

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Perancangan *Smart Exhaust Fan* pada Dapur UMKM Produksi Kerupuk Ikan Khas Palembang

Pada hasil perancangan sistem *smart exhaust fan* pada dapur UMKM produksi kerupuk ikan khas Palembang ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) dan hasil perancangan perangkat lunak (*software*). Perancangan perangkat keras (*hardware*) berupa alat *smart exhaust fan* yang mempunyai sistem kendali kecepatan dengan dua mode yaitu mode manual dan mode otomatis menggunakan fuzzy Tsukamoto yang dikendalikan melalui aplikasi blynk, sedangkan perancangan perangkat lunak (*software*) berupa tampilan kontrol dan monitoring dari hasil pembacaan sensor pada aplikasi blynk.

4.1.1 Hasil Perancangan Perangkat Keras (*hardware*)

Sistem *smart exhaust fan* ini dilakukan langsung pada dapur UMKM Hj. Eva Yunus yang memproduksi kerupuk ikan khas Palembang, dimana alat *smart exhaust fan* ini akan terpasang diatas kompor penggorengan dengan ketinggian 65 cm. *Smart exhaust fan* ini dirancang menggunakan dua kipas *exhaust* dengan volume masing-masing kipas ialah $780\text{m}^3/\text{jam}$ dan dilengkapi dengan sensor-sensor seperti sensor DHT11, MQ7, dan MQ135 yang akan menjadi *input* dalam penentu kecepatan putar kipas *exhaust* berdasarkan logika fuzzy Tsukamoto. Hasil akhir dari algoritma fuzzy Tsukamoto berupa kecepatan putar kipas yang dijadikan sebagai *output* dalam sistem ini. Pada sistem alat *smart exhaust fan* ini juga dilengkapi dengan LCD yang berguna untuk menampilkan hasil pembacaan sensor dan kecepatan putar kipas *exhaust* serta LED sebagai indikator mode dan kecepatan yang dihasilkan. Berikut ini ialah hasil perancangan perangkat keras (*hardware*) *smart exhaust fan* yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 dibawah ini:



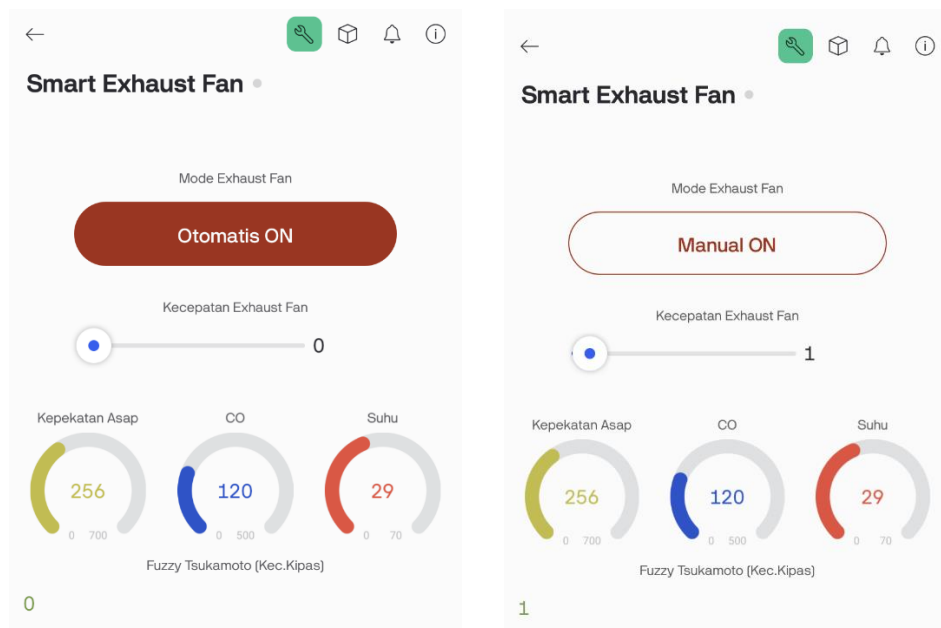
Gambar 4.1 Tampak Depan Alat



Gambar 4.2 Tampak Bawah Alat

4.1.2 Hasil Perancangan Perangkat Lunak (*software*)

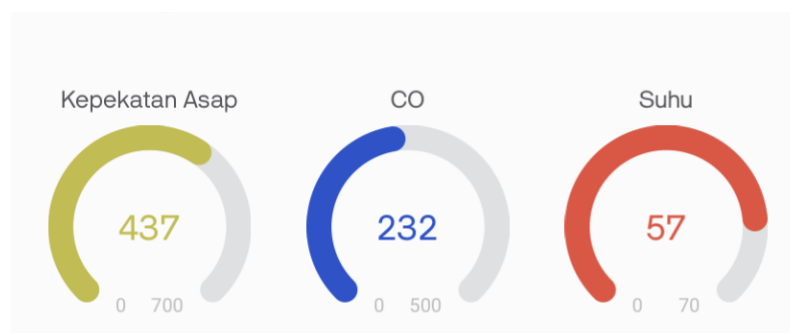
Perancangan perangkat lunak (*software*) pada sistem *smart exhaust fan* ini menggunakan *software* blynk sebagai pengontrol dan media monitoring yang dapat diakses melalui *smartphone* android maupun ios. Aplikasi blynk digunakan sebagai media dalam sistem kendali mode sistem, kendali kecepatan putar kipas pada mode manual dan sistem monitoring hasil pembacaan sensor dan kecepatan putar kipas yang dihasilkan. Hasil perancangan perangkat lunak (*software*) pada *smart exhaust fan* dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini:



