

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

5.1 Pengujian dan Analisa

Pada bab ini membahas mengenai pengujian sistem regenerasi otomatis *silica gel* pada *dehydrating breather* transformator menggunakan ESP32 dan Blynk yang telah dirancang dan dirangkai pada bab sebelumnya. Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen dan sistem dapat bekerja sesuai dengan fungsi serta rancangan yang telah dibuat. Selain itu, pengujian dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi *silica gel* berdasarkan perubahan warna, memantau suhu proses regenerasi, serta mengendalikan proses pemanasan secara otomatis.

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian terhadap komponen-komponen utama sistem, yaitu sensor *thermocouple type k*, ESP32, relay 220 V, SCR Dimmer, dan *heater*. Selain itu, dilakukan pengujian pembacaan suhu, pengujian perubahan warna *silica gel*, pengujian pengaturan daya *heater* menggunakan dimmer AC, pengujian proses regenerasi otomatis, serta pengujian pengiriman dan monitoring data melalui Blynk dan *Spreadsheet*. Setiap pengujian dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan dan kinerja masing-masing bagian sistem.

Hasil yang diperoleh dari setiap pengujian selanjutnya dianalisis untuk mengetahui akurasi pembacaan sensor, kestabilan suhu, kemampuan deteksi kondisi *silica gel*, respon sistem terhadap perubahan kondisi, serta keberhasilan proses regenerasi otomatis. Melalui hasil pengujian dan analisis tersebut, dapat diketahui apakah sistem yang telah dirancang mampu bekerja sesuai dengan fungsi dan tujuan, yaitu melakukan monitoring suhu dan warna *silica gel* serta mengendalikan proses regenerasi secara otomatis dan terintegrasi dengan sistem IoT.

5.1.1 Pengujian dan Analisa SCR Dimmer

Pengujian SCR Dimmer dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tingkat pengaturan daya terhadap proses pemanasan *heater* pada sistem regenerasi otomatis *silica gel*. SCR Dimmer digunakan sebagai pengatur daya yang diberikan

kepada *heater* dengan cara mengatur sudut penyalaan tegangan AC yang masuk ke beban. Dalam sistem ini, pengaturan dimmer menjadi salah satu parameter penting karena besar kecilnya daya *heater* akan memengaruhi kecepatan peningkatan suhu pada ruang regenerasi *silica gel*.

Pengujian dilakukan dengan memberikan tiga variasi pengaturan SCR Dimmer, yaitu 25%, 50%, dan 75%. Setiap variasi digunakan untuk mengoperasikan *heater* dalam waktu tertentu, kemudian suhu yang terbaca oleh *thermocouple type k* melalui modul MAX6675 dibandingkan dengan suhu yang terbaca menggunakan thermometer sebagai alat ukur pembanding. Pengukuran dilakukan secara berkala dengan interval waktu 5 menit. Data hasil pengujian digunakan untuk mengetahui karakteristik kenaikan suhu dan tingkat kesesuaian pembacaan *thermocouple* terhadap thermometer.

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah SCR Dimmer dapat memberikan pengaruh yang sesuai terhadap proses pemanasan serta menentukan tingkat pengaturan dimmer yang dapat digunakan pada proses regenerasi *silica gel*. Selain itu, perbandingan antara *thermocouple* dan thermometer dilakukan untuk mengetahui tingkat kesalahan (*error*) pembacaan sensor suhu yang digunakan dalam sistem.

Perhitungan error dilakukan menggunakan persamaan:

$$Error = |T_{sensor} - T_{thermometer}|$$

Sedangkan persentase error dihitung menggunakan persamaan:

$$Error(\%) = \frac{|T_{sensor} - T_{thermometer}|}{T_{thermometer}} \times 100\%$$

Pengujian pertama dilakukan dengan mengatur SCR Dimmer pada tingkat 25%. *Heater* kemudian diaktifkan dan suhu dicatat setiap 5 menit.

Hasil pengujian ditunjukkan pada tabel berikut.

Tabel 5.1 Tabel Pengujian SCR Dimmer 25%

Dimmer	Waktu (menit)	Suhu sensor (°C)	Suhu thermometer (°C)	Error (°C)	Error (%)
25%	5	34,0	34,2	0,2	0,58
25%	10	49,8	51,0	1,2	2,35
25%	15	73,2	73,0	0,2	0,27
25%	20	84,8	84,0	0,8	0,95
25%	25	90,8	90,0	0,8	0,89
25%	30	95,2	95,0	0,2	0,21
25%	35	101,2	100,0	1,2	1,20

Tabel 5.2 Tabel Pengujian SCR Dimmer 50%

Dimmer	Waktu (menit)	Suhu sensor (°C)	Suhu thermometer (°C)	Error (°C)	Error (%)
50%	5	31,0	29,0	2,0	6,90
50%	10	83,0	84,0	1,0	1,19
50%	15	121,2	121,3	0,1	0,08
50%	20	140,4	140,5	0,1	0,07

