

Alat Pendeteksi Formalin Menggunakan Deret Sensor HCHO dan MQ-7 dengan Logika *Fuzzy*

Cyntiya Laxmi Haura¹, Indri Yanti², Muh Pauzan³

^{1,2,3} Program Studi Teknik Komputer Fakultas Teknik Universitas Wiralodra, Indramayu, 45213 INDONESIA, (tel.: 0234-275946; fax: 0234-273040, ¹cyntiya93@gmail.com, ²indriyanti.ft@unwir.ac.id, ³muhpauzan.ft@unwir.ac.id)

[Diterima: 9 Maret 2023, Revisi: 4 Mei 2023]

Corresponding Author: Indri Yanti

INTISARI — Formalin merupakan zat kimia berbahaya yang memiliki bau menyengat, tidak memiliki warna atau jernih, dan mudah terbakar. Formalin, yang seharusnya digunakan untuk bahan pengawet mayat, banyak disalahgunakan oleh oknum pedagang, salah satunya untuk mengawetkan makanan. Formalin memiliki efek berbahaya jika masuk ke dalam tubuh manusia. Oleh karena itu, dibutuhkan alat praktis yang dapat mendeteksi keberadaan formalin dalam makanan. Pembuatan alat pendeteksi formalin menggunakan sistem inferensi *fuzzy* metode Mamdani sangat bermanfaat untuk mendeteksi formalin dan tingkat keamanan makanan secara cepat dan ekonomis. Alat pendeteksi formalin ini menggunakan deret sensor, yaitu sensor HCHO dan sensor MQ-7, yang dipadukan dengan sistem pakar, yaitu logika *fuzzy*. Sensor HCHO bekerja seperti indra pencium untuk mendeteksi formalin pada makanan, sedangkan sensor MQ-7 digunakan untuk mendeteksi karbon monoksida (CO). Pada proses pengujian, dibutuhkan pemanas (*heater*) untuk membuat sampel makanan mengalami penguapan. Uap inilah yang dideteksi oleh kedua sensor gas tersebut dan diposes dengan logika *fuzzy* metode Mamdani. Untuk mengetahui akurasi alat, hasil pengujian menggunakan alat dibandingkan dengan pengujian pada kit formalin dan Fuzzy Logic Toolbox pada MATLAB. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kadar formalin yang paling sedikit pada sampel tahu adalah sampel H, yaitu sebesar 0,60 ppm, sedangkan kadar formalin yang paling banyak pada sampel tahu adalah sampel E, yaitu sebesar 13,64 ppm. Kadar formalin yang paling sedikit pada ikan asin adalah sampel P, sebesar 7,14 ppm, sedangkan kadar formalin yang paling banyak pada sampel ikan asin adalah sampel T, yaitu sebesar 193,81 ppm. Jika dibandingkan dengan hasil dari kit formalin, dari pengujian sebanyak dua puluh sampel, diperoleh nilai akurasi sebesar 95%. Keluaran yang dihasilkan oleh alat hampir sama dengan yang dihasilkan MATLAB, yaitu 85% memiliki selisih 0,01 dan 15% memiliki selisih 0,02. Rata-rata *error* antara keluaran alat dan MATLAB adalah 0,77%.

KATA KUNCI — Logika *Fuzzy*, Mamdani, Formalin, Sensor HCHO, Sensor MQ-7.

I. PENDAHULUAN

Formalin merupakan zat kimia yang memiliki ciri di antaranya bau menyengat dan tidak memiliki warna atau jernih [1]. Formalin termasuk zat kimia berbahaya yang biasanya digunakan untuk mengawetkan mayat, sebagai disinfektan, dan perekat kayu. Namun, formalin banyak disalahgunakan oleh oknum pedagang untuk mengawetkan makanan. Permenkes RI No. 033 tahun 2012 tentang bahan tambahan pangan menyatakan larangan penggunaan formalin sebagai bahan tambahan makanan. Kontaminasi makanan oleh formaldehida dapat membahayakan tubuh [2]. Dalam jangka pendek, formalin yang masuk ke dalam tubuh dapat mengakibatkan sakit perut, mual, muntah, dan diare, sedangkan dalam jangka panjang, formalin dapat memicu kanker [3]. Salah satu alasan penyalahgunaan formalin adalah mudahnya beberapa jenis bahan makanan mengalami pembusukan.

Pemakaian formalin sebagai pengawet dalam makanan sulit untuk diidentifikasi secara kasat mata. Pengujian yang biasa digunakan untuk melihat kandungan formalin dalam bahan makanan adalah dengan uji kit formalin atau uji laboratorium. Kekurangan dari uji kit formalin yaitu hanya sekali pakai dan tidak ada keterangan tambahan terkait kadar formalin yang terkandung dalam makanan. Sementara itu, uji laboratorium memerlukan biaya yang cukup mahal. Maka, diperlukan penerapan teknologi untuk mengatasi permasalahan tersebut.

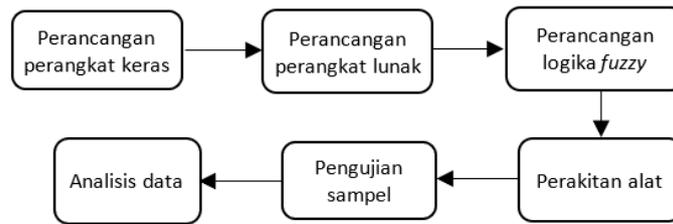
Dalam beberapa tahun terakhir, penelitian terkait identifikasi kadar formalin pada bahan makanan telah dilakukan, salah satunya dengan memanfaatkan sensor gas sebagai penciuman elektronik (*e-nose*). Sebuah penelitian menggunakan sensor MQ-138 untuk mendeteksi formalin dan sensor fotodiode untuk mendeteksi *rhodamine* [4]. Hasilnya

menunjukkan bahwa terdapat kandungan formalin dalam beberapa makanan, seperti mi, ikan asin, bakso, dan tahu. Penelitian tersebut memiliki *error* pengujian sebesar 7% - 17% untuk formalin dan 24% - 27% untuk *rhodamine* [4].