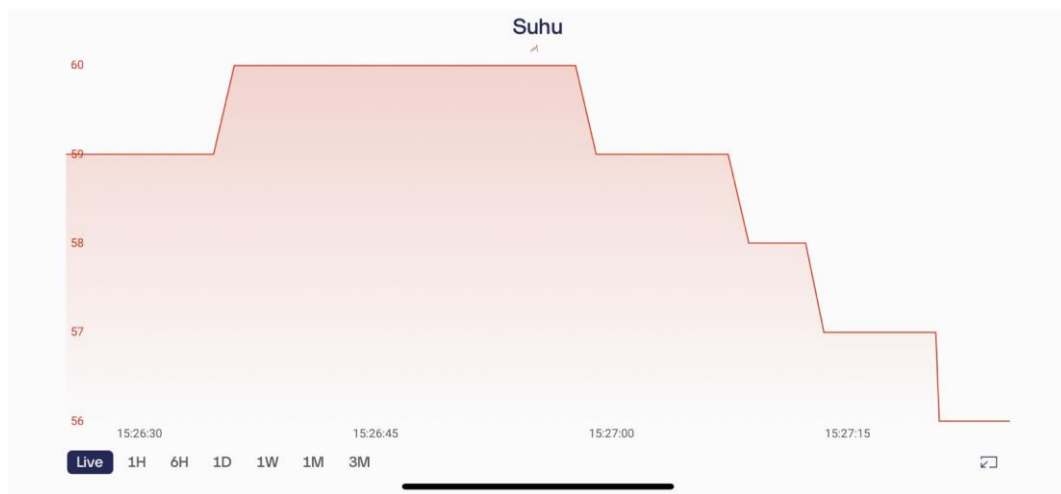
Gambar 4.3 Tampilan *Software Blynk*

4.1.3 Sistem Monitoring *Smart Exhaust Fan*

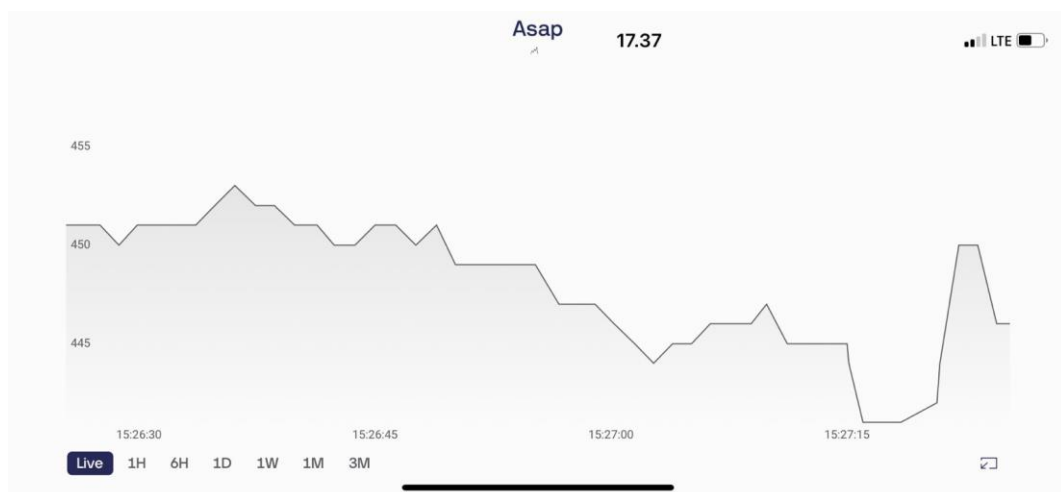
Sistem monitoring perangkat keras akan dilakukan menggunakan aplikasi blynk. Pada pengujian ini, perangkat keras akan dipasangkan diatas kompor dan wajan penggorengan guna untuk mendeteksi dan membaca konsentrasi asap, CO, dan suhu yang dihasilkan oleh aktivitas penggorengan. Hasil pembacaan sensor akan dimonitoring secara *real time* melalui aplikasi blynk pada *smartphone* android maupun ios. Hasil monitoring sensor pada smart exhaust fan dapat dilihat pada Gambar 4.4 sampai Gambar 4.7 dibawah ini:



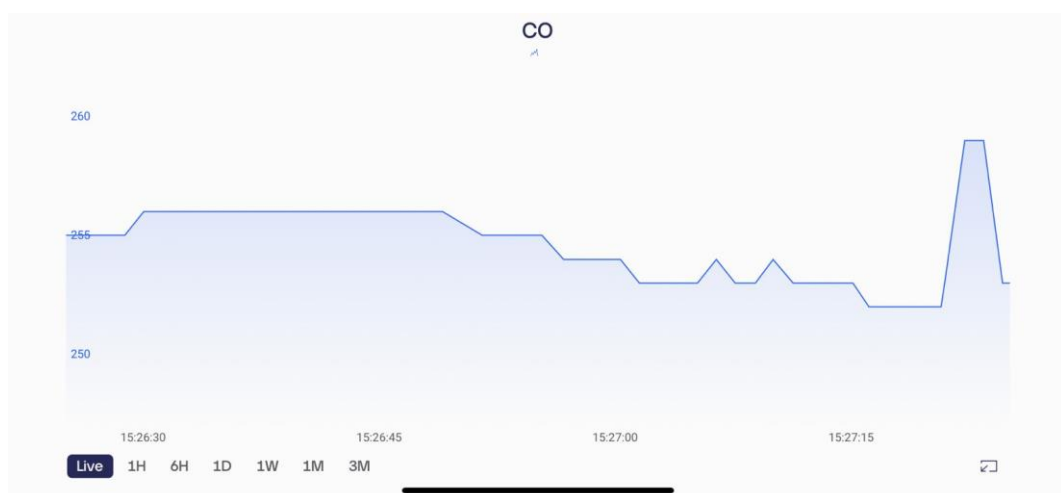
Gambar 4.4 Tampilan Hasil Monitoring Pembacaan Sensor pada Aplikasi Blynk



