

BAB IV

PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Pengujian Kinerja Sistem Monitoring Massa

Pengujian sistem monitoring massa dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam membaca massa bahan menggunakan empat buah *load cell* yang terhubung dengan modul HX711. Pada sistem yang dikembangkan, hasil pembacaan keempat *load cell* diolah oleh ESP32 menjadi massa total, kemudian diproses menggunakan metode *Simple Moving Average* (SMA) dengan jendela 10 sampel. Nilai hasil SMA digunakan sebagai nilai massa aktual yang ditampilkan dan diperbarui selama proses pengeringan berlangsung. Mekanisme tersebut sesuai dengan rancangan sistem, yaitu pembacaan massa dilakukan secara kontinu untuk mendukung monitoring massa dan perhitungan susut bobot secara *real-time*.

Secara keseluruhan, pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja monitoring massa, pengolahan data menggunakan *Simple Moving Average* (SMA), monitoring susut bobot, serta kontrol kelembapan. Setiap pengujian dievaluasi berdasarkan tujuan dan kriteria keberhasilan masing-masing..

Pengujian ini dilakukan dalam dua tahap. Tahap pertama bertujuan mengevaluasi akurasi pembacaan massa dengan membandingkan nilai hasil sistem terhadap timbangan referensi. Tahap kedua digunakan untuk mengetahui pengaruh penerapan SMA terhadap fluktuasi pembacaan massa.

4.1.1 Pengujian Akurasi Pembacaan Load Cell

Pengujian akurasi dilakukan untuk mengetahui kedekatan hasil pembacaan sistem terhadap massa referensi. Sebelum pengujian dimulai, sistem terlebih dahulu melakukan proses tare pada kondisi tray tanpa beban. Setelah titik nol diperoleh, beban referensi diletakkan pada tray dan nilai massa hasil pembacaan sistem dicatat.

Pengujian dilakukan menggunakan lima variasi massa referensi, yaitu 100 gram, 250 gram, 500 gram, 750 gram, dan 1000 gram. Setiap variasi massa diuji sebanyak lima kali sehingga secara keseluruhan diperoleh 25 data pembacaan. Pengulangan dilakukan untuk melihat konsistensi hasil pembacaan pada beban yang sama. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Pembacaan Massa terhadap Timbangan referensi

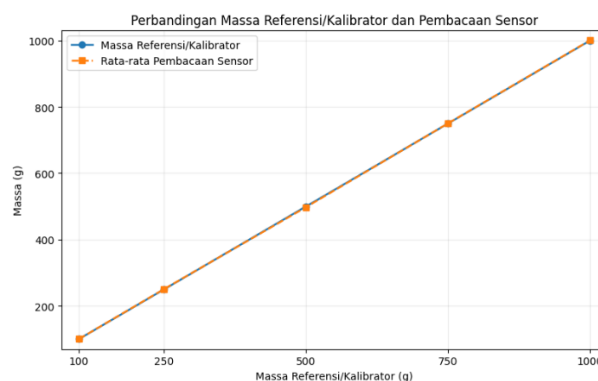
Massa referensi (gram)	Uji 1 (gram)	Uji 2 (gram)	Uji 3 (gram)	Uji 4 (gram)	Uji 5 (gram)	Rata-rata (gram)
100	101,30	101,20	99,20	99,10	100,00	100,16
250	251,20	250,30	251,10	251,80	250,40	250,96
500	497,00	496,70	498,60	497,90	499,00	497,84
750	750,70	752,40	749,30	750,30	749,50	750,44
1.000	1000,20	1001,80	1000,90	1000,90	999,40	1000,64

Berdasarkan Tabel 4.1, rata-rata pembacaan sistem pada massa referensi 100 gram, 250 gram, 500 gram, 750 gram, dan 1000 gram masing-masing sebesar 100,16 gram, 250,96 gram, 497,84 gram, 750,44 gram, dan 1000,64 gram. Hasil tersebut menunjukkan bahwa nilai rata-rata pembacaan berada di sekitar massa referensi pada seluruh variasi beban yang diuji. Meskipun demikian, terdapat selisih pada setiap titik pengujian sehingga diperlukan evaluasi menggunakan persentase *error*, akurasi, standar deviasi, MAE, dan RMSE

Tabel 4.2 Hasil Analisis Kinerja Pembacaan Massa

Massa Referensi (g)	Rata-rata Sensor (g)	Rata-rata Error (%)	Rata-rata Akurasi (%)	Standar Deviasi (g)	MAE (g)	RMSE (g)
100	100,16	0,16	99,840	1,055	0,84	0,957
250	250,96	0,38	99,616	0,618	0,96	1,108
500	497,84	0,43	99,568	0,991	2,16	2,335
750	750,44	0,05	99,941	1,2361	0,92	1,190
1000	1000,64	0,06	99,936	0,8961	0,88	1,025

