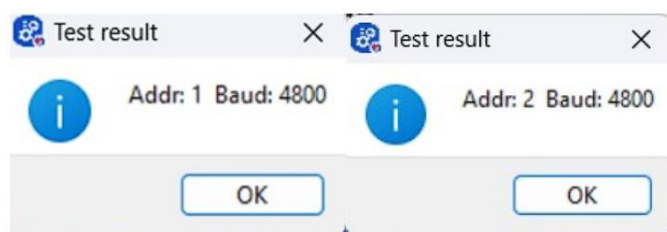
4.5.1 Hasil Konfigurasi *Address* pada Sensor

Konfigurasi *address* pada sensor dilakukan menggunakan *software* dari merk sensor yaitu "485 Parameter Configuration Tool", *software* ini digunakan untuk testing *baud rate* dan menentukan *address* untuk masing – masing sensor digital agar setiap sensor dapat dikenali secara individual oleh sistem.



Gambar 4.22 Tampilan Dashboard Software Configuration Tool

Berdasarkan Gambar 4.22, peneliti mencoba untuk testing *baudrate* dari sensor dan menentukan *address* untuk kedua sensor yang akan digunakan.



Gambar 4.23 Hasil Konfigurasi Address Pada Sensor Digital

Gambar 4.23 adalah hasil dari konfigurasi *address* pada sensor digital, peneliti mengkonfigurasi untuk sensor digital dengan *address* 1 dan *address* 2 dengan masing – masing *baud rate* yang sama yaitu 4800.

4.5.2 Hasil Konfigurasi Akuisisi Data Sensor pada Mikrokontroler

Konfigurasi dilakukan menggunakan komunikasi RS-485, dengan cara meminta polling atau *polling request* dari masing – masing sensor. *Polling request* adalah cara *master* mengirim permintaan secara berkala ke *slave* untuk membaca data terbaru, *polling request* dilakukan karena RS485 atau modbus *slave* pasif (tidak akan mengirim data sendiri jika tidak meminta).

address code	function code	starting addresses	Data length	Check code low	Check code high
0x01	0x03	0x00 0x03	0x00 0x01	0x74	0x0A

Gambar 4.24 Format Modbus RTU Polling Request (Read Holding Register)

Berdasarkan Gambar 4.24, dapat dijelaskan bahwa kolom *address code* merupakan identitas atau Alamat *slave* yang akan diminta datanya (*Slave ID*), *function code* berisi perintah yang dikirimkan oleh *master* kepada *slave*, frame ini menggunakan nilai 0x03 yang berarti perintah *Read Holding Register*. Kolom *Starting Address* menunjukkan Alamat register pertama yang akan dibaca, ditulis dalam format *Most Significant Byte* (MSB) diikuti *Least Significant Byte* (LSB). Selanjutnya, *Data Length* yang berfungsi untuk menentukan jumlah register yang akan diakses, pada sensor ini nilainya 0x0001 yang berarti *master* meminta pembacaan satu register, Dimana satu register pada Modbus RTU memiliki Panjang 2 byte. Kemudian kolom *Check Code Low* dan *Check Code High* merupakan CRC-16 (*Cyclic Redudancy Check*) yang berfungsi untuk memastikan integritas data selama transmisi. Protokol Modbus RTU memerlukan CRC-16 karena sistem komunikasi

RS485 rentan terhadap gangguan *noise*, sehingga diperlukan mekanisme pendeteksi kesalahan agar data dapat diterima dengan benar dan akurat.

Watch 1			Watch 1		
Name	Value	Type	Name	Value	Type
rxBuffer[0]	0x01	unsigned char	rxBuffer[0]	0x01	unsigned char
rxBuffer[1]	0x03	unsigned char	rxBuffer[1]	0x03	unsigned char
rxBuffer[2]	0x02	unsigned char	rxBuffer[2]	0x02	unsigned char
rxBuffer[3]	0x00	unsigned char	rxBuffer[3]	0x00	unsigned char
rxBuffer[4]	0x00	unsigned char	rxBuffer[4]	0x01	unsigned char
alarmStatus	0	unsigned short	alarmStatus	1	unsigned short
<Enter expression>			<Enter expression>		