Gambar 4.5 Hasil Monitoring Suhu

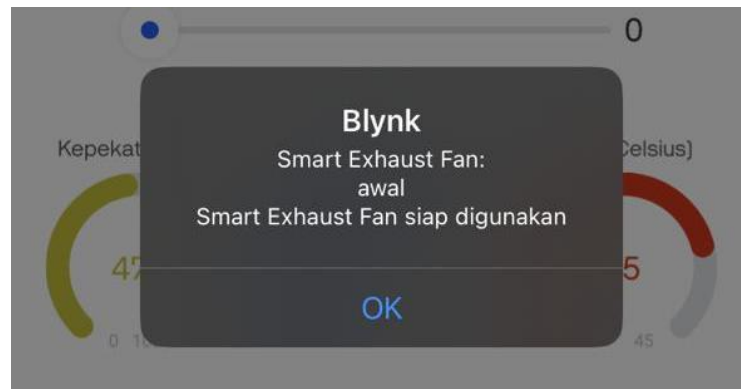


Gambar 4.6 Hasil Monitoring Asap



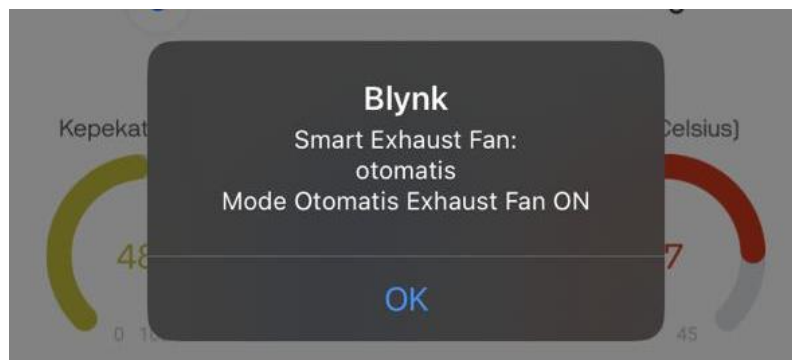
Gambar 4.7 Hasil Monitoring CO

Pada saat sistem pertama kali dijalankan, terdapat notifikasi yang akan diberikan kepada *user* yang menandakan bahwa sistem *smart exhaust fan* telah siap digunakan. Tampilan notifikasi awal pada saat sistem pertama kali dijalankan dapat dilihat pada Gambar 4.8

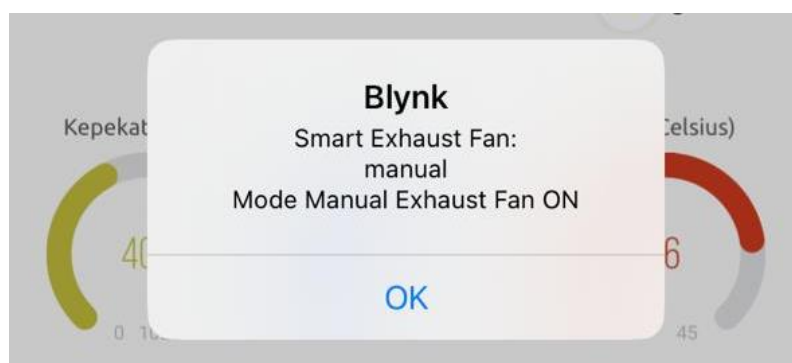


Gambar 4.8 Tampilan Notifikasi Sistem Pertama Kali digunakan

Pada saat beralih mode dari mode manual ke mode otomatis atau sebaliknya dari mode otomatis ke mode manual akan menampilkan notifikasi perubahan mode yang ditunjukkan pada Gambar 4.9 dan Gambar 4.10

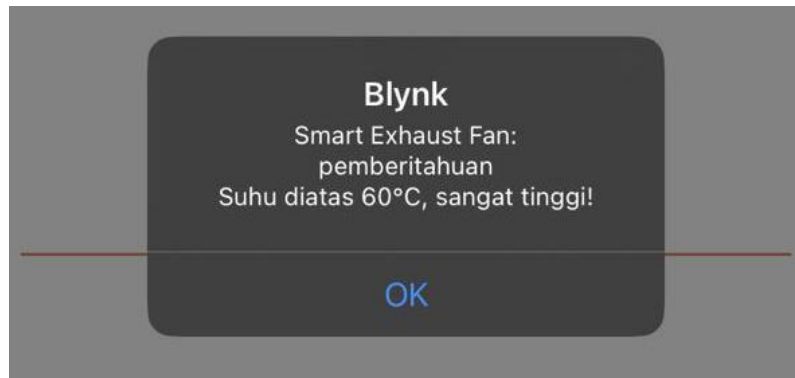


Gambar 4.9 Tampilan Notifikasi Mode Otomatis ON

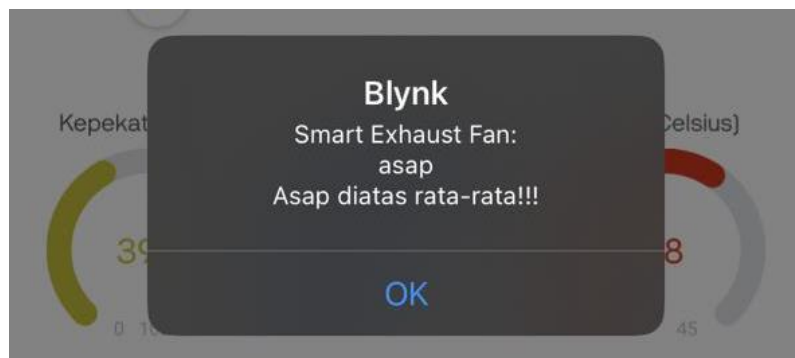


Gambar 4.10 Tampilan Notifikasi Mode Manual ON

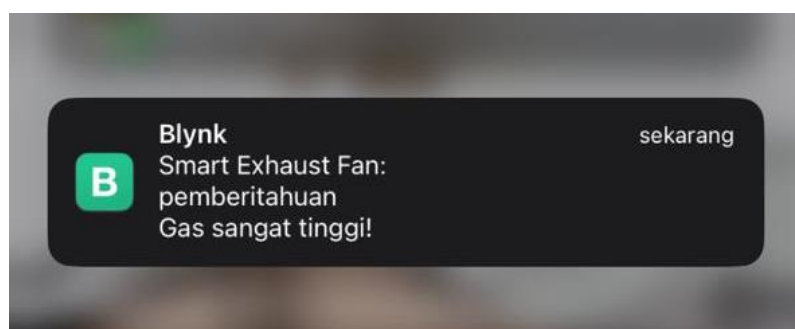
Pada sistem *smart exhaust fan* ini juga terdapat notifikasi jika suhu $\geq 60^{\circ}\text{C}$, asap melebihi ≥ 600 dan CO ≥ 400 yang ditunjukkan pada Gambar 4.11, Gambar 4.12, dan Gambar 4.13



Gambar 4.11 Notifikasi Peringatan Suhu



Gambar 4.12 Notifikasi Peringatan Asap



Gambar 4.13 Notifikasi Peringatan CO

4.1.4 Prinsip kerja alat

Pada sistem *smart exhaust fan* ini bekerja berdasarkan 2 mode yaitu mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, sistem bekerja sesuai dengan *input*

kecepatan yang diberikan melalui aplikasi blynk. Terdapat 3 mode kecepatan pada sistem *smart exhaust fan* manual. Kecepatan 1 diberikan nilai *output* kipas sebesar 50%. Pada kecepatan 2, nilai *output* kipas sebesar 60% dan pada kecepatan 3 dengan nilai *output* kipas 70%. Pertama, sistem membaca *input* yang diberikan oleh *user* lalu akan dikirimkan menuju *virtual pin* blynk ke NodeMCU. NodeMCU akan melakukan komunikasi secara serial dengan Arduino uno untuk menggerakkan kipas sesuai dengan *input* yang diberikan. Arduino uno yang telah menerima data *input* akan menjalankan dimmer AC sebagai penggerak kipas berdasarkan dengan nilai *input* yang diberikan sebelumnya.