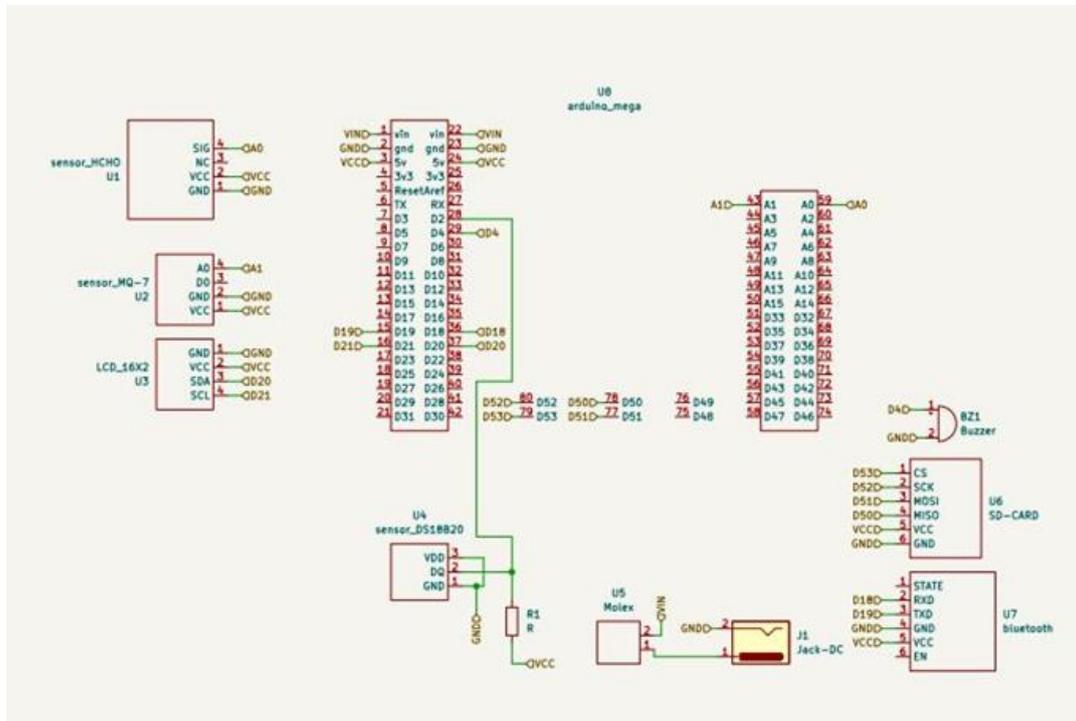
Penelitian berikutnya memanfaatkan sensor gas TGS2600 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO) dan TGS2611 untuk mendeteksi gas metana [5]. Penelitian ini tidak secara spesifik langsung mendeteksi gas formalin [5].

Penelitian lain memanfaatkan sensor HCHO sebagai pendeteksi formalin [6]. Sensor HCHO merupakan sensor gas *volatile organic compounds* (VOC) semikonduktor. Konduktivitas pada sensor HCHO akan berubah sesuai konsentrasi gas VOC di udara [6].

Berdasarkan hal-hal tersebut, dibutuhkan penelitian lanjutan untuk mendapatkan alat pendeteksi formalin yang lebih baik dari segi akurasi. Oleh karena itu, penelitian ini berupaya untuk membuat alat pendeteksi formalin menggunakan deret sensor, yaitu sensor HCHO dan sensor MQ7, dengan menggunakan logika *fuzzy* metode Mamdani. Sensor HCHO bekerja seperti indra pencium untuk mendeteksi formalin pada makanan, sedangkan sensor MQ-7 digunakan untuk mendeteksi CO. Sensor HCHO dan sensor MQ-7 dapat juga disebut sebagai *e-nose*. Sensor HCHO merupakan sensor yang dapat mendeteksi formaldehida (formalin), benzena, toluena, dan alkohol. Karena HCHO tidak hanya mendeteksi gas formalin, dibutuhkan sensor lain yang mampu menguatkan bahwa yang dideteksi memang gas formalin, bukan gas lainnya. Oleh karena itu, digunakan sensor MQ-7 untuk mendeteksi CO karena pemanasan pada suhu di atas 96 °C (titik didih formalin) akan menyebabkan formalin terurai menjadi CO dan karbon dioksida CO₂ [7].



Gambar 1. Alur penelitian.



Gambar 2. Skema rangkaian.

Arduino Mega 2560 bekerja untuk mengendalikan komponen lainnya. Hasil percobaan ditampilkan pada LCD I2C dan aplikasi Android MIT App Inventor untuk memasukkan data pada sistem dengan memanfaatkan koneksi Bluetooth. Data yang dimasukkan akan tersimpan pada *SD card*. Pengujian makanan hanya berfokus pada ikan asin dan tahu. Tahu dan ikan asin dipilih sebagai bahan uji karena termasuk lauk-pauk yang terjangkau oleh masyarakat, sehingga banyak dikonsumsi. Oleh karena itu, penelitian ini bermaksud mendeteksi keberadaan formalin dalam tahu dan ikan asin dengan suatu indikator keamanan makanan berupa kondisi aman, waspada, dan bahaya. Alat ini didesain dengan ukuran yang kecil agar mudah dibawa dan dipindahkan.

II. METODOLOGI

Proses pembuatan alat pendeteksi formalin dimulai dengan membaca artikel-artikel ilmiah untuk menganalisis kelebihan dan kekurangan penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk dapat merancang alat pendeteksi formalin, dibutuhkan beberapa tahapan. Alur penelitian yang dilakukan ditunjukkan pada Gambar 1.

A. PERANCANGAN PERANGKAT KERAS

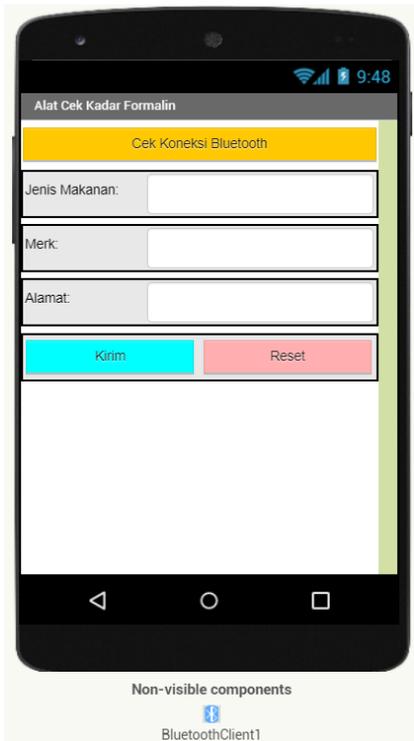
Pada tahap perancangan perangkat keras, dibuat skema rangkaian antara Arduino Mega 2560 dengan sensor HCHO, sensor MQ-7, sensor suhu DS18B20, I2C LCD 16×2, modul Bluetooth HC-05, modul *micro SD*, dan *buzzer*. Koneksi tiap komponen terhadap Arduino Mega 2560 ditunjukkan pada Gambar 2.