Berdasarkan Tabel 4.2, nilai *error* berada pada rentang 0,05% hingga 0,43%, sedangkan akurasi berada pada rentang 99,568% hingga 99,941%. Rata-rata akurasi sistem pada seluruh variasi massa sebesar 99,78%. Nilai *error* terbesar diperoleh pada massa referensi 500 gram sebesar 0,43%, sedangkan *error* terkecil terdapat pada massa 750 gram sebesar 0,05%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa besar penyimpangan tidak sama pada setiap variasi beban.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Massa Referensi/Kalibrator dan Pembacaan Sensor

Berdasarkan Gambar 4.1, hasil pembacaan *load cell* memiliki pola yang mengikuti perubahan massa referensi. Kedua garis berada pada posisi yang berdekatan pada seluruh titik pengujian. Selisih yang paling terlihat terdapat pada massa referensi 500 gram, ketika rata-rata pembacaan sensor sebesar 497,84 gram. Kondisi tersebut sejalan dengan hasil perhitungan pada Tabel 4.2 yang menunjukkan bahwa pengujian pada massa 500 gram memiliki nilai *error* paling besar dibandingkan variasi massa lainnya.

Evaluasi keseluruhan data dilakukan menggunakan MAE dan RMSE dengan mengacu pada persamaan yang telah dijelaskan pada BAB II. Dari keseluruhan pengujian diperoleh nilai MAE sebesar 1,152 gram dan RMSE sebesar 1,419 gram. Nilai MAE menunjukkan bahwa secara rata-rata hasil pembacaan sistem memiliki penyimpangan absolut sebesar 1,152 gram terhadap massa referensi. Sementara itu, nilai RMSE yang lebih besar daripada MAE menunjukkan adanya beberapa pembacaan dengan penyimpangan yang lebih tinggi dibandingkan kesalahan rata-rata. Selain ketepatan pembacaan, hasil pengulangan juga menunjukkan adanya variasi pada beban yang sama. Standar deviasi pada lima variasi massa berada pada kisaran 0,618 g hingga 1,2361 g. Variasi tersebut menunjukkan bahwa pembacaan *load cell* belum sepenuhnya konstan meskipun massa yang diberikan tetap. Kondisi ini perlu diperhatikan karena sensor digunakan untuk monitoring secara kontinu selama proses pengeringan.

Nilai *error* digunakan untuk menunjukkan besarnya penyimpangan hasil pembacaan terhadap massa referensi, sedangkan akurasi menunjukkan tingkat kedekatan hasil pengukuran sistem terhadap nilai referensi. Berdasarkan Tabel 4.2, rata-rata akurasi sistem pada rentang pengujian 100–1000 g sebesar 99,78%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa secara umum pembacaan massa memiliki penyimpangan yang kecil terhadap nilai referensi pada rentang massa yang diuji. Kondisi ini penting karena nilai massa yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai data monitoring selama proses pengeringan dan sebagai masukan dalam perhitungan susut bobot.

Selain ketepatan terhadap nilai referensi, konsistensi pembacaan diamati melalui standar deviasi. Standar deviasi menunjukkan tingkat penyebaran hasil pengukuran dari beberapa kali pengulangan pada massa yang sama. Semakin kecil standar deviasi, semakin rapat penyebaran data terhadap nilai rata-ratanya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa masih terdapat variasi pembacaan pada setiap massa referensi. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun hasil pengukuran telah mendekati massa referensi, pembacaan *load cell* tetap mengalami fluktuasi

yang perlu diperhatikan ketika sensor digunakan untuk monitoring secara kontinu.

Kinerja pembacaan massa juga dianalisis menggunakan MAE dan RMSE. MAE menunjukkan rata-rata besar kesalahan absolut antara hasil pembacaan sistem dengan massa referensi tanpa memperhatikan arah kesalahannya. Dari keseluruhan data pengujian diperoleh MAE sebesar 1,152 g. Nilai tersebut menunjukkan bahwa secara rata-rata besar penyimpangan pembacaan sistem terhadap massa referensi adalah sekitar 1,152 g.

Sementara itu, RMSE digunakan untuk mengevaluasi besarnya error dengan memberikan pengaruh yang lebih besar terhadap pembacaan yang memiliki penyimpangan lebih tinggi. Nilai RMSE keseluruhan sebesar 1,419 g lebih besar dibandingkan MAE sebesar 1,152 g. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa terdapat beberapa hasil pembacaan dengan penyimpangan yang lebih besar dibandingkan *error* rata-rata, tetapi penyimpangan tersebut tidak menyebabkan nilai RMSE meningkat jauh dari MAE.