Pada mode otomatis, sistem bekerja dengan pengendali fuzzy Tsukamoto. *Input* yang digunakan berupa asap, CO, dan suhu hasil dari pembacaan lingkungan dapur produksi pada saat penggorengan berlangsung. *Input* yang dihasilkan oleh sensor MQ135, MQ7, dan DHT11 akan melalui proses fuzzy logic yaitu fuzzifikasi, inference, dan defuzzifikasi. Pada proses fuzzifikasi, nilai *input* akan diubah menjadi himpunan fuzzy yang telah ditentukan sebelumnya. Nilai *input* yang bersifat crisp (tegas) diubah menjadi nilai fuzzy dengan menggunakan fungsi keanggotaan. Misalnya, input seperti suhu, asap, dan gas akan diubah menjadi derajat keanggotaan dalam beberapa himpunan fuzzy seperti "Rendah," "Sedang," dan "Tinggi." Lalu mengimplementasikan kedalam aturan-aturan yang akan digunakan dalam sistem kendali berdasarkan logika *if-then* untuk menghasilkan nilai *output* fuzzy berdasarkan fungsi implikasi MIN. Untuk setiap aturan, hitung *output* crisp berdasarkan derajat keanggotaan *input*. Tahap terakhir ialah mengubah nilai *output* fuzzy yang dihasilkan oleh proses inferensi menjadi nilai crisp yang akan digunakan sebagai *output* sistem kendali dengan menghitung menggunakan metode *weight average* atau rata-rata berbobot dari semua *output* crisp yang dihasilkan oleh setiap aturan. Setelah hasil *output* fuzzy dihasilkan, NodeMCU akan mengirimkan *output* tersebut menuju Arduino uno dengan komunikasi serial. Arduino uno yang telah menerima data *output* dari NodeMCU akan menjalankan dimmer AC untuk menggerakkan kipas *exhaust* sesuai dengan *output* fuzzy Tsukamoto yang dihasilkan sebelumnya.

4.2 Hasil Pengujian

Hasil pengujian *smart exhaust fan* ini dilakukan untuk mengetahui hasil kecepatan putar kipas *exhaust* berdasarkan mode manual dan mode otomatis menggunakan fuzzy Tsukamoto. Perangkat keras (*hardware*) diintegrasikan dengan perangkat lunak (*software*) yang berupa aplikasi blynk sebagai media dalam mengendalikan kecepatan putar kipas dan monitoring hasil pembacaan sensor yang telah dilakukan. Pada pengujian ini, terdapat dua mode yaitu mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, sistem *smart exhaust fan* ini akan langsung dikendalikan melalui aplikasi blynk dengan memberikan input berupa kecepatan putar kipas 1 hingga 3. Lalu pada mode otomatis, alat dirancang dengan tiga sensor yaitu sensor suhu, asap, dan CO yang dimana akan menjadi *input* dalam penentu kecepatan putar kipas menggunakan fuzzy Tsukamoto. Pengujian dilakukan terhadap kecepatan putar kipas yang diberikan secara langsung melalui aplikasi blynk dan yang dihasilkan oleh algoritma fuzzy Tsukamoto selama dua jam. Selanjutnya sistem monitoring dilakukan pada LCD dan aplikasi blynk yang akan menampilkan data. Hasil data percobaan mode manual dan otomatis pada sistem *smart exhaust fan* ini ditunjukkan pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.10.

4.2.1 Pengujian Sistem *Smart Exhaust Fan* Mode Manual

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Mode Manual Percobaan Pertama

No.	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Kecepatan Input
1	437	233	57	1
2	447	238	57	1
3	450	240	58	1
4	446	235	59	1
5	445	235	60	1
6	444	235	60	1
7	430	238	59	2
8	435	246	59	2
9	427	238	59	2
10	423	236	58	2
11	421	235	57	2
12	416	235	56	2
13	421	235	56	2
14	432	240	56	3

15	430	240	55	3
16	437	246	55	3
17	432	246	54	3
18	435	246	53	3
19	429	240	53	3
20	432	240	53	3

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Mode Manual Percobaan Kedua

No.	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Kecepatan Input
1	439	233	57	1
2	442	234	57	1
3	444	234	59	1
4	445	235	59	1
5	444	235	60	1
6	446	236	60	1
7	429	240	59	2
8	433	246	59	2
9	426	237	59	2
10	422	235	57	2
11	417	235	57	2
12	416	235	56	2
13	423	235	55	2
14	430	240	56	3
15	429	238	55	3
16	436	246	55	3
17	427	238	54	3
18	435	246	53	3
19	436	247	53	3
20	430	240	53	3

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Mode Manual Percobaan Ketiga

No.	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Kecepatan Input
1	442	238	57	1
2	440	233	57	1
3	445	234	58	1
4	445	235	59	1
5	444	235	60	1
6	442	235	60	1
7	437	246	59	2
8	428	246	59	2
9	426	237	59	2
10	422	236	58	2
11	427	242	57	2

12	420	235	56	2
13	422	235	55	2
14	439	247	56	3
15	429	238	55	3
16	430	240	55	3
17	428	238	54	3
18	428	238	53	3
19	436	246	53	3
20	430	240	53	3

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Mode Manual Percobaan Keempat

No.	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Kecepatan Input
1	438	233	57	1
2	449	240	57	1
3	442	234	59	1
4	442	235	59	1
5	441	235	60	1
6	445	236	60	1
7	436	246	59	2
8	428	238	59	2
9	433	244	59	2
10	428	243	58	2
11	420	235	57	2
12	426	242	56	2
13	423	236	55	2
14	437	247	56	3
15	428	238	55	3
16	437	246	55	3
17	435	246	54	3
18	427	238	53	3
19	429	240	53	3
20	432	240	53	3

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Mode Manual Percobaan Kelima

No.	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Kecepatan Input
1	446	238	57	1
2	442	233	57	1
3	442	234	59	1
4	442	235	60	1
5	445	235	60	1
6	446	235	60	1
7	428	238	59	2