Tabel 5.3 Tabel Pengujian SCR Dimmer 75%

Dimmer	Waktu (menit)	Suhu sensor (°C)	Suhu thermometer (°C)	Error (°C)	Error (%)
75%	5	30,8	29,0	1,8	6,21
75%	10	132,0	130,0	2,0	1,54

Tabel 5.1, 5.2, dan 5.3 merupakan tabel pengujian scr dimmer 25%,50%,75%. Berdasarkan hasil pengujian rata-rata selisih absolut antara sensor dan thermometer adalah sekitar $0,89^{\circ}\text{C}$. Persentase error rata-rata dari seluruh titik pengukuran adalah sekitar 1,72%. Error terbesar terjadi pada menit ke-5 pada pengaturan dimmer 50% dan 75%, masing-masing sebesar 6,90% dan 6,21%. Kondisi tersebut dapat terjadi karena pada tahap awal pemanasan suhu masih mengalami perubahan yang cepat dan belum stabil. Perbedaan waktu pembacaan

antara sensor dan thermometer dapat menyebabkan selisih temperatur yang lebih besar, terutama ketika dinyatakan dalam bentuk persentase.

Pada pengaturan dimmer 25%, suhu thermometer meningkat dari $34,2^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-5 menjadi 100°C pada menit ke-35. Hal tersebut menunjukkan kenaikan suhu sebesar $65,8^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 30 menit, dengan laju pemanasan rata-rata sekitar $2,19^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Pada dimmer 50%, suhu thermometer meningkat dari 29°C pada menit ke-5 menjadi $140,5^{\circ}\text{C}$ pada menit ke-20, sehingga terjadi kenaikan sebesar $111,5^{\circ}\text{C}$ dalam waktu 15 menit dengan laju sekitar $7,43^{\circ}\text{C}/\text{menit}$. Sementara itu, pada dimmer 75%, suhu thermometer meningkat dari 29°C pada menit ke-5 menjadi 130°C pada menit ke-10, sehingga kenaikan suhu mencapai 101°C hanya dalam waktu 5 menit atau sekitar $20,2^{\circ}\text{C}/\text{menit}$.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa persentase dimmer memiliki pengaruh terhadap laju kenaikan suhu *heater*. Semakin besar pengaturan dimmer, semakin cepat suhu mengalami peningkatan. Laju pemanasan pada dimmer 75% jauh lebih tinggi dibandingkan dimmer 25% dan 50%. Hal ini menunjukkan bahwa hubungan antara persentase pengaturan dimmer AC dengan laju pemanasan tidak dapat dianggap linear, sehingga peningkatan persentase dimmer dapat menghasilkan perubahan laju pemanasan yang cukup besar.

Pengaruh tersebut perlu diperhatikan dalam proses regenerasi *silica gel*. Pada dimmer 75%, suhu dapat mencapai sekitar 130°C hanya dalam waktu 10 menit, sehingga pengendalian suhu menjadi lebih sulit dan terdapat kemungkinan suhu melewati nilai yang diinginkan apabila *heater* tidak segera dikendalikan. Kondisi tersebut dapat menyebabkan *overshoot* dan meningkatkan risiko pemanasan berlebih pada *silica gel*. Sebaliknya, dimmer 25% menghasilkan kenaikan suhu yang lebih bertahap, sedangkan dimmer 50% memberikan laju pemanasan yang lebih tinggi tetapi masih lebih mudah dikendalikan dibandingkan 75%.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, pengaturan dimmer 25–50% lebih sesuai untuk digunakan sebagai acuan proses pemanasan, karena kenaikan suhu berlangsung lebih bertahap sehingga ESP32 memiliki waktu yang lebih cukup untuk membaca perubahan suhu dan mengendalikan *heater*. Sementara itu,

penggunaan dimmer 75% perlu dihindari atau dibatasi karena kenaikan suhu berlangsung sangat cepat. Hasil pengujian ini juga menjadi dasar dalam menentukan pengaturan daya *heater* agar proses regenerasi *silica gel* dapat berlangsung secara efektif, terkontrol, dan tidak menyebabkan pemanasan berlebihan.

5.1.2 Pengujian dan Analisa *Thermocouple type – k*

Pengujian *thermocouple type – k* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mengukur suhu pada sistem regenerasi otomatis *silica gel* serta mengetahui tingkat ketelitian pembacaan sensor dibandingkan dengan thermometer sebagai alat ukur pembanding. *Thermocouple type – k* pada sistem ini digunakan sebagai sensor suhu yang terhubung dengan modul MAX6675 dan ESP32. Data suhu yang diperoleh dari *thermocouple* kemudian digunakan untuk memantau temperatur selama proses pemanasan dan regenerasi *silica gel*.

Pengujian dilakukan pada beberapa titik suhu referensi, yaitu 30°C, 50°C, 70°C, 90°C, dan 110°C. Pada setiap titik pengujian, nilai yang terbaca oleh *thermocouple type – k* dicatat dan dibandingkan dengan nilai yang terbaca pada thermometer. Selanjutnya dilakukan perhitungan selisih error, persentase error, untuk mengetahui tingkat akurasi sensor.