Gambar 4.25 Hasil Pengamatan Pada Watch Window

Berdasarkan Gambar 4.25, data balasan dari perangkat *slave* berisi informasi yang sesuai dengan format protokol Modbus RTU. rxBuffer[0] berisi nilai 0x01 yang menunjukkan Alamat *slave* yang merespons permintaan pembacaan data. rxBuffer[1] dengan nilai 0x03 menunjukkan bahwa fungsi yang dijalankan adalah perintah pembacaan atau *Read Holding Register*. Kemudian, rxBuffer[2] dengan nilai 0x02 menginformasikan bahwa *slave* mengirimkan dua byte data sebagai isi register (0x0000). Dua byte data tersebut terdiri dari byte tinggi rxBuffer[3] dengan nilai 0x00 dan byte rendah rxBuffer[4] dengan nilai 0x00, sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang dikirim oleh *slave* menunjukkan kondisi nilai register adalah nol. Hal ini membuktikan bahwa tidak ada sinyal alarm yang terdeteksi atau status dalam keadaan normal. Jika *slave* mengirimkan sinyal alarm atau status keadaan alarm, maka nilai register akan berubah menjadi 0x0001. Hal ini berarti kondisi pada perangkat *slave* sedang mendeteksi adanya keadaan alarm aktif. Perubahan nilai byte rendah dari 0x00 menjadi 0x01 mengindikasikan bahwa status sistem telah berubah dari normal (*standby*) menjadi kondisi alarm dan nilai byte tinggi akan tetap menunjukkan nilai 0x00.

4.5.3 Hasil Konfigurasi Akuisisi 2 Data Sensor

Hasil pengamatan konfigurasi akuisisi dua sensor digital ditunjukkan pada *watch window* di Gambar 4.26. Pada pengujian ini, data dari sensor digital dengan *address* 1 dan *address* 2 berhasil diakuisisi oleh STM32F4 melalui komunikasi dengan STM32F4.

Watch 2			Watch 2		
Name	Value	Type	Name	Value	Type
USART_pBuffer[0]	0x01	unsigned char	USART_pBuffer[0]	0x01	unsigned char
USART_pBuffer[2]	0	unsigned char	USART_pBuffer[2]	1	unsigned char
USART_pBuffer[3]	0x02	unsigned char	USART_pBuffer[3]	0x02	unsigned char
USART_pBuffer[5]	0	unsigned char	USART_pBuffer[5]	0	unsigned char
alarmStatus1	0	unsigned short	alarmStatus1	1	unsigned short
alarmStatus2	0	unsigned short	alarmStatus2	0	unsigned short
<Enter expression>			<Enter expression>		

Watch 2			Watch 2		
Name	Value	Type	Name	Value	Type
USART_pBuffer[0]	0x01	unsigned char	USART_pBuffer[0]	0x01	unsigned char
USART_pBuffer[2]	0	unsigned char	USART_pBuffer[2]	1	unsigned char
USART_pBuffer[3]	0x02	unsigned char	USART_pBuffer[3]	0x02	unsigned char
USART_pBuffer[5]	1	unsigned char	USART_pBuffer[5]	1	unsigned char
alarmStatus1	0	unsigned short	alarmStatus1	1	unsigned short
alarmStatus2	1	unsigned short	alarmStatus2	1	unsigned short
<Enter expression>			<Enter expression>		

Gambar 4.26 Hasil Pengamatan 2 Sensor Pada Watch Window

Berdasarkan Gambar 4.26, hasil pengamatan 2 sensor digital berhasil diakuisisi oleh STM32F4 dari STM32F1. USART_pBuffer[2] yang ditampilkan pada *watch window* adalah nilai byte rendah dari sensor digital dengan *address* 1 dan USART_pBuffer[5] adalah nilai byte rendah dari sensor digital dengan *address* 2. Hal ini membuktikan bahwa kedua sensor digital dengan *address* 1 dan 2 berhasil diakuisisi oleh STM32F1 dan berhasil diterima datanya oleh STM32F4. Nilai byte rendah akan menyesuaikan status kondisi dari masing – masing sensor.

4.6 Hasil dan Analisa Pengintegrasian *Smoke Detector* Analog dan Digital dalam sistem FACP

Pengujian pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui kinerja sistem FACP dalam membaca sinyal deteksi asap dari dua jenis detektor, yaitu *smoke detector* analog dan *smoke detector* digital (*addressable*) yang diintegrasikan secara bersamaan dalam satu panel.