Berdasarkan parameter akurasi, MAE, dan RMSE tersebut, hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan data massa yang mendekati massa referensi pada rentang pengujian 100-1000 g dengan rata-rata penyimpangan absolut yang relatif kecil dibandingkan rentang massa yang dimonitor. Dengan demikian, hasil pengujian Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 mendukung penggunaan data hasil pembacaan *load cell* sebagai data monitoring massa pada *chilli dehydrator*.

Meskipun demikian, hasil pengulangan pada Tabel 4.1 masih menunjukkan adanya variasi pembacaan. Pada sistem yang dikembangkan, massa tidak hanya dibaca pada satu waktu, tetapi dimonitor secara kontinu selama proses pengeringan. Fluktuasi pembacaan tersebut dapat menyebabkan nilai massa yang ditampilkan berubah meskipun perubahan massa aktual relatif kecil. Oleh karena itu, setelah ketepatan pembacaan terhadap massa referensi dievaluasi melalui Tabel 4.1 dan Tabel 4.2, pengujian selanjutnya dilakukan untuk mengevaluasi kestabilan data monitoring melalui penerapan *Simple Moving Average* (SMA) 10 sampel yang dibahas pada Tabel 4.3.

4.1.2 Pengujian *Simple Moving Average*

Pengujian Simple Moving Average (SMA) dilakukan untuk mengetahui pengaruh proses filtering terhadap kestabilan pembacaan massa. Pengujian menggunakan beban referensi sebesar 500 gram dengan membandingkan nilai raw/gross weight sebelum filtering terhadap hasil SMA dengan window 10 sampel. Data hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Perbandingan Data Raw dan Hasil SMA 10 Sampel

Sampel	Raw/Gross Weight (g)	SMA 10 Sampel (g)
1	0,26	-
2	105,08	-
3	502,31	-
4	503,20	-
5	503,28	-
6	502,61	-
7	502,15	-
8	502,32	-
9	502,38	-
10	502,37	412,60
11	502,31	462,80
12	502,23	502,52
13	502,11	502,50
14	502,33	502,41
15	501,85	502,27
16	502,19	502,22
17	502,07	502,22
18	502,17	502,20
19	501,44	502,11
20	502,12	502,01

Pada sampel ke-1 sampai ke-9, nilai SMA belum digunakan sebagai keluaran karena jumlah data belum memenuhi satu *window* sebanyak 10 sampel. Ketika sampel ke-10 diperoleh, nilai SMA mulai dapat dihitung dari 10 data terakhir. Hasil SMA pada sampel ke-10 sebesar 412,60 gram belum merepresentasikan kondisi beban 500 gram karena *window* masih memuat data awal sebesar 0,26 gram dan 105,08 gram.

Pada sampel berikutnya, data kondisi awal secara bertahap keluar dari *window* dan digantikan dengan data terbaru. Nilai SMA pada sampel ke-11 meningkat menjadi 462,80 gram. Mulai sampel ke-12, ketika data awal tidak lagi mendominasi *window*, hasil SMA berada di sekitar 502 gram dan berubah secara lebih bertahap hingga mencapai 502,01 gram pada sampel ke-20. Kondisi tersebut menunjukkan adanya fase transisi pada awal pengisian *window* sebelum keluaran SMA merepresentasikan pembacaan massa yang sedang diamati.

Untuk mengevaluasi kestabilan setelah fase awal *window* terlewati, perbandingan dilakukan pada sampel ke-12 sampai ke-20. Pada rentang tersebut, standar deviasi data *raw/gross weight* sebesar sekitar 0,266 gram, sedangkan standar deviasi hasil SMA sebesar sekitar 0,172 gram. Nilai tersebut menunjukkan penurunan penyebaran data sekitar 35,12% setelah penerapan SMA. Dengan demikian, hasil *filtering* memiliki variasi yang lebih kecil dibandingkan pembacaan sebelum *filtering* pada kondisi *window* yang telah terisi secara normal.

Penerapan SMA pada penelitian ini tidak ditujukan untuk memperbaiki kesalahan kalibrasi *load cell*, melainkan untuk mengurangi fluktuasi pembacaan selama monitoring kontinu. Oleh karena itu, pengujian akurasi dan pengujian SMA memiliki fungsi evaluasi yang berbeda. Pengujian akurasi digunakan untuk melihat kedekatan hasil pembacaan terhadap massa referensi, sedangkan SMA digunakan untuk meningkatkan kestabilan nilai yang digunakan selama monitoring.

4.2 Pengujian Sistem Monitoring Susut Bobot secara *Real-Time*

Pengujian sistem monitoring susut bobot dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengolah perubahan massa cabai menjadi informasi persentase susut bobot (*mass loss*) secara *real-time* selama proses pengeringan. Nilai massa yang digunakan merupakan hasil pembacaan empat *load cell* yang telah melalui proses tare, kalibrasi, penjumlahan massa total, dan *filtering* menggunakan *Simple Moving Average* (SMA). Nilai hasil pengolahan tersebut.