8	427	238	59	2
9	425	237	59	2
10	422	236	57	2
11	426	242	56	2
12	426	242	56	2
13	423	235	55	2
14	437	247	56	3
15	436	246	55	3
16	429	238	55	3
17	433	245	53	3
18	428	238	53	3
19	436	246	53	3
20	429	240	53	3

Berdasarkan hasil pengujian sistem *exhaust fan* mode manual, asap yang dihasilkan memiliki *range* 416-450, CO 233-247, dan suhu dengan *range* 53°C-60°C. Pada kecepatan 1 dinyalakan, kipas akan berputar dengan *duty cycle* 50% dengan hasil yang belum cukup baik dalam mengendalikan asap, CO, dan suhu. Suhu yang dihasilkan masih mengalami kenaikan hingga mencapai titik tertinggi yaitu 60°C dengan kepekatan asap tertinggi yaitu 450PPM dan nilai CO tertinggi yaitu 240PPM. Pada kecepatan 2 kipas akan berputar dengan *duty cycle* 60%, hasilnya menunjukkan suhu mengalami penurunan hingga 55°C dengan kepekatan asap tertinggi 437PPM dan nilai CO tertinggi yaitu 246PPM. Pada kecepatan 3 kipas akan berputar dengan *duty cycle* 70%, hasil pengujian menunjukkan suhu mengalami penurunan yang lebih signifikan dengan penurunan hingga 53°C dengan kepekatan asap tertinggi 439PPM dan nilai CO tertinggi yaitu 247PPM. Hal ini menunjukkan bahwa, kecepatan 3 memiliki kemampuan dalam mengendalikan suhu yang lebih baik daripada kecepatan 1 dan 2 tetapi masih belum dapat mengendalikan asap dan CO yang dihasilkan karena kecepatan putar kipas yang diberikan tetap, tidak berdasarkan hasil pembacaan sensor dilingkungan dapur.

4.2.2 Pengujian Sistem *Smart Exhaust Fan* Mode Otomatis

Tabel 4.6 Hasil Pengujian Mode Otomatis Percobaan Pertama

No	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Pi-PI /Pi	PE (%)
1	416	238	49	70,4624	70,11	0,00500	0,500

2	425	241	50	70,25	70,076	0,00248	0,248
3	423	240	50	70,2916	70,14	0,00216	0,216
4	423	242	50	70,2916	70,076	0,00307	0,307
5	426	243	50	70,2304	70,071	0,00227	0,227
6	423	242	49	70,2916	70,071	0,00314	0,314
7	422	240	52	70,3136	70,14	0,00247	0,247
8	420	237	53	70,36	70,11	0,00355	0,355
9	426	243	55	70,2304	70,07	0,00228	0,228
10	386	205	55	71	70,91	0,00127	0,127
11	439	244	54	70,0484	70,07	0,00031	0,031
12	436	243	55	70,0784	70,07	0,00012	0,012
13	438	244	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
14	437	243	55	70,0676	70,07	0,00003	0,003
15	440	244	55	70,04	70,07	0,00043	0,043
16	439	245	54	70,0484	70,07	0,00031	0,031
17	440	246	54	70,04	70,11	0,00100	0,100
18	439	246	54	70,0484	70,05	0,00002	0,002
19	441	246	54	70,0324	70,05	0,00025	0,025
20	444	247	55	70,0144	70,05	0,00051	0,051
Rata-rata MAPE (%)							0,15
Akurasi							99,85

Tabel 4.7 Hasil Pengujian Mode Otomatis Percobaan Kedua

No	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Pi-PI /Pi	PE (%)
1	423	240	50	70,2916	70,14	0,00216	0,216
2	427	243	51	70,2116	70,071	0,00200	0,200
3	435	242	54	70,09	70,07	0,00029	0,029
4	436	243	55	70,0784	70,07	0,00012	0,012
5	437	243	55	70,0676	70,07	0,00003	0,003
6	439	244	54	70,0484	70,07	0,00031	0,031
7	442	247	54	70,0256	70,05	0,00035	0,035
8	445	248	55	70,01	70,05	0,00057	0,057
9	439	247	55	70,0484	70,05	0,00002	0,002
10	438	246	54	70,0576	70,05	0,00011	0,011
11	441	247	54	70,0324	70,05	0,00025	0,025
12	440	247	55	70,04	70,05	0,00014	0,014
13	440	248	55	70,04	70,07	0,00043	0,043
14	439	245	55	70,0484	70,11	0,00088	0,088
15	439	246	56	70,0484	70,054	0,00008	0,008

16	440	246	55	70,04	70,054	0,00020	0,020
17	441	246	56	70,0324	70,054	0,00031	0,031
18	441	247	56	70,0324	70,052	0,00028	0,028
19	439	247	56	70,0484	70,052	0,00005	0,005
20	438	245	56	70,0576	70,11	0,00075	0,075
Rata-rata MAPE (%)							0,05
Akurasi							99,95

Tabel 4.8 Hasil Pengujian Mode Otomatis Percobaan Ketiga

No	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Pi-PI /Pi	PE (%)
1	425	241	50	70,25	70,074	0,00251	0,251
2	424	240	50	70,2704	70,076	0,00277	0,277
3	423	240	50	70,2916	70,14	0,00216	0,216
4	427	243	50	70,2116	70,071	0,00200	0,200
5	425	242	49	70,25	70,07	0,00256	0,256
6	438	244	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
7	437	243	55	70,0676	70,07	0,00003	0,003
8	436	243	55	70,0784	70,07	0,00012	0,012
9	439	244	55	70,0484	70,07	0,00031	0,031
10	440	246	54	70,04	70,07	0,00043	0,043
11	439	245	54	70,0484	70,11	0,00088	0,088
12	441	247	54	70,0324	70,05	0,00025	0,025
13	444	248	55	70,0144	70,05	0,00051	0,051
14	439	247	54	70,0484	70,05	0,00002	0,002
15	440	247	55	70,04	70,05	0,00014	0,014
16	439	246	55	70,0484	70,05	0,00002	0,002
17	439	245	55	70,0484	70,11	0,00088	0,088
18	441	246	56	70,0324	70,054	0,00031	0,031
19	440	246	56	70,04	70,054	0,00020	0,020
20	442	247	56	70,0256	70,052	0,00038	0,038
Rata-rata MAPE (%)							0,08
Akurasi							99,92

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Mode Otomatis Percobaan Keempat

No	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Pi-PI /Pi	PE (%)
1	425	240	50	70,25	70,076	0,00248	0,248
2	422	240	50	70,3136	70,14	0,00247	0,247
3	424	241	50	70,2704	70,076	0,00277	0,277