Gambar 4.27 a.) Sensor Segmen 1 Deteksi Asap b.) Tampilan LCD c.) Relay 1 ON

ON

Berdasarkan Gambar 4.27, Pengujian dilakukan dengan mengaktifkan satu sensor analog pada segmen satu. Sebelum pengujian, peneliti mengatur sistem FACP ke MODE SINGLE WIRE, dimana ZONE 1 diberi nama ZONE A, dengan nilai SET INTERVAL sebesar 15. Ketika sensor analog aktif atau mendeteksi asap, maka sistem akan menampilkan teks "ZONE A ACTIVE! Analog ACTIVE!" di LCD. Setelah itu, sistem akan mengaktifkan relay 0 pada segmen *output* 1. Pengaturan ini dirancang agar setiap segmen *input* terhubung langsung dengan segmen *output* yang sesuai, sehingga jika segmen input 1 aktif, maka segmen *output* 1 juga akan aktif.



Gambar 4.28 Monitoring Segmen 1 Aktif

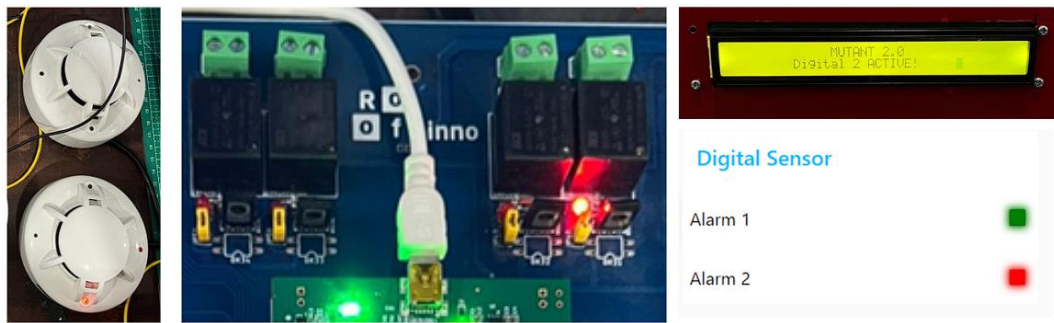
Berdasarkan Gambar 4.28, ketika sensor *smoke detector* analog pada segmen *input* 1 terhubung dengan sistem, mikrokontroler akan membaca nilai ADC dari segmen tersebut secara *real-time*. Pada tampilan *dashboard*, ditampilkan data sinyal arus yang diterima dari segmen *input* 1, segmen *input* 2, segmen *input* 3, dan tampilan LED untuk monitoring status alarm dari sensor digital. Panel *dashboard* “*Current1*” menunjukkan grafik pembacaan arus untuk segmen *input* 1. Grafik ini menampilkan fluktuasi sinyal yang berhasil diredam oleh Kalman Filter, sehingga pembacaan menjadi lebih stabil. Saat sensor pada segmen *input* 1 mendeteksi asap dan aktif, nilai arus yang terbaca akan meningkat melewati ambang batas (*threshold*) sistem, yang divisualisasikan pada grafik dengan posisi nilai arus di atas garis *threshold* yang telah ditentukan.



Gambar 4.29 a.) Sensor Digital 1 Aktif b.) Relay 4 ON c.) Tampilan LCD d.) Tampilan Dashboard

Berdasarkan Gambar 4.29, dapat dilihat bahwa pengujian dilakukan pada sensor *smoke detector* digital dengan alamat digital 1. Pada bagian (a), indikator LED pada *smoke detector* digital menyala yang menandakan bahwa detektor mendeteksi asap dan status alarm aktif. Kondisi ini memicu sistem FACP untuk mengaktifkan relay *output* pada segmen 4, ditunjukkan pada gambar (b). Relay pada segmen *output* 4 dalam posisi ON yang menandakan sinyal alarm dari detektor digital telah berhasil diterima oleh STM32F1 kemudian diteruskan ke STM32F4 Discovery untuk mengaktifkan segmen *output*. Bagian (c) menunjukkan tampilan LCD pada panel FACP yang secara *real-time* menampilkan status sensor digital yang aktif dengan tampilan teks “Digital 1 ACTIVE!”. Pada *dashboard* monitoring di gambar (d), status

detektor digital juga divisualisasikan dengan indikator Alarm 1 berwarna merah (ACTIVE) dan Alarm 2 berwarna hijau (OFF). Hal ini menegaskan bahwa hanya sensor digital 1 yang mendeteksi asap pada saat pengujian, sedangkan sensor digital 2 dalam kondisi *standby*.