Perhitungan error dilakukan menggunakan persamaan:

$$Error = |T_{sensor} - T_{thermometer}|$$

Sedangkan persentase error dihitung menggunakan persamaan:

$$Error(\%) = \frac{|T_{sensor} - T_{thermometer}|}{T_{thermometer}} \times 100\%$$

Tabel 5.4 Tabel Pengujian *Thermocouple type – k*

No	Referensi (°C)	Thermocouple-K (°C)	Selisi h TC-K	Error TC-K (%)	Termometer (°C)	Selisi h Term.	Error Term . (%)
1	30	31	1,0	3,33	29	1,0	3,33
2	50	54,8	4,8	9,60	56	6,0	12,00
3	70	71	1,0	1,43	71	1,0	1,43
4	90	90,8	0,8	0,89	90	0	0
5	110	110,2	0,2	0,18	110	0	0

Table 5.4 merupakan hasil pengujian *thermocouple type – k*. Berdasarkan hasil pengujian, akurasi *thermocouple type – k* menunjukkan kecenderungan membaik seiring dengan meningkatnya suhu pengujian. Error terbesar terjadi pada titik suhu rendah, sedangkan pada suhu 90°C dan 110°C nilai error relatif kecil, yaitu kurang dari 1%. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh karakteristik *thermocouple* yang menghasilkan sinyal tegangan sangat kecil pada suhu rendah, sehingga pembacaan lebih sensitif terhadap *noise*, perbedaan posisi sensor, serta ketidakpastian *cold junction compensation* pada modul MAX6675. Ketika suhu meningkat, sinyal yang dihasilkan *thermocouple* juga meningkat sehingga pembacaan cenderung lebih stabil.

Pada titik pengujian sekitar 50°C, terdapat perbedaan pembacaan yang cukup besar antara *thermocouple* dan *thermometer*. Kondisi ini perlu diperhatikan karena perbedaan tersebut tidak hanya berasal dari *thermocouple*, tetapi juga dapat dipengaruhi oleh alat ukur pembanding. Hal ini menunjukkan kemungkinan bahwa suhu pada saat pengukuran belum benar-benar stabil atau masih mengalami perubahan akibat proses pemanasan. Selain itu, adanya jeda waktu pembacaan antara *thermocouple* dan *thermometer* dapat menyebabkan kedua alat membaca kondisi suhu yang berbeda, terutama ketika kenaikan suhu berlangsung cukup

cepat.

Secara keseluruhan, *thermocouple type - k* yang digunakan bersama modul MAX6675 dapat dikatakan cukup layak digunakan sebagai sensor suhu pada sistem regenerasi *silica gel*. Hal ini terlihat dari hasil pengujian pada suhu yang mendekati rentang kerja regenerasi, terutama pada 90°C dan 110°C, yang menunjukkan selisih pembacaan relatif kecil. Dengan karakteristik tersebut, *thermocouple* dapat digunakan untuk memantau perubahan suhu selama proses regenerasi dan menjadi parameter dalam pengendalian *heater* secara otomatis oleh ESP32.

Untuk meningkatkan keakuratan hasil pengujian, terutama pada rentang suhu rendah sekitar 40–60°C, pengujian selanjutnya sebaiknya dilakukan dengan memberikan waktu tunggu (*settling time*) yang cukup sebelum pencatatan data. Hal tersebut bertujuan memastikan suhu telah mencapai kondisi yang relatif stabil sehingga perbedaan hasil pengukuran lebih merepresentasikan karakteristik sensor, bukan disebabkan oleh perubahan suhu yang cepat atau perbedaan waktu pembacaan antara *thermocouple* dan *thermometer*.

5.1.3 Pengujian dan Analisa Sensor TCS3200

Pengujian sensor TCS3200 dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam mendeteksi dan membedakan warna *silica gel* berdasarkan perubahan kondisi warna yang terjadi sebelum dan setelah proses regenerasi. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kondisi warna *silica gel*, yaitu kondisi kering dan jenuh/basah, kemudian sensor TCS3200 digunakan untuk membaca intensitas warna melalui nilai komponen R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*). Setiap kondisi dilakukan beberapa kali pengambilan data untuk memperoleh nilai pembacaan yang dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan karakteristik sensor.

Data hasil pembacaan sensor TCS3200 kemudian dianalisis dengan menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, *coefficient of variation* (CV), dan nilai maksimum minimum pada masing-masing komponen warna. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui tingkat kestabilan dan konsistensi pembacaan sensor terhadap warna *silica gel*. Hasil pengujian selanjutnya digunakan untuk menentukan rentang nilai RGB yang mewakili kondisi *silica gel* jenuh dan kering,

sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam sistem untuk mendeteksi perubahan warna dan menentukan kondisi *silica gel* secara otomatis.