Arduino Mega 2560 berperan sebagai otak dari alat pendeteksi formalin dan tempat pemrosesan logika *fuzzy*. Sensor HCHO berfungsi untuk mendeteksi formalin, sedangkan sensor MQ-7 berfungsi mendeteksi CO. Suhu saat proses pengujian dideteksi oleh sensor DS18B20. LCD digunakan untuk menampilkan karakter hasil pemrosesan Arduino. Pada penelitian ini, selain ditampilkan pada layar LCD, data juga disimpan dalam *SD card*. Sarana yang digunakan untuk komunikasi antara *SD card* dan Arduino adalah modul *micro SD* [8].

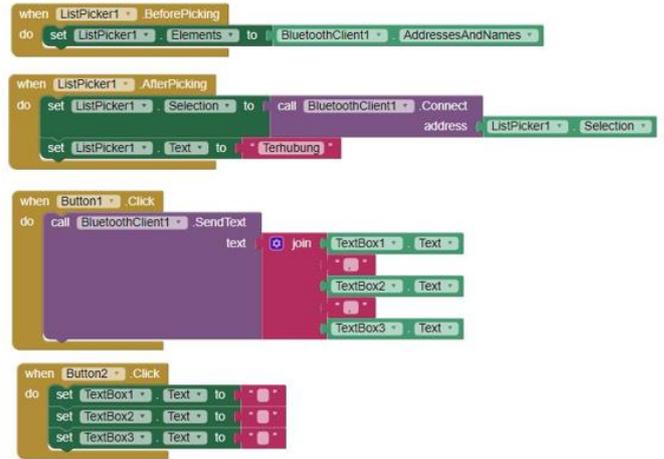
B. PERANCANGAN PERANGKAT LUNAK

Aplikasi di Android dibuat menggunakan aplikasi MIT App Inventor. MIT App Inventor merupakan sistem untuk membuat aplikasi Android berbasis website [9]. MIT App Inventor merupakan *platform* untuk memudahkan proses pembuatan aplikasi sederhana dengan menggunakan *code block*. MIT App Inventor digunakan untuk mendesain aplikasi Android sesuai keinginan dengan menggunakan berbagai macam *layout* dan komponen yang tersedia.

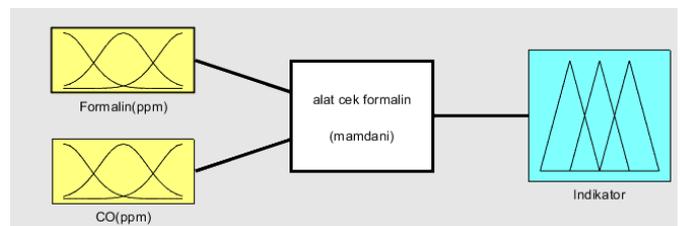
Terdapat dua halaman utama pada MIT App Inventor, yaitu halaman *designer* dan halaman *blocks*. Desain aplikasi Android di MIT App Inventor ditunjukkan oleh Gambar 3. Setelah proses desain aplikasi di halaman *designer* selesai, selanjutnya dibuat *code blocks* dengan melakukan *drag and drop* pada halaman *blocks*. *Code blocks* yang telah dibuat ditunjukkan pada Gambar 4. Aplikasi yang telah selesai dibuat di MIT App Inventor dapat dipasang dengan melakukan *build Android App (.apk)* melalui penulisan kode enam karakter atau scan QR code



Gambar 3. Desain aplikasi pada MIT App Inventor.



Gambar 4. Code block yang dibuat pada MIT App Inventor.



Gambar 5. Perancangan logika fuzzy.

di MIT AI2 Companion yang sebelumnya sudah terpasang di ponsel.

Gambar 4 menunjukkan *code blocks* yang digunakan dalam membuat aplikasi melalui *website* MIT App Inventor. Arti dari *code blocks* tersebut adalah sebagai berikut. Pertama, koneksi Bluetooth terlebih dahulu diperiksa dan pilih Bluetooth yang sesuai. Jika sudah terkoneksi, karakter dimasukkan ke dalam *TextBox1*, *TextBox2*, dan *TextBox3*, yang merupakan identitas dari uji sampel, kemudian tombol *Button1* atau tombol kirim ditekan. Proses pengiriman data sampel dari aplikasi di Android ke Arduino menjadi pembuka proses pengujian sampel.

C. PERANCANGAN LOGIKA FUZZY

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode Mamdani, yaitu dengan menggunakan operasi *min-max* [10], [11]. Kelebihan logika *fuzzy* adalah dapat menoleransi data yang kurang tepat dan umumnya dapat digunakan untuk aksi dalam suatu sistem [12], sedangkan kelebihan dari metode Mamdani dibandingkan metode sistem inferensi *fuzzy* yang lain adalah sifatnya yang intuitif, mencakup bidang yang luas, dan sesuai dengan proses masukan informasi manusia [13], [14].

Kata *fuzzy* didefinisikan sebagai suatu kondisi yang tidak hanya benar atau salah, tetapi berdasarkan derajat keanggotaan yang berkisar antara nol dan satu [15]. Selain itu, logika *fuzzy* dianggap sebagai cara yang tepat untuk memetakan ruang masukan (*input*) ke dalam ruang keluaran (*output*). Ruang masukan dan keluaran dapat berupa variabel linguistik sebagai pengganti penghitungan menggunakan angka [16]. Pada penelitian ini, terdapat dua variabel masukan, yaitu kadar formalin dan kadar CO, keduanya dalam satuan *part per million* (ppm). Sementara itu, variabel keluaran berupa indikator keamanan makanan. Tahapan-tahapan pada setiap proses *fuzzy* meliputi *fuzzification*, inferensi, dan *defuzzification*. Pada penelitian ini, logika *fuzzy* digunakan untuk menentukan adanya kandungan formalin dan CO dalam tahu dan ikan asin. Sistem inferensi yang digunakan pada

penelitian ini adalah metode Mamdani. Rancangan logika *fuzzy* pada alat pendeteksi formalin ditunjukkan pada Gambar 5.