Pada awal proses, sistem menyimpan massa awal sebagai nilai acuan. Selama pengeringan berlangsung, massa aktual terus diperbarui berdasarkan hasil pembacaan *load cell*. Persentase susut bobot dihitung dengan mengacu pada Persamaan (2.3) yang telah dijelaskan pada BAB II. Nilai susut bobot sebesar 87,2% digunakan sebagai *set point* penghentian pemanasan. Ketika nilai susut bobot mencapai atau melebihi *set point*, sistem memberikan perintah untuk menonaktifkan heater. Nilai susut bobot sebesar 87,2% digunakan sebagai *set point* penghentian pemanasan berdasarkan nilai acuan yang telah ditetapkan dalam penelitian. Ketika hasil perhitungan sistem mencapai atau melebihi nilai tersebut, ESP32 memberikan perintah untuk menonaktifkan *heater*. Pengujian dilakukan melalui dua tahap. Tahap pertama digunakan untuk mengamati perubahan massa dan persentase susut bobot terhadap waktu selama proses pengeringan. Tahap kedua dilakukan untuk memvalidasi hasil perhitungan susut bobot sistem terhadap perhitungan manual sekaligus mengevaluasi respons heater ketika nilai susut bobot mencapai *set point*. Pengujian ini meliputi pengamatan perubahan massa dan susut bobot terhadap waktu, validasi perhitungan susut bobot oleh sistem, serta pengujian respons penghentian *heater* ketika *set point* susut bobot tercapai.

4.2.1 Pengujian Monitoring Perubahan Massa dan Susut Bobot terhadap Waktu

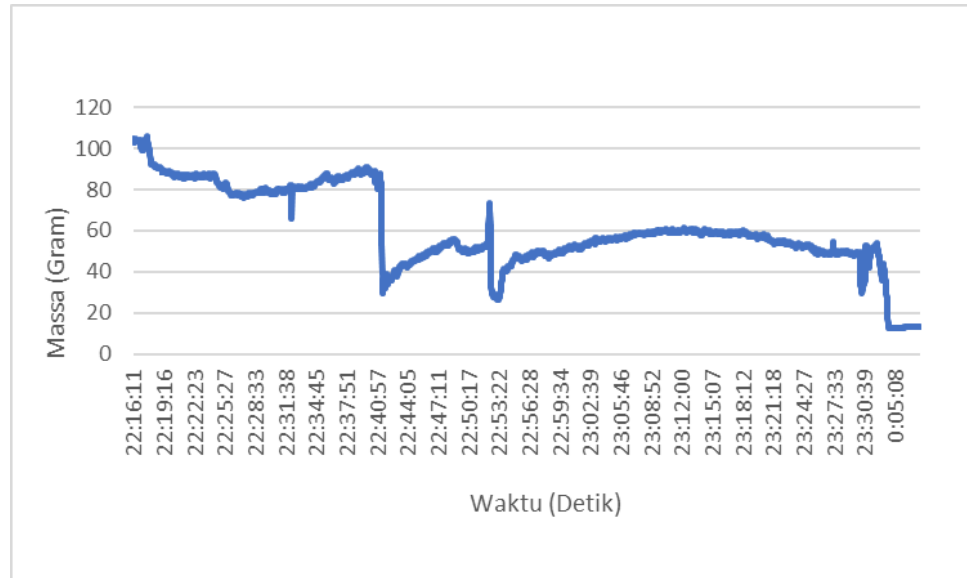
Pengujian dilakukan dengan menempatkan cabai pada tray setelah proses *tare* selesai dilakukan. Massa awal bahan kemudian disimpan oleh sistem sebagai nilai acuan dalam perhitungan susut bobot. Selama proses pengeringan, massa aktual dipantau secara kontinu dan digunakan untuk memperbarui nilai persentase susut bobot. Hasil monitoring massa dan susut bobot ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil monitoring massa 100 Gram dan Susut Bobot secara *Real Time*

Waktu Pengeringan (Jam)	Massa Awal (g)	Massa Aktual (g)	Massa Berkurang (g)	Susut Bobot (%)	Kondisi Heater
0	100,00	103,8	0,00	0,00	OFF
1	100,00	57,7	45,6	44,14	ON
2	100,00	12,95	90,35	87,45	ON
3	100,00	13,12	90,18	87,29	ON
4	100,00	13,20	90,10	87,20	OFF