Tabel 5.5 Tabel Data Hasil Percobaan Sensor TCS3200

Sensor Warna TCS3200							
Warna	R	G	B	Warna	R	G	B
Biru (Kering)	131	141	113	Ungu (Basah)	80	100	81
Biru (Kering)	132	141	114	Ungu (Basah)	82	102	82
Biru (Kering)	131	141	113	Ungu (Basah)	82	103	82
Biru (Kering)	132	141	113	Ungu (Basah)	82	103	82
Biru (Kering)	132	142	113	Ungu (Basah)	82	102	83

Tabel 5.6 Perhitungan dan Hasil Percobaan Sensor TCS3200

Kondisi Silica Gel	Parameter	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi	CV
Biru (Kering)	R	131	132	131,6	0,55	0,42%
Biru (Kering)	G	141	142	141,2	0,45	0,32%
Biru (Kering)	B	113	114	113,2	0,45	0,40%
Ungu (Basah)	R	80	82	81,6	0,89	1,10%
Ungu (Basah)	G	100	103	102,0	1,22	1,20%
Ungu (Basah)	B	81	83	82,0	0,71	0,86%

Menghitung nilai rata-rata, standar deviasi, *coefficient of variation* (CV), dan nilai maksimum minimum menggunakan rumus sebagai berikut.

Rumus Rata – Rata :

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Keterangan:

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

x_i = nilai hasil pengukuran ke-i

n = jumlah pengukuran

Rumus Standar Deviasi :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Keterangan:

s = standar deviasi

x_i = nilai pengukuran

$\bar{x}$ = rata-rata

n = jumlah data

$n - 1$ = derajat kebebasan

Rumus *coefficient of variation* (CV) :

$$CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$$

Keterangan:

CV = coefficient of variation

s = standar deviasi

$\bar{x}$ = nilai rata-rata

Rumus nilai minimum dan maksimum

Untuk menentukan rentang hasil pembacaan:

X_{min} = nilai terkecil

X_{max} = nilai terbesar

Keterangan:

X_{max} = nilai pengukuran maksimum

X_{min} = nilai pengukuran minimum

Berdasarkan Tabel 5.5 dan 5.6, pengujian sensor warna TCS3200 dilakukan sebanyak lima kali pada *silica gel* dalam kondisi biru (kering) dan ungu (basah). Pengujian bertujuan untuk mengetahui kestabilan pembacaan sensor berdasarkan nilai R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*). Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kondisi biru (kering) diperoleh nilai rata-rata R sebesar 131,6, G sebesar 141,2, dan B sebesar 113,2. Sementara itu, pada kondisi ungu (basah) diperoleh nilai rata-rata

R sebesar 81,6, G sebesar 102,0, dan B sebesar 82,0.

Nilai *coefficient of variation* (CV) pada seluruh parameter berada pada rentang 0,32% hingga 1,20%, yang menunjukkan bahwa pembacaan sensor relatif stabil dan konsisten. Selain itu, terdapat perbedaan nilai rata-rata RGB antara kondisi kering dan basah, yaitu sebesar 50,0 pada R, 39,2 pada G, dan 31,2 pada B. Berdasarkan hasil tersebut, terdapat perbedaan nilai RGB yang cukup jelas antara *silica gel* dalam kondisi kering dan basah. Dengan demikian, sensor TCS3200 dapat digunakan untuk membedakan kondisi *silica gel* berdasarkan karakteristik nilai RGB dan digunakan sebagai sensor pendeteksi perubahan warna pada sistem regenerasi otomatis.

5.1.4 Pengujian dan Analisa Proses Regenerasi

Pengujian proses regenerasi *silica gel* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mendeteksi kondisi *silica gel*, memantau perubahan suhu selama proses pemanasan, serta mengendalikan *heater* secara otomatis berdasarkan perubahan warna *silica gel*. Pada pengujian ini, *silica gel* yang digunakan berada dalam kondisi jenuh atau basah dengan warna awal ungu. Sensor TCS3200 digunakan untuk membaca perubahan warna *silica gel* melalui nilai komponen warna R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*), sedangkan *thermocouple type – k* yang terhubung dengan modul MAX6675 digunakan untuk mengukur suhu ruang regenerasi. Data hasil pembacaan kedua sensor diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi *silica gel* dan mengendalikan *heater* melalui relay.

Tabel 5.7 Tabel Pengujian Proses Regenerasi *Silica gel*

Waktu	Suhu (°C)	R	G	B	Warna	Heater
0 menit	28	101	114	88	Ungu (Basah)	ON
5 menit	40	106	120	93	Ungu (Basah)	ON
10 menit	56	110	123	95	Ungu (Basah)	ON
15 menit	61	115	128	98	Tidak Terdeteksi	ON
20 menit	68	123	136	103	Tidak Terdeteksi	ON
25 menit	73	122	134	101	Tidak Terdeteksi	ON
30 menit	81	122	133	99	Tidak Terdeteksi	ON

Waktu	Suhu (°C)	R	G	B	Warna	Heater
35 menit	82,5	123	132	99	Tidak Terdeteksi	ON
40 menit	90	124	132	99	Tidak Terdeteksi	ON
45 menit	94	124	132	99	Tidak Terdeteksi	ON
50 menit	97	125	133	99	Tidak Terdeteksi	ON
55 menit	103	126	133	99	Tidak Terdeteksi	ON
60 menit	109	126	133	96	Tidak Terdeteksi	ON
65 menit	117	126	134	97	Tidak Terdeteksi	ON
70 menit	120	126	135	100	Tidak Terdeteksi	ON
75 menit	123	127	136	102	Tidak Terdeteksi	ON
80 menit	126	130	137	103	Biru (Kering)	OFF