Gambar 5 dibuat menggunakan perangkat lunak MATLAB. MATLAB digunakan untuk visualisasi perancangan logika *fuzzy*. Hanya ada dua jenis metode yang ada dalam *toolbox fuzzy* di MATLAB, yaitu Mamdani dan Sugeno.

1) FUZZIFICATION

Fuzzification merupakan tahapan mengubah masukan sistem yang mempunyai nilai tegas (*crisp*) menjadi variabel linguistik dengan memanfaatkan fungsi keanggotaan yang disimpan pada basis pengetahuan [17]. *Fuzzification* merupakan tahap awal dalam logika *fuzzy* di semua jenis metode. Masukan bersifat tegas, yang bermakna nilainya tidak samar atau dapat dikatakan bernilai *high* dan *low*.

Menurut International Programme on Chemical Safety (IPCS), secara umum ambang batas formalin di dalam tubuh adalah 1 ppm [18]. National Institute of Safety and Health (NIOSH) menyatakan bahwa formaldehida berbahaya bagi kesehatan pada kadar 20 ppm [19], sedangkan ambang batas formalin yang masih dapat ditoleransi adalah 1,5-14 ppm [20]. Fungsi keanggotaan, $\mu(x)$, untuk formalin ditunjukkan oleh (1) sampai (3).

$$\mu_{\text{sedikit}}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 14 \\ \frac{14-x}{14-1}, & 1 \leq x \leq 14 \\ 1, & x \leq 1 \end{cases} \quad (1)$$

$$\mu_{\text{cukup}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 1 \text{ atau } x \geq 20 \\ \frac{x-1}{14-1}, & 1 \leq x \leq 14 \\ \frac{20-x}{20-14}, & 14 \leq x \leq 20 \end{cases} \quad (2)$$

$$\mu_{\text{banyak}}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 14 \\ \frac{x-14}{20-14}, & 14 \leq x \leq 20 \\ 1, & x \geq 20 \end{cases} \quad (3)$$

Fungsi keanggotaan formalin ada tiga, yaitu sedikit, cukup, dan banyak, dengan batas-batas yang telah ditentukan dalam fungsi masing-masing. Kadar CO dinyatakan dengan nilai 0-1.000 ppm dengan 0-70 ppm adalah rendah, 350 ppm adalah sedang, dan 600-1000 ppm adalah tinggi [21]. Fungsi keanggotaan untuk gas CO ditunjukkan dalam (4) sampai (6).

$$\mu_{rendah}(x) = \begin{cases} 0, & x \geq 350 \\ \frac{350-x}{350-70}, & 70 \leq x \leq 350 \\ 1, & x \leq 70 \end{cases} \quad (4)$$

$$\mu_{sedang}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 70 \text{ atau } x \geq 600 \\ \frac{x-70}{350-70}, & 70 \leq x \leq 350 \\ \frac{600-x}{600-350}, & 350 \leq x \leq 600 \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{tinggi}(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 350 \\ \frac{x-350}{600-350}, & 350 \leq x \leq 600. \\ 1, & x \geq 600 \end{cases} \quad (6)$$

Fungsi keanggotaan dari CO ada tiga, yaitu rendah, sedang, dan tinggi, dengan batas-batas yang telah ditentukan dalam fungsi masing-masing.

Sama halnya dengan kedua masukan, keluaran juga memiliki fungsi keanggotaan berdasarkan basis pengetahuan. Fungsi keanggotaan indikator keamanan makanan ditunjukkan oleh (7) sampai (9).

$$\mu_{aman}(z) = \begin{cases} 0, & z \geq 14 \\ \frac{2-z}{2-1,5}, & 1,5 \leq z \leq 2 \\ 1, & z \leq 1,5 \end{cases} \quad (7)$$

$$\mu_{wasada}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 1,5 \text{ atau } z \geq 2,5 \\ \frac{z-1,5}{2-1,5}, & 1,5 \leq z \leq 2 \\ \frac{2,5-z}{2,5-2}, & 2 \leq z \leq 2,5 \end{cases} \quad (8)$$

$$\mu_{bahaya}(z) = \begin{cases} 0, & z \leq 2 \\ \frac{z-2}{2,5-2}, & 2 \leq z \leq 2,5. \\ 1, & z \geq 2,5 \end{cases} \quad (9)$$

Fungsi keanggotaan indikator ada tiga, yaitu aman, waspada, dan bahaya, dengan batas-batas yang telah ditentukan dalam fungsi masing-masing.

2) INFERENSI

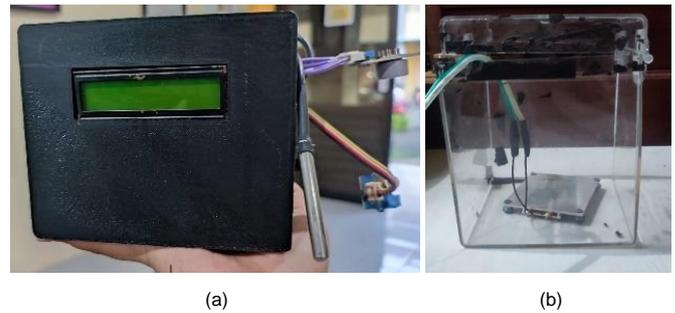
Pada tahap ini dirancang *rule base* untuk menentukan indikator formalin yang terdapat pada ikan asin dan tahu menggunakan inferensi Mamdani *max-min*. Aturan logika ini diperoleh dari kombinasi masukan HCHO dan MQ-7 serta keluaran indikator makanan. Jumlah fungsi keanggotaan dari tiap variabel masukan dan keluaran masing-masing adalah tiga, sehingga *rule base* yang diperoleh berjumlah sembilan buah.