4	437	243	55	70,0676	70,07	0,00003	0,003
5	438	243	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
6	438	244	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
7	439	245	54	70,0484	70,05	0,00002	0,002
8	440	245	54	70,04	70,11	0,00100	0,100
9	444	247	55	70,0144	70,05	0,00051	0,051
10	441	247	55	70,0324	70,05	0,00025	0,025
11	440	247	55	70,04	70,05	0,00014	0,014
12	441	247	54	70,0324	70,05	0,00025	0,025
13	439	246	55	70,0484	70,05	0,00002	0,002
14	441	246	55	70,0324	70,05	0,00025	0,025
15	438	245	56	70,0576	70,054	0,00005	0,005
16	439	245	55	70,0484	70,11	0,00088	0,088
17	442	246	56	70,0256	70,054	0,00041	0,041
18	440	246	56	70,04	70,054	0,00020	0,020
19	439	247	56	70,0484	70,052	0,00005	0,005
20	438	246	55	70,0576	70,054	0,00005	0,005
Rata-rata MAPE (%)							0,06
Akurasi							99,94

Tabel 4.10 Hasil Pengujian Mode Otomatis Percobaan Kelima

No	Asap (ppm)	CO (ppm)	Suhu (°C)	Z Hasil Perhitungan (Pi)	Z Hasil Pengujian (PI)	Pi-PI /Pi	PE (%)
1	423	241	50	70,2916	70,076	0,00307	0,307
2	424	242	49	70,2704	70,07	0,00285	0,285
3	438	243	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
4	437	243	54	70,0676	70,07	0,00003	0,003
5	439	244	55	70,0484	70,07	0,00031	0,031
6	438	244	55	70,0576	70,07	0,00018	0,018
7	438	244	54	70,0576	70,07	0,00018	0,018
8	439	246	54	70,0484	70,05	0,00002	0,002
9	440	247	55	70,04	70,05	0,00014	0,014
10	438	246	54	70,0576	70,05	0,00011	0,011
11	441	248	55	70,0324	70,05	0,00025	0,025
12	439	245	55	70,0484	70,11	0,00088	0,088
13	440	246	56	70,04	70,052	0,00017	0,017
14	439	245	56	70,0484	70,054	0,00008	0,008
15	440	246	55	70,04	70,11	0,00100	0,100
16	440	246	56	70,04	70,054	0,00020	0,020
17	441	246	56	70,0324	70,054	0,00031	0,031

18	442	247	56	70,0256	70,052	0,00038	0,038
19	440	247	56	70,04	70,052	0,00017	0,017
20	439	246	56	70,0484	70,052	0,00005	0,005

Berdasarkan pengujian sistem otomatis sistem *exhaust fan* mode otomatis, asap yang dihasilkan memiliki nilai terendah 386 dan tertinggi 445, CO memiliki nilai terendah 237 dan CO tertinggi yaitu 247, sedangkan suhu memiliki nilai terendah yaitu 49°C dan suhu tertinggi yang terdeteksi ialah 56°C. Pada mode otomatis dengan sistem kendali menggunakan fuzzy Tsukamoto dengan *output* kecepatan putar kipas berdasarkan hasil logika fuzzy membuat suhu lebih stabil dan dapat dikendalikan berdasarkan kondisi yang terbaca di dapur produksi. Asap dan CO yang dihasilkan pada proses penggorengan dapat dikontrol berdasarkan dengan kondisi dapur secara langsung. Maka dapat diartikan bahwa sistem *smart exhaust fan* mode otomatis dapat mengontrol suhu, asap, dan CO yang dihasilkan dari proses penggorengan secara *real-time* berdasarkan hasil pembacaan suhu, asap, dan CO yang sesuai dengan kondisi di dapur.

4.3 Penerapan Algoritma Fuzzy Tsukamoto pada *Smart Exhaust Fan*

Pada penerapan fuzzy Tsukamoto di sistem *smart exhaust fan*, hasil pengujian *output* kipas akan dibandingkan dengan hasil perhitungan manual fuzzy Tsukamoto guna untuk mendapatkan nilai persentase error setiap data dan nilai MAPE sistem sehingga dapat mengetahui nilai akurasi sistem menggunakan fuzzy Tsukamoto sebagai pengendali kipas *exhaust*. Perhitungan α -predikat akan diimplementasikan ke setiap *rule base* fuzzy yang menjadi aturan pada sistem ini. Perhitungan manual pada data yang diambil dengan nilai *input* asap, CO, dan suhu adalah sebagai berikut:

Asap : 416	CO : 238	Suhu : 49	Z Pengujian : 70,11
------------	----------	-----------	---------------------

Perhitungan fungsi keanggotaan suhu

$$\mu \text{ dingin } (49) = 0$$

$$\mu \text{ normal } (49) = 0$$

$$\mu \text{ panas } (49) = 1$$

Perhitungan fungsi keanggotaan asap

$$\mu \text{ sedikit } (416) = 0$$

$$\mu \text{ sedang } (416) = \frac{500 - 416}{500 - 400} = \frac{84}{100} = 0,84$$

$$\mu \text{ banyak } (416) = \frac{488 - 400}{500 - 400} = \frac{16}{100} = 0,16$$

Perhitungan fungsi keanggotaan CO

$$\mu \text{ rendah } (238) = 0$$

$$\mu \text{ sedang } (238) = 1$$

$$\mu \text{ tinggi } (238) = 0$$

Perhitungan α -predikat untuk setiap aturan fuzzy:

[R1] IF suhu_dingin AND asap_sedikit AND gas_rendah, THEN kipas_pelan

$$\alpha\text{-predikat}_1 = \min(0, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Pelan}} \leftarrow \alpha\text{-predikat}_1 = \frac{59 - z}{59 - 57}$$

$$z = 59 + (\alpha\text{-predikat}_1 \times 2)$$

$$= 59 + (0 \times 2)$$

$$= 59$$

[R2] IF suhu_dingin AND asap_sedikit AND gas_sedang THEN kipas_pelan

$$\alpha\text{-predikat}_2 = \min(0, 0, 1)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Pelan}} \leftarrow \alpha\text{-predikat}_2 = \frac{59 - z}{59 - 57}$$

$$z = 59 + (\alpha\text{-predikat}_2 \times 2)$$

$$= 59 + (0 \times 2)$$

$$= 59$$

[R3] IF suhu_dingin AND asap_sedikit AND gas_tinggi THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat}_3 = \min(0, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftarrow \alpha\text{-predikat}_3 = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$z = 57 + (\alpha\text{-predikat}_3 \times 2)$$

$$= 57 + (0 \times 2)$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_3 = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_3 \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min(57, 71)$$

$$= 57$$

[R4] IF suhu_dingin AND asap_sedang AND gas_rendah THEN kipas_pelan

$$\alpha\text{-predikat}_4 = \min(0, 0,84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Pelan}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_4 = \frac{59 - z}{59 - 57}$$

$$z = 59 + (\alpha\text{-predikat}_4 \times 2)$$

$$= 59 + (0 \times 2)$$

$$= 59$$

[R5] IF suhu_dingin AND asap_sedang AND gas_sedang THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat}_5 = \min(0, 0,84, 1)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_5 = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$z = 57 + (\alpha\text{-predikat}_5 \times 2)$$

$$= 57 + (0 \times 2)$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_5 = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_5 \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min(57, 71)$$

$$= 57$$

[R6] IF suhu_dingin AND asap_sedang AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_6 = \min(0, 0,84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_6 = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned} z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_6 \times 2) \\ &= 69 + (0 \times 2) \\ &= 69 \end{aligned}$$

[R7] IF suhu_dingin AND asap_banyak AND gas_rendah THEN kipas_medium

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_7 &= \min(0, 0, 16, 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_7 = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$\begin{aligned} z &= 57 + (\alpha\text{-predikat}_7 \times 2) \\ &= 57 + (0 \times 2) \\ &= 57 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_7 = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned} z &= 71 + (\alpha\text{-predikat}_7 \times 2) \\ &= 71 + (0 \times 2) \\ &= 71 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Z_{\text{Sedang}} &= \min(57, 71) \\ &= 57 \end{aligned}$$

[R8] IF suhu_dingin AND asap_banyak AND gas_sedang THEN kipas_cepat

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_8 &= \min(0, 0, 16, 1) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_8 = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned} z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_8 \times 2) \\ &= 69 + (0 \times 2) \\ &= 69 \end{aligned}$$

[R9] IF suhu_dingin AND asap_banyak AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\begin{aligned} \alpha\text{-predikat}_9 &= \min(0, 0, 16, 0) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_9 = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_9 \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R10] IF suhu_normal AND asap_sedikit AND gas_rendah THEN kipas_pelan

$$\alpha\text{-predikat}_{10} = \min(0, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Pelan}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{10} = \frac{59 - z}{59 - 57}$$

$$z = 59 + (\alpha\text{-predikat}_{10} \times 2)$$

$$= 59 + (0 \times 2)$$

$$= 59$$

[R11] IF suhu_normal AND asap_sedikit AND gas_sedang THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat}_{11} = \min(0, 0, 1)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{11} = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$z = 57 + (\alpha\text{-predikat}_{11} \times 2)$$

$$= 57 + (0 \times 2)$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{11} = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_{11} \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min(57, 71)$$

$$= 57$$

[R12] IF suhu_normal AND asap_sedikit AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{12} = \min(0, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{12} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{12} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R13] IF suhu_normal AND asap_sedang AND gas_rendah THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat}_{13} = \min (0, 0,84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{13} = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$z = 57 + (\alpha\text{-predikat}_{13} \times 2)$$

$$= 57 + (0 \times 2)$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{13} = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_{13} \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min (57, 71)$$

$$= 57$$

[R14] IF suhu_normal AND asap_sedang AND gas_sedang THEN kipas_medium

$$\alpha\text{-predikat}_{14} = \min (0, 0,84, 1)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{14} = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$z = 57 + (\alpha\text{-predikat}_{14} \times 2)$$

$$= 57 + (0 \times 2)$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{14} = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_{14} \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min (57, 71)$$

$$= 57$$

[R15] IF suhu_normal AND asap_sedang AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{15} = \min (0, 0,84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{15} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_{15} \times 2) \\
 &= 69 + (0 \times 2) \\
 &= 69
 \end{aligned}$$

[16] IF suhu_normal AND asap_banyak AND gas_rendah THEN kipas_cepat

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_{16} &= \min(0, 0, 16, 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{16} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_{16} \times 2) \\
 &= 69 + (0 \times 2) \\
 &= 69
 \end{aligned}$$

[R17] IF suhu_normal AND asap_banyak AND gas_sedang THEN kipas_cepat

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_{17} &= \min(0, 0, 16, 1) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{17} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_{17} \times 2) \\
 &= 69 + (0 \times 2) \\
 &= 69
 \end{aligned}$$

[R18] IF suhu_normal AND asap_banyak AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_{18} &= \min(0, 0, 16, 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{18} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 69 + (\alpha\text{-predikat}_{18} \times 2) \\
 &= 69 + (0 \times 2) \\
 &= 69
 \end{aligned}$$

[R19] IF suhu_panas AND asap_sedikit AND gas_rendah THEN kipas_medium

$$\begin{aligned}
 \alpha\text{-predikat}_{19} &= \min(1, 0, 0) \\
 &= 0
 \end{aligned}$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{19} = \frac{z - 57}{59 - 57}$$

$$\begin{aligned}
 z &= 57 + (\alpha\text{-predikat}_{19} \times 2) \\
 &= 57 + (0 \times 2)
 \end{aligned}$$

$$= 57$$

$$Z_{\text{Sedang}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{19} = \frac{71 - z}{71 - 69}$$

$$z = 71 + (\alpha\text{-predikat}_{19} \times 2)$$

$$= 71 + (0 \times 2)$$

$$= 71$$

$$Z_{\text{Sedang}} = \min(57, 71)$$

$$= 57$$

[R20] IF suhu_panas AND asap_sedikit AND gas_sedang THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{20} = \min(1, 0, 1)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{20} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{20} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R21] IF suhu_panas AND asap_sedikit AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{21} = \min(1, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{21} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{21} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R22] IF suhu_panas AND asap_sedang AND gas_rendah THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{22} = \min(1, 0, 84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{22} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{22} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R23] IF suhu_panas AND asap_sedang AND gas_sedang THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{23} = \min(1, 0, 84, 1)$$

$$= \mathbf{0,84}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{23} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{23} \times 2)$$

$$= 69 + (0,84 \times 2)$$

$$= \mathbf{70,68}$$

[R24] IF suhu_panas AND asap_sedang AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{24} = \min(1, 0,84, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{24} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{24} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R25] IF suhu_panas AND asap_banyak AND gas_rendah THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{25} = \min(1, 0,16, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{25} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{25} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