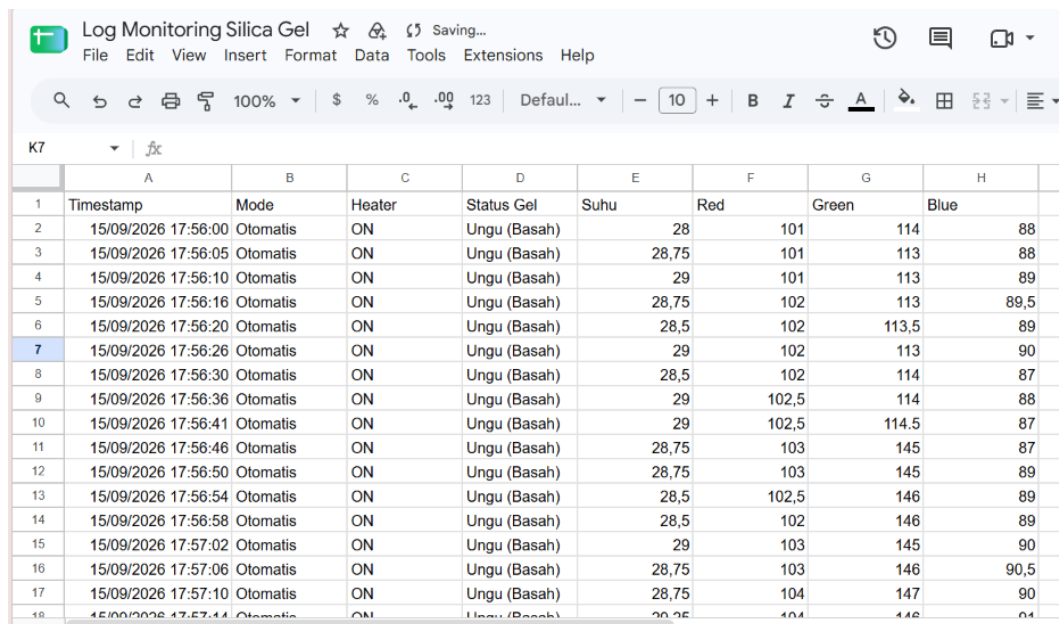
Tabel 5.7 merupakan hasil pengujian proses regenerasi *silica gel*. Berdasarkan hasil pengujian proses regenerasi *silica gel*, diperoleh total waktu regenerasi selama 80 menit. Sistem regenerasi *silica gel* mampu mendeteksi perubahan kondisi *silica gel* dari ungu (basah) menjadi biru (kering) menggunakan sensor TCS3200 serta mengendalikan *heater* secara otomatis. Pada awal pengujian, suhu sebesar 28°C dengan nilai RGB R = 101, G = 114, dan B = 88, sehingga sistem mendeteksi kondisi ungu (basah) dan *heater* berada pada kondisi ON. Selama proses pemanasan, suhu dan nilai RGB hasil konversi mengalami perubahan secara bertahap. Pada menit ke-15 hingga ke-75, nilai RGB berada di luar rentang klasifikasi warna ungu maupun biru sehingga sistem menampilkan kondisi “Tidak Terdeteksi”. Kondisi tersebut menunjukkan adanya perubahan nilai pembacaan sensor selama proses regenerasi.

Pada menit ke-80, suhu mencapai 126°C dengan nilai RGB R = 130, G = 137, dan B = 103. Nilai tersebut memenuhi kriteria biru (kering) yang telah diprogram, sehingga sistem secara otomatis mematikan *heater*. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem dapat menentukan kondisi akhir *silica gel* dan menghentikan proses regenerasi tanpa memerlukan pengecekan warna secara visual oleh operator.

Secara keseluruhan, proses regenerasi pada pengujian ini berlangsung

selama 80 menit, dan kondisi kering terdeteksi pada suhu 126°C dengan nilai RGB 128, 137, dan 103. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi ESP32, TCS3200, *Thermocouple Type-K*, MAX6675, dan *heater* dapat menjalankan fungsi regenerasi secara otomatis.