3) DEFUZZIFICATION

Tahap *defuzzification* merupakan tahap menghitung keluaran *fuzzy* menjadi nilai keluaran tegas. Sistem inferensi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sistem inferensi Mamdani, yaitu menggunakan metode *center of area* (CoA) atau *centroid*. Secara matematis, CoA ditunjukkan oleh (10).

$$z^* = \frac{\int \mu(z) z dz}{\int \mu(z) dz} = \frac{\text{Momen}}{\text{Luas daerah}} \quad (10)$$

dengan z^* adalah CoA, $\mu(z)$ adalah fungsi keanggotaan dari keluaran, dan z adalah nilai variabel keluaran.



Gambar 6. Alat uji formalin, (a) alat utama, (b) tempat penguapan sampel uji.

D. PERAKITAN ALAT

Tahapan penelitian setelah perancangan alat (skema) adalah perakitan alat, yang meliputi pembuatan *footprint* dan desain *printed circuit board* (PCB) menggunakan perangkat lunak KiCad. Setelah proses desain selesai, dilakukan pencetakan PCB. Selain pembuatan PCB, juga dilakukan pembuatan kotak pelindung (*casing*) tiga dimensi. Pembuatan kotak pelindung untuk PCB dilakukan menggunakan *printer* tiga dimensi (3D) dengan bahan plastik *polylactic acid* (PLA), yang merupakan jenis bahan bioplastik atau plastik organik yang terbuat dari minyak nabati, pati jagung, pati kacang polong, dan *microbiota*. Sementara itu, kotak pelindung untuk pemanas (*heater*) dibuat menggunakan akrilik. Akrilik mempunyai titik leleh (*melting point*) sekitar 105 °C [22]. Akrilik dipilih karena karakteristiknya sesuai dengan kebutuhan pengujian. Suhu pengujian maksimal hanya sampai 100 °C, sehingga tidak mencapai titik leleh akrilik. Selain itu, akrilik bersifat transparan, sehingga proses pengujian sampel dapat terlihat dengan jelas. Gambar 6 memperlihatkan alat yang telah selesai dibuat.

E. PENGUJIAN SAMPEL

Setelah perakitan alat, tahap berikutnya adalah pengujian sampel berupa ikan asin dan tahu. Pengujian pertama dilakukan menggunakan alat pendeteksi formalin dengan sistem inferensi *fuzzy* metode Mamdani. Selanjutnya, dilakukan juga pengujian dengan menggunakan kit formalin untuk melihat kandungan formalin dalam bahan makanan. Hasil pengujian kit formalin dijadikan sebagai acuan untuk melihat akurasi hasil yang diperoleh dari alat yang telah dibuat. Selain itu, nilai indikator keamanan dibandingkan dengan nilai indikator dari Fuzzy Logic Toolbox MATLAB.

F. ANALISIS DATA

Tahap ini berisi proses analisis data-data yang telah diperoleh dari pengujian sampel sebagai keluaran dari proses sistem inferensi *fuzzy*. Nilai keluaran tersebut dibandingkan dengan hasil kit formalin dan MATLAB. Perbandingan nilai keluaran alat dengan acuan dapat menentukan nilai akurasi yang diperoleh alat yang telah dibuat. Kinerja alat yang telah dibuat dapat dilihat dari persentase akurasi berdasarkan (11) [23].

$$\text{Akurasi}(\%) = \frac{\sum \text{data yang benar}}{N} \times 100\% \quad (11)$$

dengan N merupakan jumlah sampel yang diuji. Selain nilai akurasi, besarnya diskrepansi (*error* pengukuran) juga perlu diketahui. Perhitungan persentase nilai *error* dari perbandingan pembacaan sensor dengan instrumen pengujian penting dilakukan untuk melihat kelayakan suatu alat yang telah dibuat. Persentase diskrepansi, Z , ditunjukkan oleh (12).

TABEL I
HASIL UJI SAMPEL TAHU

Tahu	Formalin (ppm)	CO (ppm)	Keluaran	Indikator	Kit Formalin
A	11,97	54,50	1,58	Waspada	Positif
B	5,75	108,37	1,09	Aman	Negatif
C	0,63	39,27	0,88	Aman	Negatif
D	10,97	99,58	1,47	Aman	Negatif
E	13,64	128,97	1,88	Waspada	Negatif
F	1,34	74,60	0,91	Aman	Negatif
G	2,14	79,39	0,93	Aman	Negatif
H	0,60	60,11	0,88	Aman	Negatif
I	4,32	71,85	1,02	Aman	Negatif
J	5,89	65,76	1,10	Aman	Negatif

TABEL II
HASIL UJI IKAN ASIN

Ikan Asin	Formalin (ppm)	CO (ppm)	Keluaran	Indikator	Kit Formalin
K	27,59	41,26	3,12	Bahaya	Positif
L	177,91	55,23	3,12	Bahaya	Positif
M	8,93	12,08	1,29	Aman	Negatif
N	30,68	53,44	3,12	Bahaya	Positif
O	21,18	58,19	3,12	Bahaya	Positif
P	7,14	32,49	1,18	Aman	Negatif
Q	18,93	164,80	2,99	Bahaya	Positif
R	19,18	83,93	3,04	Bahaya	Positif
S	15,85	62,48	2,63	Bahaya	Positif
T	193,81	60,11	3,12	Bahaya	Positif

$$Z = \frac{|X - X_i|}{x} \times 100\% \quad (12)$$

dengan X adalah nilai acuan atau standar dan X_i merupakan nilai yang terukur dari alat yang telah dibuat.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Peran logika *fuzzy* pada penelitian ini adalah untuk menentukan hasil pada saat pengambilan data sampel. Logika *fuzzy* akan memutuskan nilai indikator pengujian untuk skala aman, waspada, dan bahaya pada sampel uji. Hasil keluaran penelitian ini adalah indikator keamanan, yang ditentukan setelah melalui serangkaian proses dalam logika *fuzzy*, yaitu *fuzzification*, inferensi, dan *defuzzification* menurut basis pengetahuan atau berdasarkan pakar.