[R26] IF suhu_panas AND asap_banyak AND gas_sedang THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{26} = \min(1, 0,16, 1)$$

$$= \mathbf{0,16}$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{26} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{26} \times 2)$$

$$= 69 + (0,16 \times 2)$$

$$= \mathbf{69,32}$$

[R27] IF suhu_panas AND asap_banyak AND gas_tinggi THEN kipas_cepat

$$\alpha\text{-predikat}_{27} = \min(1, 0, 0)$$

$$= 0$$

$$Z_{\text{Cepat}} \leftrightarrow \alpha\text{-predikat}_{27} = \frac{z - 69}{71 - 69}$$

$$z = 69 + (\alpha\text{-predikat}_{27} \times 2)$$

$$= 69 + (0 \times 2)$$

$$= 69$$

$$Z_{\text{defuzifikasi}} = \frac{\sum z_i \cdot \alpha_i}{\sum \alpha_i} = \frac{\begin{array}{c} (59 \cdot 0) + (59 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (59 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (59 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + \\ (57 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (57 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (69 \cdot 0) + (70,68 \cdot 0,84) + (69 \cdot 0) + \\ (69 \cdot 0) + (69,32 \cdot 0,16) + (69 \cdot 0) \end{array}}{0 + 0,84 + 0 + 0 + 0,16 + 0}$$

$$= \frac{59,3712 + 11,0912}{1}$$

$$= 70,4624$$

Hasil perhitungan manual pada proses sistem kendali *exhaust fan* menggunakan fuzzy Tsukamoto memperoleh nilai 70,4624. Dengan hasil pengujian sistem 70,11 dan nilai hasil perhitungan manual 70,4624 dapat diperoleh nilai MAPE (Mean Absolute Percentage Error) sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{|70,4624 - 70,11|}{70,4624} 100\%}{n} = \frac{0,00500125 \times 100\%}{1} = 0,50\%$$

4.4 Analisa Sistem

Sistem *smart exhaust fan* ini dibuat dengan 2 mode yaitu mode manual dan mode otomatis. Pada mode manual, dilakukan pengujian data dengan diberikan *input* manual melalui aplikasi blynk sebagai media dalam mengontrol sistem *smart exhaust fan* ini. Hasil data pengujian pada mode manual dengan 5 kali percobaan pada saat penggorengan berlangsung didapatkan bawah asap rata-rata asap yang terdeteksi sebesar 435ppm dengan nilai terendah 386ppm dan nilai tertinggi asap ialah 445ppm. Pada data hasil sensor suhu didapatkan bahwa suhu rata-rata yang terdeteksi pada mode manual ialah 54°C dengan nilai terendah suhu ialah 49°C dan tertinggi suhu terdeteksi sebesar 56°C. Pada data hasil sensor MQ7, CO rata-rata yang terdeteksi sebesar 244ppm dengan nilai terendah CO yang terdeteksi pada saat pengujian ialah 205ppm dan tertinggi CO terdeteksi sebesar 248ppm. Berdasarkan hasil pengujian tersebut dapat disimpulkan bahwa asap dan CO yang terdeteksi

masih sangat tinggi yang dimana asap masuk dalam kategori berbahaya sedangkan CO masuk dalam kategori sangat tidak sehat.

Pada sistem *smart exhaust fan* mode otomatis, sistem diintegrasikan dengan fuzzy tsukamoto sebagai pengendali kecepatan kipas *exhaust*. Hasil dari data percobaan yang dilakukan sebanyak 5 kali percobaan dengan jumlah data percobaan ialah 100 data diperoleh nilai perhitungan MAPE pada masing-masing percobaan yang akan menghasilkan nilai akurasi dari setiap percobaan sistem *smart exhaust fan*. Dengan data hasil pembacaan sensor yang memiliki perubahan yang tidak terlalu signifikan menghasilkan nilai output fuzzy tsukamoto dan hasil perhitungan yang tidak jauh berbeda. Hasil persentase error setiap data sangat kecil sehingga hasil perhitungan MAPE pada setiap percobaan dan akurasi sistem yang dihasilkan sangat tinggi.

Pada percobaan pertama dengan 20 data uji menghasilkan rata-rata persentase error mutlak ialah 0,15% dengan hasil akurasi sistem sebesar 99,85%. Pada percobaan kedua diperoleh nilai rata-rata persentase error mutlak sebesar 0,05% dengan hasil akurasi pada percobaan 2 sebesar 99,95%. Pada percobaan 3, hasil rata-rata persentase error mutlak yang dihasilkan ialah 0,08% dengan akurasi sistem sebesar 99,92%. Pada percobaan 4, hasil rata-rata persentase error mutlak yang dihasilkan sebesar 0,06% dengan hasil akurasi sistem 99,94%, pada percobaan ke 5 didapatkan hasil rata-rata persentase error ialah 0,05% dengan nilai akurasi sistem sebesar 99,95%.

Berdasarkan hasil pengujian secara langsung, fuzzy tsukamoto efektif dan responsif dalam mengendalikan kecepatan *exhaust* berdasarkan *input* asap, CO, dan suhu secara *real-time*. Hasil *output* yang dihasilkan memiliki perubahan yang cukup signifikan terhadap perubahan kondisi asap, CO, dan suhu yang terjadi. Hal ini dikarenakan hasil *output* dari fuzzy tsukamoto berupa nilai crisp yang tegas sehingga dapat lebih responsif terhadap perubahan suhu, asap, dan gas CO secara *real-time* pada ruang penggorengan kerupuk. Sistem kendali *exhaust fan* menggunakan fuzzy tsukamoto memiliki nilai persentase error dan rata-rata persentase error mutlak yang sangat kecil sehingga dapat diperoleh perhitungan rata-rata nilai MAPE dan akurasi total dari sistem *smart exhaust fan* ini sebesar

99,92% dengan nilai rata-rata persentase error secara keseluruhan data sebesar 0,078%

$$MAPE_{total} = \frac{\sum MAPE}{n} = \frac{0,15 + 0,05 + 0,08 + 0,06 + 0,05}{5} = 0,078\%$$

$$Akurasi_{total} = \frac{\sum akurasi}{n} = \frac{99,85 + 99,95 + 99,92 + 99,94 + 99,92}{5} = 99,92\%$$