5.1.5 Pengujian dan Analisa Monitoring Pada Google *Spreadsheet*



	A	B	C	D	E	F	G	H
	Timestamp	Mode	Heater	Status Gel	Suhu	Red	Green	Blue
1	15/09/2026 17:56:00	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28	101	114	88
2	15/09/2026 17:56:05	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	101	113	88
3	15/09/2026 17:56:10	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	29	101	113	89
4	15/09/2026 17:56:16	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	102	113	89,5
5	15/09/2026 17:56:20	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,5	102	113,5	89
6	15/09/2026 17:56:26	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	29	102	113	90
7	15/09/2026 17:56:30	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,5	102	114	87
8	15/09/2026 17:56:36	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	29	102,5	114	88
9	15/09/2026 17:56:41	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	29	102,5	114,5	87
10	15/09/2026 17:56:46	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	103	145	87
11	15/09/2026 17:56:50	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	103	145	89
12	15/09/2026 17:56:54	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,5	102,5	146	89
13	15/09/2026 17:56:58	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,5	102	146	89
14	15/09/2026 17:57:02	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	29	103	145	90
15	15/09/2026 17:57:06	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	103	146	90,5
16	15/09/2026 17:57:10	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	104	147	90
17	15/09/2026 17:57:14	Otomatis	ON	Ungu (Basah)	28,75	104	146	90

Gambar 5.1 Hasil Percobaan Monitoring Pada Google *Spreadsheet*

Gambar 5.1 merupakan hasil percobaan monitoring google *spreadsheet* Pengujian monitoring pada Google *Spreadsheet* dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirimkan, menampilkan, dan menyimpan data hasil pembacaan sensor secara otomatis melalui koneksi internet. Pada sistem regenerasi otomatis *silica gel*, Google *Spreadsheet* digunakan sebagai data *logger* untuk mencatat kondisi sistem secara *real-time*. Data yang dikirim oleh ESP32 meliputi *Timestamp*, *Mode*, *Heater*, *Status Gel*, *Suhu*, *Red*, *Green*, dan *Blue*. Dengan adanya pencatatan tersebut, pengguna dapat mengetahui kondisi sistem berdasarkan waktu pengukuran serta memantau perubahan suhu dan warna *silica gel* selama proses regenerasi.

Berdasarkan hasil monitoring pada Google *Spreadsheet*, kolom *Timestamp* menunjukkan waktu ketika data diterima dan dicatat oleh sistem. Kolom *Mode* menunjukkan mode operasi sistem, yaitu Manual atau Otomatis. Kolom *Heater*

menunjukkan kondisi *heater* , yaitu ON ketika proses pemanasan berlangsung dan OFF ketika *heater* tidak bekerja. Selanjutnya, kolom Status Gel menunjukkan kondisi *silica gel* berdasarkan hasil pembacaan sensor TCS3200, seperti Ungu (Basah) yang menunjukkan kondisi *silica gel* masih jenuh. Kolom Suhu digunakan untuk mencatat hasil pengukuran *thermocouple type - k* melalui modul MAX6675, sedangkan kolom *Red*, *Green*, dan *Blue* berisi nilai pembacaan komponen warna dari sensor TCS3200.

Selanjutnya, , status *heater* menjadi ON karena *silica gel* terdeteksi dalam kondisi Ungu (Basah). Pada data monitoring berikutnya terlihat bahwa suhu mulai mengalami peningkatan secara bertahap, misalnya dari sekitar 28°C menjadi 28,7–29°C. Pada saat yang sama, nilai *Red*, *Green*, dan *Blue* juga mengalami perubahan. Perubahan nilai RGB tersebut menjadi parameter yang digunakan sistem untuk menentukan kondisi *silica gel*. Selama status gel masih menunjukkan Ungu (Basah), sistem mempertahankan *heater* dalam kondisi ON sehingga proses regenerasi terus berlangsung.

Penggunaan Timestamp pada *spreadsheet* memberikan keuntungan karena perubahan kondisi sistem dapat diketahui secara lebih detail berdasarkan waktu sebenarnya, bukan hanya berdasarkan interval pengujian. Misalnya, data pada *spreadsheet* tercatat dengan selang waktu beberapa detik, sehingga perubahan suhu dan nilai RGB selama proses pemanasan dapat diamati secara lebih rinci. Data tersebut juga dapat digunakan untuk mengetahui respons sistem ketika terjadi perubahan mode, perubahan status *heater* , maupun perubahan kondisi *silica gel*.

Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengirimkan data monitoring dari ESP32 ke Google *Spreadsheet* melalui koneksi internet. Informasi *Timestamp*, *Mode*, *Heater* , *Status Gel*, *Suhu*, *Red*, *Green*, dan *Blue* dapat digunakan untuk memantau kondisi sistem secara terstruktur. Data yang tersimpan juga dapat digunakan sebagai bahan analisis hubungan antara kenaikan suhu dengan perubahan warna *silica gel*. Dengan demikian, Google *Spreadsheet* berfungsi tidak hanya sebagai media monitoring jarak jauh, tetapi juga sebagai penyimpanan riwayat data (*data logger*) yang dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem regenerasi *silica gel*.

Berdasarkan hasil tersebut, integrasi ESP32 dengan Google *Spreadsheet* dapat dinyatakan berhasil, karena data sensor dan status sistem dapat dikirim dan dicatat secara otomatis. Monitoring ini mendukung sistem regenerasi otomatis dengan memberikan informasi kondisi alat secara *real-time* dan memungkinkan pengguna mengetahui apakah sistem sedang berada pada mode manual atau otomatis, apakah *heater* sedang bekerja, serta bagaimana perubahan suhu dan warna *silica gel* selama proses regenerasi.