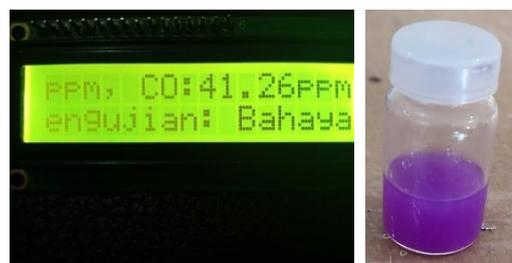
Setelah alat pendeteksi formalin selesai dibuat, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian terhadap sepuluh sampel tahu dan sepuluh sampel ikan asin menggunakan alat tersebut. Kemudian, hasilnya dibandingkan dengan data pembandingan hasil dari kit formalin. Pada proses pengujian menggunakan alat, sampel harus diuapkan menggunakan pemanas dan suhu dideteksi oleh sensor DS18B20. Uap dari sampel dideteksi oleh sensor HCHO dan sensor MQ-7. Kandungan formalin dan CO diambil ketika suhu di atas 96 °C [7]. Hasil pengujian sampel tahu dan ikan asin ditunjukkan oleh Tabel I dan Tabel II.

Berdasarkan Tabel I, hanya ada satu data dari sampel tahu yang berbeda antara hasil dari alat uji formalin dengan hasil pengujian kit formalin, yaitu sampel tahu E. Pada pengujian sampel tahu E, hasil dari kit formalin adalah negatif, tetapi pengujian dengan alat menghasilkan waspada, dengan nilai indikator alat (keluaran) 1,88. Namun, indikator waspada ini berada di antara hasil aman dan bahaya, sehingga dapat disimpulkan nilainya sudah mendekati hasil dari uji kit



(a) (b)

Gambar 7. Hasil uji waspada, (a) LCD alat, (b) kit formalin.



(a) (b)

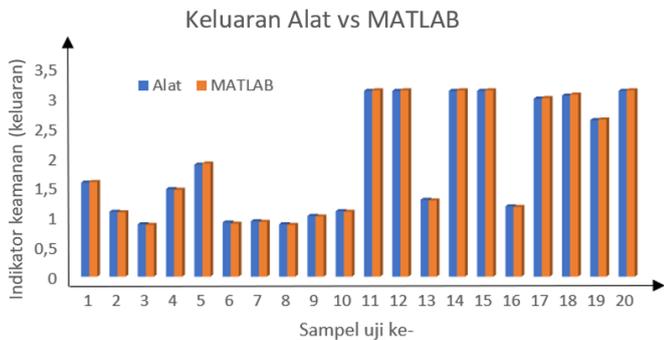
Gambar 8. Hasil uji sampel bahaya, (a) LCD alat, (b) kit formalin.

formalin. Hasil yang berbeda ini kemungkinan berasal dari pembacaan sensor gas yang tidak tepat. Nilai akurasi dari pengujian sepuluh sampel tahu sebesar 90%.

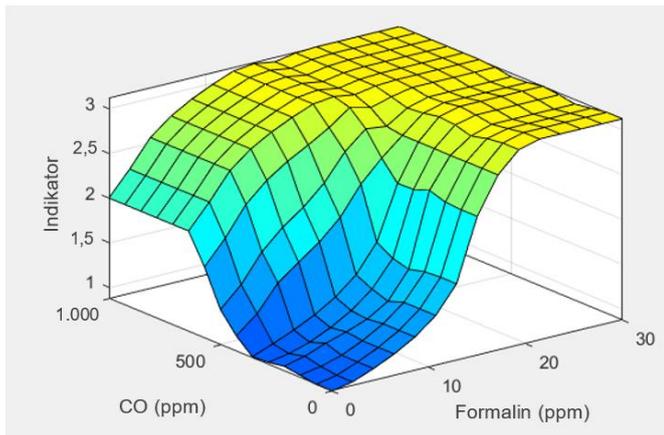
Berdasarkan Tabel II, semua data dari hasil pengujian ikan asin menggunakan alat sesuai dengan data pengujian menggunakan kit formalin, sehingga akurasinya 100%. Jika dilihat dari keseluruhan pengujian, jumlah sampel adalah 20, yaitu sepuluh sampel tahu dan sepuluh sampel ikan asin, sehingga akurasi keseluruhan pengujian sebesar 95%. Nilai akurasi ini sangat tinggi, sehingga dapat dikatakan bahwa kinerja alat yang telah dibuat sudah layak dan bagus.

Tabel I dan Tabel II menunjukkan bahwa ketika diperoleh hasil negatif di kit formalin, ada dua kemungkinan kondisi pada alat, yaitu kondisi waspada dan bahaya. Hal ini terjadi karena aturan yang telah dibuat dalam sistem inferensi *fuzzy* metode Mamdani berdasarkan nilai kadar formalin dan CO yang terdeteksi pada alat. Pengujian menggunakan kit formalin hanya memperlihatkan dua kondisi, yaitu positif dengan warna asli sampel dan negatif dengan indikator warna yang berubah menjadi ungu. Ketika hasil menunjukkan negatif, tingkat kecerahan dari warna ungu bervariasi, yaitu ada yang ungu muda dan ungu tua, seperti ditunjukkan pada Gambar 7 dan Gambar 8. Tingkat kecerahan warna ungu menunjukkan kadar formalin yang terkandung dalam sampel. Namun, kit formalin tidak dapat menunjukkan kadar formalin dalam ppm secara langsung, hanya menunjukkan positif atau negatif kandungan formalin saja dengan melihat perubahan warnanya. Hal berbeda terjadi pada alat yang telah dibuat, yang dapat menunjukkan kadar formalin, kadar CO, dan indikator keamanan dari sampel menurut proses inferensi *fuzzy* metode Mamdani. Oleh karena itu, jika acuannya adalah kit formalin, yang dapat dibandingkan hanya keberadaan formalin dalam sampel makanan saja tanpa membandingkan kadar formalin dalam ppm.

Berdasarkan Gambar 7 dan Gambar 8, dapat disimpulkan bahwa makin tinggi nilai indikator keamanan sampel uji dari alat yang telah dibuat, makin gelap warna ungu yang diperoleh dari hasil kit formalin. Tingkat kepekatan warna ungu yang dihasilkan dari kit formalin menunjukkan konsentrasi formalin dalam sampel uji. Namun, konsentrasi formalin ini tidak



Gambar 9. Perbandingan keluaran alat dengan MATLAB.