Berdasarkan Tabel 4.4, massa aktual cabai secara umum mengalami penurunan selama empat jam proses pengeringan. Pada awal pengujian, massa aktual tercatat sebesar 103,8gram dengan persentase susut bobot 0%. Setelah satu jam pengeringan, massa aktual menurun menjadi 57,7gram dengan massa berkurang sebesar 45,6gram dan persentase susut bobot sebesar 44,14%. Pada kondisi tersebut, heater berada dalam keadaan ON. Pada jam kedua, massa aktual kembali menurun menjadi 12,95gram dengan massa berkurang sebesar 90,35 gram. Persentase susut bobot yang tercatat sebesar 87,45% dan heater masih berada dalam kondisi ON. Pada jam ketiga, massa aktual tercatat sebesar 13,12gram dengan persentase susut bobot sebesar 87,29%, sedangkan heater tetap berada dalam kondisi ON. Pada jam keempat, massa aktual tercatat sebesar 13,20 gram dengan massa berkurang sebesar 90,10 gram dan persentase susut bobot sebesar 87,20%. Pada titik tersebut, status heater tercatat berubah menjadi OFF. Berdasarkan keseluruhan data pada tabel, penurunan massa paling besar

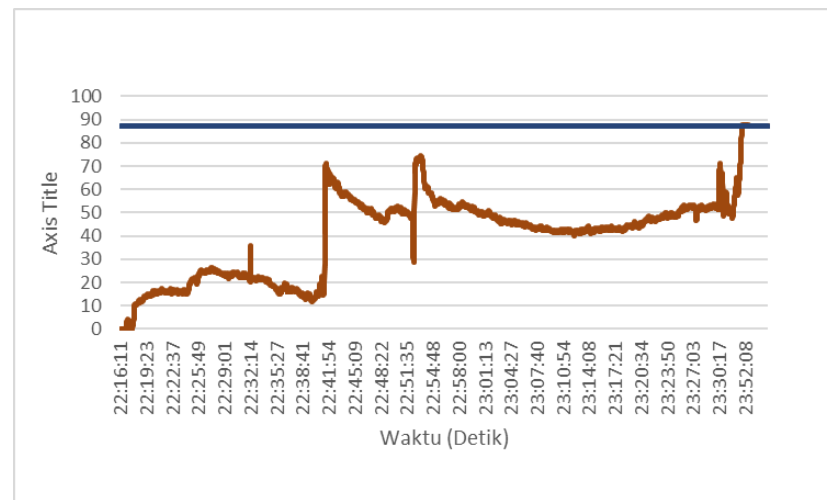
terjadi pada tahap awal hingga jam kedua, sedangkan pada jam berikutnya massa aktual berada pada kisaran 12,95–13,20 gram.



Gambar 4.2 Grafik Massa aktual terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.2 dan data pada Tabel 4.4, massa aktual menunjukkan kecenderungan menurun selama proses pengeringan. Penurunan terbesar terjadi dari awal pengujian hingga jam kedua, yaitu dari 103,8 gram menjadi 12,95 gram. Setelah itu, perubahan massa relatif kecil dengan pembacaan sebesar 13,12 gram pada jam ketiga dan 13,20 gram pada jam keempat.

Data tersebut menunjukkan bahwa penurunan massa berlangsung lebih besar pada tahap awal pengeringan, sedangkan pada tahap akhir perubahan massa menjadi lebih kecil. Terdapat sedikit kenaikan pembacaan dari 12,95 gram menjadi 13,12 gram dan 13,20 gram. Namun, secara keseluruhan massa akhir masih jauh lebih rendah dibandingkan massa pada awal pengujian



Gambar 4.3 Grafik pada persentase susut bobot terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.3 dan Tabel 4.4, persentase susut bobot meningkat dari 0% pada awal pengujian menjadi 44,14% pada jam pertama. Pada jam kedua, persentase susut bobot meningkat menjadi 87,45%. Selanjutnya, nilai tersebut mengalami sedikit penurunan menjadi 87,29% pada jam ketiga dan 87,20% pada jam keempat. Perubahan persentase susut bobot mengikuti perubahan massa aktual yang dibaca oleh sistem. Ketika massa aktual mengalami penurunan, persentase susut bobot meningkat. Sebaliknya, kenaikan kecil massa aktual dari 12,95 gram menjadi 13,12 gram dan 13,20 gram diikuti oleh penurunan persentase susut bobot dari 87,45% menjadi 87,29% dan 87,20%. Pada akhir pengamatan, persentase susut bobot tercatat sebesar 87,20% dan heater berada dalam kondisi OFF. Kesesuaian hasil perhitungan susut bobot sistem terhadap perhitungan manual serta respons heater selanjutnya divalidasi pada Subbab 4.2.2.

4.3 Pengujian Kendali Kelembapan *On-Off Hysteresis*

Pengujian sistem kendali kelembapan dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengendalikan *exhaust fan* berdasarkan nilai kelembapan relatif atau *relative humidity* (RH) yang dibaca oleh sensor DHT22. Data kelembapan diproses oleh ESP32 dan dibandingkan dengan dua nilai batas kendali, yaitu batas aktivasi *fan* dan batas deaktivasi *fan*.