Gambar 4.30 a.) Sensor Digital 2 Aktif b.) Relay 4 ON c.) Tampilan LCD d.) Tampilan Dashboard

Berdasarkan Gambar 4.30, dapat dilihat kondisi pengujian ketika sensor *smoke detector* digital dengan alamat 2 diaktifkan. Sistem akan menyalakan relay segmen *output* 4 aktif, LCD akan menampilkan teks "Digital 2 ACTIVE!", dan *dashboard* monitoring akan memvisualkan status Alarm 2 aktif (ON).



Gambar 4.31 Sensor Digital 1 dan 2 Aktif

Berdasarkan Gambar 4.31, dapat dilihat kondisi pengujian ketika sensor *smoke detector* digital dengan alamat 1 dan 2 aktif secara bersamaan, sistem akan menyalakan relay segmen *output* 4 aktif, dan LCD akan menampilkan teks "Digital 1 & 2 ACTIVE!", dan *dashboard* monitoring akan memvisualkan status Alarm 1 dan Alarm 2 aktif (ON).



Gambar 4.32 Kondisi Segmen 1, Digital 1 & Digital 2 Aktif

Berdasarkan Gambar 4.32, dapat dilihat kondisi pengujian ketika segmen 1, digital 1, dan digital 2 aktif secara bersamaan, sistem akan menyalakan relay segmen *output* 1 aktif, dan LCD akan menampilkan “Segment 1 Active! Digital 1 & 2 ACTIVE!”

Dari Gambar 4.29, Gambar 4.30, Gambar 4.31, dan Gambar 4.32, peneliti menyimpulkan bahwa sistem FACP berhasil mengakuisisi data sensor digital dan membedakan status alarm pada dua *smoke detector* digital yang memiliki alamat berbeda. Selain itu, sistem juga berhasil mengakuisisi dan menentukan status alarm sesuai dengan kondisi sensor analog. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat membaca Alamat atau *address* detector dan *smoke detector* analog secara akurat, mengaktifkan relay *output* yang sesuai, serta menampilkan status alarm secara *real-time* melalui LCD dan *dashboard* monitoring. Hal ini membuktikan sistem FACP berhasil menerima data digital dan analog, berikut adalah hasil rekapitulasi percobaan pada berbagai kondisi sistem.

Tabel 4.21 Hasil Rekapitulasi Percobaan Sistem FACP pada Berbagai Kondisi

Segmen Analog Aktif	Sensor Aktif	Digital 1	Digital 2	Relay Aktif	Buzzer Aktif
1	1	ON	OFF	4	Solid
		OFF	ON	4	Solid
		ON	ON	4	Solid
		OFF	OFF	-	-
		OFF	OFF	1	Blink
		ON	OFF		Solid
		OFF	ON	1 & 4	Solid
		ON	ON		Solid

Tabel Lanjutan 4.21 Hasil Rekapitulasi Percobaan Sistem FACP pada Berbagai Kondisi

Segmen Analog Aktif	Sensor Aktif	Digital 1	Digital 2	Relay Aktif	Buzzer Aktif
1	2	OFF	OFF	1	Blink
		ON	OFF	1 & 4	Solid
		OFF	ON		Solid
		ON	ON		Solid
1	3	OFF	OFF	1	Blink
		ON	OFF	1 & 4	Solid
		OFF	ON		Solid
		ON	ON		Solid
2	1	OFF	OFF	2	Blink
		ON	OFF	2 & 4	Solid
		OFF	ON		Solid
		ON	ON		Solid
2	2	OFF	OFF	2	Blink
		ON	OFF	2 & 4	Solid
		OFF	ON		Solid
		ON	ON		Solid
2	3	OFF	OFF	2	Blink
		ON	OFF	2 & 4	Solid
		OFF	ON		Solid
		OFF	OFF	3	Blink
3	1	ON	OFF		Solid
		OFF	ON	3 & 4	Solid
		ON	ON		Solid
		OFF	OFF	3	Blink
3	2	ON	OFF		Solid
		OFF	ON	3 & 4	Solid
		ON	ON		Solid
		OFF	OFF	3	Blink
3	3	ON	OFF		Solid
		OFF	ON	3 & 4	Solid
		ON	ON		Solid