Gambar 10. Grafik keluaran 3D MATLAB.

ditunjukkan dengan suatu nilai dalam ppm, hanya dengan perubahan warna menjadi ungu saja. Hal tersebut merupakan salah satu kekurangan penggunaan kit formalin karena kit formalin memang biasanya digunakan untuk pengujian secara cepat. Indikator yang muncul dari alat saat pengujian sesuai dengan *rule base* fungsi keanggotaan dari variabel masukan (formalin dan CO) dan variabel keluaran (indikator).

Selain perbandingan hasil kedua pengujian tersebut, nilai keluaran, yaitu indikator keamanan, dari alat juga dapat dibandingkan dengan hasil simulasi *fuzzy* metode Mamdani menggunakan MATLAB, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 9.

Grafik yang ditunjukkan pada Gambar 9 merupakan perbandingan antara keluaran yang dihasilkan oleh alat (grafik batang berwarna biru) dengan keluaran yang diperoleh dari MATLAB (grafik batang berwarna jingga). Keluaran yang dihasilkan oleh alat hampir sama dengan yang dihasilkan MATLAB, hanya berbeda di bagian desimalnya, yaitu 85% sampel uji memiliki selisih 0,01 dan 15% sampel uji memiliki selisih 0,02. Salah satu penyebab perbedaan nilai tersebut adalah faktor pembulatan, sedangkan rata-rata *error* antara keluaran alat dan MATLAB yaitu 1,15% atau 0,0115. Nilai *error* tersebut masih tergolong kecil. Makin kecil *error*, makin baik hasil pengukuran. Hal ini berarti alat yang telah dibuat memiliki akurasi pengukuran yang baik.

Pada penelitian ini, kadar formalin dalam ppm tidak dapat dibandingkan dengan acuan, karena acuan yang digunakan hanya dengan kit formalin. Untuk mengonfirmasi kadar formalin, perlu dilakukan pengujian di laboratorium.

Akan tetapi, keluaran alat dapat dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari MATLAB. Perbandingan keluaran dengan hasil dari MATLAB hanya digunakan untuk memvalidasi bahwa program yang telah dibuat dan diunggah pada alat sudah benar karena nilai keluaran yang diperoleh di alat sudah sangat

mendekati keluaran di MATLAB. Fuzzy Logic Toolbox digunakan pada penelitian ini dengan memberikan data masukan yang sama dengan alat.

Pada Fuzzy Logic Toolbox di MATLAB dapat dilihat tampilan 3D dari masukan dan keluaran. Grafik 3D yang menggambarkan kedua masukan dan sebuah keluaran dari MATLAB ditunjukkan pada Gambar 10. Pada grafik tersebut tampak bahwa makin biru warna grafik, makin aman kondisi makanan; makin kuning warna grafik, makin berbahaya kondisi makanan. Warna di antara biru dan kuning menunjukkan kondisi waspada.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil membuat alat pendeteksi formalin pada makanan dengan mengimplementasikan logika *fuzzy* metode Mamdani. Berdasarkan hasil yang diperoleh, alat yang dibuat berhasil mendeteksi adanya formalin pada makanan, tetapi banyaknya kadar formalin belum teruji karena alat acuan hanya berupa kit formalin. Namun, keluaran yang dihasilkan sudah sangat mendekati hasil yang diperoleh menggunakan MATLAB. Kadar formalin yang paling sedikit pada sampel tahu adalah sampel H, yaitu sebesar 0,60 ppm, sedangkan kadar formalin yang paling banyak pada sampel tahu adalah sampel E, yaitu sebesar 13,64 ppm. Kadar formalin yang paling sedikit pada ikan asin adalah sampel P, yaitu sebesar 7,14 ppm, sedangkan kadar formalin yang paling banyak pada sampel ikan asin adalah sampel T, yaitu sebesar 193,81 ppm. Nilai akurasi dari keseluruhan pengujian dua puluh sampel adalah 95%. Rata-rata *error* antara keluaran alat dan MATLAB sebesar 1,15%.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran agar hasil yang diperoleh dapat lebih baik lagi. Pertama, data pembandingan dalam mengukur kadar formalin sebaiknya diperoleh dengan pengujian formalin di laboratorium, sehingga kadar formalin dalam ppm dari alat dapat divalidasi. Kedua, sebaiknya digunakan sensor gas tunggal khusus formalin sebagai sensor pendeteksinya agar gas selain formalin tidak ikut terdeteksi.

KONFLIK KEPENTINGAN

Semua penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Indri Yanti; metodologi, Indri Yanti; desain sistem, Cyntiya Laxmi Haura, Indri Yanti, dan Muh Pauzan; perangkat lunak, Cyntiya Laxmi Haura, Indri Yanti, dan Muh Pauzan; analisis, Cyntiya Laxmi Haura, Indri Yanti; penulisan—penyusunan draf asli, Cyntiya Laxmi Haura; penulisan—peninjauan dan penyuntingan, Indri Yanti dan Muh Pauzan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Program Studi Teknik Komputer Universitas Wiralodra yang telah memberikan fasilitas laboratorium untuk penelitian ini.

REFERENSI

- [1] T. Harmawan dan N. Fadilla, "Pemeriksaan Formalin terhadap Ikan Asin Kepala Batu (*Pseudocienna Amovensis*) dan Dencis (*Sardinella Lemuru*) di Daerah Medan Helvetia," *Quimica: J. Kim. Sains, Terap.*, Vol. 2, No. 2, hal. 14–17, Okt. 2020, doi: 10.33059/jq.v2i2.2683.
- [2] H. Suryadi, M. Kurniadi, dan Y. Melanie, "Analisis Formalin dalam Sampel Ikan dan Udang Segar dari Pasar Muara Angke," *Maj. Ilm. Kefarmasian*, Vol. 7, No. 3, hal. 16–31, Des. 2010, doi: 10.7454/psr.v7i3.3458.