Metode kendali yang digunakan adalah ON-OFF *hysteresis*. Exhaust fan berada pada kondisi ON ketika nilai RH mencapai atau melebihi batas atas sebesar 20%. Ketika RH mencapai atau berada di bawah batas bawah sebesar 16%, fan berada pada kondisi OFF. Sementara itu, ketika RH berada pada rentang $16\% < RH < 20\%$, status fan dipertahankan berdasarkan kondisi sebelumnya (*last state*). Pengujian dilakukan melalui pengujian kesesuaian logika ON-OFF *hysteresis*, pengamatan respons exhaust fan selama proses pengeringan, serta evaluasi perubahan status fan selama periode pengamatan.

4.3.1 Pengujian Logika On-Off Hysteresis

Pengujian logika ON-OFF *hysteresis* dilakukan untuk mengetahui kesesuaian antara status exhaust fan yang seharusnya berdasarkan nilai RH dan status fan yang dihasilkan oleh sistem. Pada pengujian ini diamati nilai RH, status fan sebelumnya, status yang seharusnya berdasarkan logika kendali, dan status fan aktual. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Hasil pengujian logika kontrol *On-Off Hysteresis*

No.	RH (%RH)	Status Fan Sebelumnya	Status Seharusnya	Status Aktual	Hasil
1	61,3	On	On	On	Sesuai / Pass
2	22,5	Off	On	On	Sesuai / Pass
3	20,7	On	On	On	Sesuai / Pass
4	19,8	On	On	On	Sesuai / Pass
5	18,9	On	On	On	Sesuai / Pass
6	16,6	On	On	On	Sesuai / Pass
7	16,49	On	On	Off	Tidak Sesuai
8	16,46	Off	Off	Off	Sesuai / Pass
9	16,41	Off	Off	Off	Sesuai / Pass
10	16,36	Off	Off	Off	Sesuai / Pass

Berdasarkan Tabel 4.6, pengujian dilakukan pada 10 kondisi nilai RH. Dari seluruh pengujian tersebut, sebanyak 9 kondisi menunjukkan kesesuaian antara status fan aktual dan status yang seharusnya, sedangkan 1 kondisi menunjukkan hasil yang tidak sesuai.

Pada pengujian pertama hingga ketiga, nilai RH berada pada atau di atas batas aktivasi 20%. Status fan aktual tercatat ON sehingga sesuai dengan logika kendali yang diterapkan. Ketika nilai RH turun menjadi 19,8%, 18,9%, dan 16,6%, fan tetap berada pada kondisi ON. Kondisi tersebut sesuai karena nilai RH masih berada pada daerah *hysteresis* dan status fan sebelumnya adalah ON. Ketidaksesuaian terjadi pada pengujian ke-7 ketika nilai RH sebesar 16,49%. Ketidaksesuaian pada pengujian ke-7 perlu diperhatikan karena perubahan status fan menjadi OFF terjadi ketika nilai RH yang tercatat masih sebesar 16,49%, atau belum mencapai batas bawah 16%. Dengan demikian, perubahan status tersebut tidak dapat dinyatakan sebagai respons normal akibat tercapainya batas deaktivasi fan. Berdasarkan data pengujian yang tersedia, penyebab pasti perubahan status tersebut belum dapat ditentukan. Salah satu kemungkinan yang dapat memengaruhi perbedaan tersebut adalah adanya selang waktu antara pembacaan sensor, pemrosesan logika pada ESP32, dan pencatatan data pada tabel. Data respons fan selama pengeringan dicatat pada interval 15 menit, sehingga nilai RH yang tercatat pada tabel belum tentu merupakan nilai tepat pada saat perubahan status fan terjadi. Selain itu, fluktuasi pembacaan DHT22 di sekitar batas bawah juga dapat menyebabkan nilai yang diproses sistem berbeda dengan nilai yang tercatat pada saat pengamatan

Pada kondisi tersebut, status fan sebelumnya adalah ON dan nilai RH masih berada di atas batas bawah 16%. Berdasarkan logika *last state*, fan seharusnya tetap ON, tetapi status aktual yang tercatat adalah OFF. Oleh karena itu, kondisi tersebut dinyatakan tidak sesuai. Pada pengujian ke-8 hingga ke-10, nilai RH masih berada pada rentang *hysteresis*, tetapi status fan sebelumnya telah OFF. Berdasarkan prinsip *last state*, fan tetap mempertahankan kondisi OFF sehingga hasil aktual sesuai dengan status yang diharapkan.