5.1.6 Suhu Maksimal Pengujian *Trial and Error* Penentuan Suhu

Pengujian *trial and error* penentuan suhu maksimal dilakukan untuk mengetahui batas suhu pemanasan yang dapat digunakan dalam proses regenerasi *silica gel* tanpa menyebabkan perubahan kondisi fisik atau kerusakan pada *silica gel*. Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi suhu pemanasan secara bertahap, yaitu 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, dan 150°C. Setiap variasi suhu digunakan sebagai acuan untuk mengamati waktu yang diperlukan selama proses regenerasi serta kondisi fisik *silica gel* setelah proses pemanasan. Pada pengujian ini, *silica gel* yang digunakan berada dalam kondisi jenuh atau basah dengan warna awal ungu. Sensor TCS3200 digunakan untuk mendeteksi perubahan warna *silica gel* melalui nilai komponen warna R (*Red*), G (*Green*), dan B (*Blue*), sedangkan *thermocouple Type-K* yang terhubung dengan modul MAX6675 digunakan untuk mengukur suhu selama proses pemanasan. Data hasil pembacaan sensor diproses oleh ESP32 untuk mengetahui perubahan kondisi *silica gel* selama regenerasi.

Tabel 5.8 Pengujian *Trial and Error* Penentuan Suhu

No	Suhu	Waktu	Silica Gel Sebelum	Silica Gel Sesudah
1	100 °C	120 menit		

No	Suhu	Waktu	Silica Gel Sebelum	Silica Gel Sesudah
2	110 °C	108 menit		
3	120 °C	96 menit		
4	130 °C	84 menit		
5	140 °C	72 menit		
6	150 °C	60 menit		

Pada Tabel 5.8 Pengujian dilakukan untuk mengetahui pengaruh kenaikan suhu terhadap proses regenerasi. Pada suhu 100°C hingga 130°C, *silica gel* dapat mengalami proses regenerasi hingga berubah menjadi warna biru dengan kondisi fisik yang masih baik. Namun, pada suhu 140°C dan 150°C, meskipun waktu

regenerasi menjadi lebih singkat, *silica gel* mulai menunjukkan perubahan fisik berupa warna yang agak gosong dan kondisi butiran yang mulai rusak. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa suhu yang terlalu tinggi kurang sesuai untuk digunakan dalam proses regenerasi karena dapat mempercepat proses pemanasan tetapi berpotensi menurunkan kondisi fisik *silica gel*. Berdasarkan hasil *trial and error* tersebut, suhu 140°C dan 150°C tidak dipilih sebagai suhu operasi karena memberikan dampak yang kurang baik terhadap kondisi *silica gel*.

5.1.7 Pengujian dan Analisa Keseluruhan Sistem

Pengujian keseluruhan sistem dilakukan untuk mengetahui kemampuan *prototype* sistem regenerasi otomatis *silica gel* pada *dehydrating breather* transformator menggunakan ESP32 dan Blynk dalam menjalankan seluruh fungsi yang telah dirancang. Pengujian ini dilakukan setelah seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak terintegrasi, sehingga pengujian tidak hanya dilakukan terhadap masing-masing komponen, tetapi juga terhadap hubungan antara sensor suhu *thermocouple type - k*, modul MAX6675, sensor warna TCS3200, ESP32, relay, SCR dimmer, *heater*, LCD, indikator, Blynk, dan Google *Spreadsheet*. Tujuan utama pengujian adalah memastikan sistem mampu melakukan monitoring kondisi *silica gel*, menentukan kondisi jenuh atau normal, mengendalikan proses regenerasi, serta mengirimkan data monitoring secara otomatis.

Pada tahap awal, sistem diberikan catu daya dan dilakukan proses inisialisasi pada ESP32. Setelah sistem aktif, dilakukan pengecekan terhadap koneksi sensor dan perangkat keluaran. Sensor *thermocouple type - k* digunakan untuk membaca suhu ruang regenerasi melalui modul MAX6675, sedangkan sensor TCS3200 digunakan untuk membaca warna *silica gel* berdasarkan nilai *Red* (R), *Green* (G), dan *Blue* (B). Data dari kedua sensor kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan kondisi *silica gel*. Sistem juga membaca mode operasi berdasarkan push button, yaitu mode ON, OFF, dan otomatis. Setelah seluruh perangkat berhasil diinisialisasi, sistem mulai menjalankan proses monitoring dan pengendalian.

Pada kondisi awal ketika *silica gel* terdeteksi berwarna ungu atau basah, sistem mengidentifikasi *silica gel* sebagai kondisi jenuh. Pada mode otomatis, kondisi tersebut menyebabkan ESP32 memberikan perintah kepada relay untuk mengaktifkan *heater*. Daya *heater* kemudian dapat diatur menggunakan SCR Dimmer sesuai pengaturan yang telah ditentukan. *Heater* menghasilkan panas yang digunakan untuk mengurangi kandungan kelembapan pada *silica gel*. Selama proses berlangsung, *thermocouple type - k* secara terus-menerus mengukur perubahan suhu, sedangkan TCS3200 membaca perubahan karakteristik warna

silica gel. Data tersebut kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan perkembangan proses regenerasi.