- [3] A.N. Sari, R. Rahmadani, dan N. Hidayah, "Identifikasi Kadar Formalin pada Tahu Mentah yang Dijual di Pasar Tradisional Kota Banjarmasin," *J. Pharm. Care, Sci.*, Vol. 2, No. 1, hal. 5–14, Nov. 2021, doi: 10.33859/jpcs.v2i1.124.
- [4] F. Baskoro dan R. Susanto, "Rancang Bangun Pendeteksi Formalin dan Rhodamin B Berbasis Arduino," *J. Elect. Eng. Comput. (JEECOM)*, Vol. 2, No. 2, hal. 31–40, Oct. 2020, doi: 10.33650/jeeecom.v2i2.1450.
- [5] R. Rendyansyah, R. Passarella, dan R. Eftika, "Implementasi Sensor Gas dan Fuzzy Logic untuk Mendeteksi Formalin pada Tahu," *Annu. Res. Semin.*, Vol. 4, No. 1, hal. 156–160, 2018.
- [6] D. Pratmanto dan E. Nur Khasanah, "Alat Pendeteksi Formalin pada Ikan Segar Menggunakan Sensor HCHO Berbasis Arduino," *Conten: Comput., Netw. Technol.*, Vol. 1, No. 1, hal. 1–6, Jun. 2021, doi: 10.31294/conten.v1i1.387.
- [7] N.P.L. Laksmani, I.N.K. Widjaja, dan Sonia, "Stabilitas Formalin terhadap Pengaruh Suhu dan Lama Pemanasan," *J. Farm. Udayana*, Vol. 4, No. 2, hal. 76–81, Des. 2015.
- [8] M. Pauzan dan I. Yanti, "Sistem Absensi Fingerprint Berbasis Arduino dengan Data Penyimpanan di Micro SD," *Gema Wiralodra*, Vol. 13, No. 2, hal. 663–679, Okt. 2022, doi: 10.31943/gemawiralodra.v13i2.273.
- [9] M. Pauzan dan I. Yanti, "Bel Sekolah Otomatis Berbasis Arduino yang Dikontrol Menggunakan Aplikasi Mobile," *J. Nas. Tek. Elekt., Teknol. Inf.*, Vol. 10, No. 2, hal. 163–169, Mei 2021, doi: 10.22146/jnteti.v10i2.1272.
- [10] A. Wanto, "Analisis Penerapan Fuzzy Inference System (FIS) dengan Metode Mamdani pada Sistem Prediksi Mahasiswa Non Aktif (Studi Kasus : AMIK Tunas Bangsa Pematangsiantar)," *Pros. Semin. Nas. Inov., Teknol. Inf.*, 2016, hal. 393–400.
- [11] M. Irfan, C.N. Alam, dan D. Tresna, "Implementation of Fuzzy Mamdani Logic Method for Student Drop Out Status Analytics," *J. Phys.: Conf. Ser.*, Vol. 1363, Nov. 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1363/1/012056.
- [12] M. Rivai, Rendyansyah, dan D. Purwanto, "Implementation of Fuzzy Logic Control in Robot Arm for Searching Location of Gas Leak," *2015 Int. Semin. Intell. Technol., Its Appl. (ISITIA)*, 2015, hal. 69–74, doi: 10.1109/ISITIA.2015.7219955.
- [13] A. Fathoni, M. Mustain, dan R. Wardhani, "Sistem Pendukung Keputusan Penjurusan Siswa pada SMA Pancamarga 1 Lamongan Menggunakan Metode Fuzzy," *Joutica: J. Inform. Unisla*, Vol. 3, No. 1, hal. 151–158, Apr. 2018, doi: 10.30736/jti.v3i1.202.
- [14] P.Y. Priyono dan A.M. Abadi, "Sistem Pengambilan Keputusan dalam Pemilihan Smartphone dengan Metode Mamdani Penggandaan," *Semin. Mat., Pendidik. Mat.*, 2017, hal. 187–194.
- [15] A. Patel, S.K. Gupta, Q. Rehman, dan M.K. Verma, "Application of Fuzzy Logic in Biomedical Informatics," *J. Emerg. Trends Comput., Inf. Sci.*, Vol. 4, No. 1, hal. 57–62, Jan. 2013.
- [16] I. Agus, S.W. Ningsih, dan A.M. Abadi, "Fuzzy Decision Making with Mamdani Method and Its Application for Selection of Used Car in Sleman Yogyakarta," *4th ICRiems Proc.*, 2017, hal. 35–44.
- [17] C.S.S. Pamungkas, D.J. Manehat, dan S.D.M. Mau, "Aplikasi Fuzzy Logic Memprediksi Intensitas Cahaya Lampu pada Kandang Ternak Ayam Broiler," *J. Komput. Terap.*, Vol. 5, No. 1, hal. 1–9, Mei 2019, doi: 10.35143/jkt.v5i1.2137.
- [18] S. Pertiwi, "Design and Making Formalin Level Detection Tools in Food Using Archuino Uno-Based HCHO Sensors with Notification Through SMS," Skripsi, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan, Indonesia, 2019.
- [19] V. Vidiawati, "Analisis Kandungan Formalin pada Tahu di Gampong Ujung Padang, Puloe Ie Dan Blok 10 Kecamatan Kuala Kabupaten Nagan Raya Tahun 2013," Skripsi, Universitas Teuku Umar, Aceh Barat, Indonesia, 2013.
- [20] A.T. Lema dan J.M. Jacob, "Deteksi Formalin dan Logam Berat pada Ikan Segar di Pasar Tradisional Kota Kupang," *J. Kim. (J. Chem.)*, Vol. 14, No. 2, hal. 147–152, Jul. 2020, doi: 10.24843/jchem.2020.v14.i02.p07.
- [21] A. Rivanda, "Pengaruh Paparan Karbon Monoksida terhadap Daya Konduksi Trakea," *J. Majority*, Vol. 4, No. 8, hal. 153–159, Nov. 2015.
- [22] A. Fauzi, A. Hermiati, A. Wardani, dan N. Husodo, "Mesin Roll Bending Plat Akrilik," *Pekan Ilm. Mahasiswa Nas. Program Kreativitas Mhs. - Teknol. 2014*, 2014, hal. 1–9.
- [23] R.A. Ivory, N. Kholis, N. Nurhayati, dan F. Baskoro, "Review Penggunaan Sensor Suhu terhadap Respon Pembacaan Skala pada Inkubator Bayi," *J. Tek. Elekt.*, Vol. 10, No. 1, hal. 185–194, Jan. 2021, doi: 10.26740/jte.v10n1.p185-194.