Secara keseluruhan, dari 10 kondisi pengujian diperoleh 9 kondisi sesuai dan 1 kondisi tidak sesuai, sehingga tingkat kesesuaian logika ON-OFF *hysteresis* sebesar 90%. Ketidaksesuaian pada satu kondisi menunjukkan bahwa evaluasi sistem tidak hanya perlu memperhatikan nilai RH yang tercatat, tetapi

juga waktu terjadinya perubahan status fan dan nilai RH aktual pada saat *switching*.

4.3.2 Respons Exhaust Fan terhadap Perubahan Kelembapan selama Pengeringan

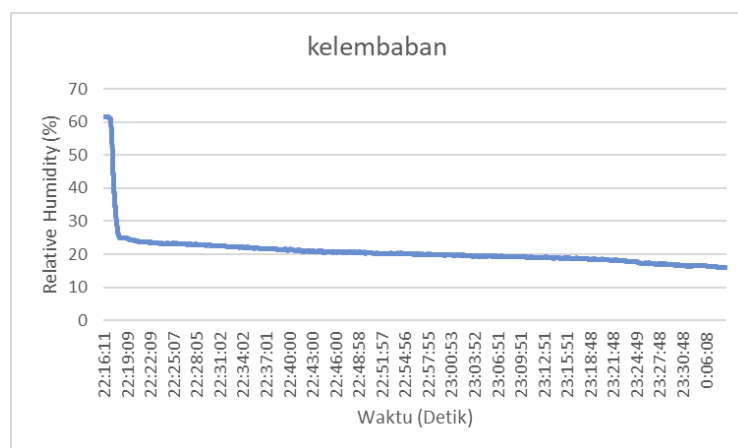
Setelah kesesuaian logika kendali diuji, pengujian dilanjutkan dengan mengamati respons *exhaust fan* selama proses pengeringan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui hubungan antara perubahan RH terhadap waktu dan kondisi fan pada saat sistem bekerja. Data RH dan status fan dicatat pada interval 15 menit sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.6 Respons Exhaust Fan selama pengeringan

Waktu (Menit)	RH (%RH)	Status Fan
0	61,3	On
15	22,5	On
30	20,7	On
45	19,8	On
60	18,9	On
75	16,6	On
90	16,49	Off
105	16,46	Off
120	16,41	Off
135	16,36	Off
150	16,29	Off
165	16,22	Off
180	16,15	Off
195	16,09	Off
210	16,05	Off
225	16,05	Off
240	16,05	Off

Berdasarkan Tabel 4.7, nilai RH pada awal pengeringan tercatat sebesar 61,3% dan *exhaust fan* berada dalam kondisi ON. Setelah 15 menit, nilai RH menurun menjadi 22,5% dan fan tetap ON. Pada menit ke-30, RH kembali menurun menjadi 20,7% dengan kondisi fan yang masih tetap ON. Kondisi tersebut sesuai dengan logika kendali karena nilai RH masih berada pada atau di atas batas aktivasi 20%. Pada menit ke-45, nilai RH turun menjadi 19,8%, kemudian menjadi 18,9% pada menit ke-60 dan 16,6% pada menit ke-75. Meskipun nilai RH telah berada di bawah batas aktivasi 20%, fan tetap dalam kondisi ON. Kondisi ini sesuai dengan prinsip *last state* pada metode ON-OFF *hysteresis*, karena nilai RH masih berada di antara batas atas 20% dan batas bawah 16% serta kondisi fan sebelumnya adalah ON.

Pada menit ke-90, status fan tercatat berubah dari ON menjadi OFF ketika nilai RH sebesar 16,49%. Nilai tersebut masih berada di atas batas bawah 16%, sehingga perubahan status *fan* pada titik ini tidak dapat dinyatakan sebagai respons normal akibat tercapainya batas deaktivasi. Setelah status fan berubah menjadi OFF, fan mempertahankan kondisi tersebut hingga akhir pengamatan. Nilai RH menurun secara bertahap dari 16,46% pada menit ke-105 menjadi 16,05% pada menit ke-210 dan tetap sebesar 16,05% hingga menit ke-240. Meskipun nilai RH masih berada sedikit di atas batas bawah 16%, kondisi fan yang tetap OFF setelah menit ke-90 sesuai dengan karakteristik *last state*, yaitu aktuatur mempertahankan status sebelumnya selama nilai RH masih berada di daerah *hysteresis*.



Gambar 4.4 Grafik RH terhadap waktu

Berdasarkan Gambar 4.4, nilai RH secara keseluruhan menunjukkan kecenderungan menurun selama periode pengamatan. Penurunan paling besar terjadi pada tahap awal, yaitu dari 61,3% pada menit ke-0 menjadi 22,5% pada menit ke-15. Setelah itu, penurunan berlangsung lebih bertahap hingga nilai RH mendekati 16% pada akhir pengamatan. Garis batas atas 20% dan batas bawah 16% pada grafik menunjukkan daerah kerja *hysteresis*. Ketika RH masih berada di atas 20%, fan berada dalam kondisi ON. Setelah RH turun melewati batas atas dan memasuki rentang 16–20%, fan tidak langsung berubah menjadi OFF, tetapi tetap mempertahankan kondisi sebelumnya. Pola tersebut terlihat pada menit ke-45 hingga menit ke-75 ketika RH berubah dari 19,8% menjadi 16,6% dan fan tetap ON.