Selama proses regenerasi berlangsung, data hasil pembacaan sensor ditampilkan melalui LCD I2C 20×4 sehingga kondisi sistem dapat diamati secara langsung. Selain itu, ESP32 mengirimkan data melalui koneksi Wi-Fi ke Blynk dan Google Spreadsheet. Data yang dikirimkan meliputi waktu (*timestamp*), mode operasi, status *heater*, kondisi *silica gel*, suhu, serta nilai R, G, dan B. Dengan demikian, pengguna dapat mengetahui kondisi sistem baik melalui tampilan lokal maupun melalui monitoring berbasis IoT.

Tabel 5.9 Pengujian Keseluruhan Sistem

NO	Parameter Yang Diuji	Kodisi Pengujian	Hasil Yang Diharapkan	Hasil
1	Catu daya	Sistem diberi supply	ESP32 dan komponen aktif	Berhasil
2	Thermocouple K + MAX6675	Membaca suhu ruang regenerasi	Suhu terbaca pada ESP32	Berhasil
3	TCS3200	Membaca warna <i>silica gel</i>	Nilai RGB dapat terbaca	Berhasil
4	Push button	Memilih mode ON/OFF/Otomatis	Mode berubah sesuai tombol	Berhasil
5	Relay	Sistem mendeteksi <i>silica gel</i> jenuh	Relay aktif	Berhasil
6	SCR Dimmer	<i>Heater</i> diberikan variasi daya	Suhu meningkat sesuai pengaturan	Berhasil
7	<i>Heater</i>	Relay dan dimmer aktif	<i>Heater</i> menghasilkan panas	Berhasil
8	LCD I2C 20×4	Sensor memberikan data	Data suhu dan kondisi tampil	Berhasil
9	Blynk	ESP32 terhubung Wi-Fi	Data monitoring tampi	Berhasil
10	Google Spreadsheet	Sistem mengirim data	Data tersimpan berdasarkan timestamp	Berhasil

NO	Parameter Yang Diuji	Kodisi Pengujian	Hasil Yang Diharapkan	Hasil
11	Regenerasi otomatis	<i>Silica gel</i> jenuh	<i>Heater</i> ON dan regenerasi berlangsung	Berhasil
12	Akhir regenerasi	<i>Silica gel</i> berubah biru/kering	<i>Heater</i> OFF	Berhasil

Tabel 5.8 merupakan pengujian keseluruhan .Berdasarkan pengujian keseluruhan, sistem dapat menjalankan proses regenerasi secara berurutan mulai dari pembacaan kondisi awal *silica gel*, pengaktifan *heater* , pemantauan suhu, pemantauan perubahan warna, hingga penghentian *heater* . Ketika *silica gel* masih berwarna ungu yang menunjukkan kondisi basah atau jenuh, sistem otomatis mempertahankan *heater* dalam keadaan ON. Selama pemanasan, suhu mengalami peningkatan dan nilai RGB dari sensor TCS3200 mengalami perubahan. Ketika sensor mendeteksi perubahan warna menjadi biru yang menunjukkan kondisi kering atau normal, ESP32 memberikan perintah untuk mematikan relay sehingga *heater* berhenti bekerja.

Hasil ini sesuai dengan pengujian regenerasi sebelumnya, yaitu pada awal proses *silica gel* berada pada kondisi ungu (basah) dengan suhu sekitar 28°C dan *heater* dalam kondisi ON. Setelah proses pemanasan berlangsung, suhu meningkat secara bertahap hingga sekitar 126°C pada menit ke-80. Pada kondisi tersebut, sensor TCS3200 mendeteksi perubahan warna menjadi biru (kering) sehingga sistem mengubah status *silica gel* menjadi normal dan *heater* menjadi OFF. Hal ini menunjukkan bahwa sensor warna dapat digunakan sebagai parameter untuk menentukan akhir proses regenerasi.

Dari sisi pengukuran suhu, hasil pengujian *thernocouple type - k* menunjukkan rata-rata selisih terhadap thermometer sebesar sekitar 0,84°C dengan rata-rata persentase error sekitar 2,02%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sensor suhu dapat digunakan untuk memantau temperatur selama proses regenerasi. Sementara itu, pengujian SCR Dimmer menunjukkan bahwa perubahan tingkat dimmer memengaruhi kecepatan peningkatan suhu *heater* . Pada pengaturan 25%, pemanasan berlangsung lebih lambat, sedangkan pada pengaturan 50% dan 75% kenaikan suhu berlangsung lebih cepat.

Pada bagian monitoring, sistem berhasil mengirimkan data ke Google Spreadsheet secara berkala. Data yang tersimpan meliputi *timestamp*, mode, *heater*, status gel, suhu, serta nilai RGB. Data tersebut dapat digunakan untuk mengetahui perubahan kondisi sistem berdasarkan waktu. Selain itu, integrasi dengan Blynk memungkinkan kondisi sistem dipantau secara jarak jauh melalui perangkat yang terhubung ke internet.