Data tersebut menunjukkan bahwa keberadaan dua batas kendali dapat mencegah fan langsung berubah status setiap kali RH melewati batas atas 20%. Namun, perubahan fan menjadi OFF pada RH 16,49% menunjukkan satu kondisi yang tidak sesuai dengan batas bawah yang ditetapkan sebesar 16%. Oleh karena itu, hasil pengujian menunjukkan bahwa fungsi *last state* dapat diamati selama sebagian besar proses, tetapi masih terdapat satu kejadian *switching* yang tidak sesuai dengan logika yang dirancang.

4.3.3 Evaluasi Switching Exhaust Fan

Evaluasi *switching* dilakukan untuk mengetahui jumlah perubahan status *exhaust fan* selama periode pengeringan. Berbeda dengan Subbab 4.3.2 yang membahas respons fan terhadap perubahan RH, bagian ini difokuskan pada perubahan status aktuator dari ON menjadi OFF atau sebaliknya. Hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Hasil evaluasi *switching exhaust fan*

Waktu (Menit)	RH (%RH)	Status Fan	Event	Jumlah <i>Switching</i>
0	61,3	On	On	0
15	22,5	On	On	0
30	20,7	On	On	0
45	19,8	On	On	0
60	18,9	On	On	0
75	16,6	On	On	0
90	16,49	Off	On >Off	1
105	16,46	Off	Off	1
120	16,41	Off	Off	1
135	16,36	Off	Off	1
150	16,29	Off	Off	1
165	16,22	Off	Off	1
180	16,15	Off	Off	1
195	16,09	Off	Off	1
210	16,05	Off	Off	1
225	16,05	Off	Off	1
240	16,05	Off	Off	1

Berdasarkan Tabel 4.8, selama periode pengamatan 240 menit hanya terdapat satu kali perubahan status *exhaust fan*. Pada menit ke-0 hingga menit ke-75, fan tetap berada dalam kondisi ON meskipun nilai RH telah turun dari 61,3% menjadi 16,6%. Ketika RH berada pada rentang 16–20%, fan tetap mempertahankan kondisi sebelumnya sehingga tidak terjadi perubahan status secara berulang. Perubahan status pertama tercatat pada menit ke-90, ketika fan berubah dari ON menjadi OFF pada nilai RH sebesar 16,49%. Setelah perubahan tersebut, fan tetap berada dalam kondisi OFF hingga akhir pengamatan pada menit ke-240. Dengan demikian, jumlah *switching* yang tercatat selama pengujian adalah satu kali. Meskipun hanya terjadi satu kali *switching*, perubahan ON menjadi OFF pada RH 16,49% tidak dapat dinyatakan

sebagai respons yang sesuai terhadap batas bawah 16%, karena nilai RH pada saat pencatatan masih berada di atas batas tersebut.

Setelah *fan* berada dalam kondisi OFF, tidak ditemukan perubahan status ON–OFF secara berulang hingga akhir pengamatan. Data tersebut menunjukkan bahwa status aktuator dapat dipertahankan ketika nilai RH berada di daerah *hysteresis*. Namun, hasil pengujian ini tidak digunakan untuk menyatakan bahwa metode *hysteresis* terbukti mengurangi jumlah *switching* dibandingkan sistem tanpa *hysteresis*, karena penelitian tidak melakukan pengujian pembandingan tanpa metode tersebut.

Selain pola *switching* aktuator, hasil pengendalian kelembapan juga berkaitan dengan nilai RH yang dibaca oleh sensor DHT22. Nilai tersebut digunakan sebagai masukan langsung oleh ESP32 dalam menentukan kondisi *exhaust fan*. Oleh karena itu, perubahan pada hasil pembacaan sensor akan memengaruhi nilai yang digunakan dalam proses pengambilan keputusan kendali.

Posisi DHT22 di dalam ruang pengering juga perlu diperhatikan karena nilai RH yang diperoleh merepresentasikan kondisi udara pada titik penempatan sensor. Uap air yang dilepaskan selama proses pengeringan tidak selalu terdistribusi secara merata di seluruh ruang, sedangkan aliran udara dari *exhaust fan* dapat menyebabkan kondisi udara di sekitar sensor berbeda dengan bagian lainnya. Dengan demikian, nilai RH yang digunakan sistem merupakan kondisi kelembapan pada lokasi sensor ditempatkan.