

## APLIKASI JARINGAN SYARAF TIRUAN PADA SISTEM E-NOSE

**Budi Gunawan<sup>1\*</sup>, Arief Sudarmadji<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus  
Gondangmanis, PO Box 53, Bae, Kudus 59352

<sup>2</sup>Teknologi Pangan, Fakultas Pertanian, UNSOED Purwokerto  
Grendeng, Purwokerto Utara, Banyumas, 53123, Jawa Tengah - Indonesia

\*Email: budi.gunawan@umk.ac.id

### Abstrak

*Pada penelitian ini akan dirancang sistem electronic nose (penciuman elektronik) menggunakan program kecerdasan buatan Jaringan Syaraf Tiruan (Neural Network). Sistem e-nose yang akan dibuat menggunakan sensor dari bahan polimer. Jenis polimer yang akan digunakan terdiri dari 4 jenis, yaitu; polyethylene glycol (PEG) 6000, PEG200, PEG20M, dan PEG1450. Bahan polimer ini dicampur dengan karbon aktif sehingga menjadi bahan komposit polimer-karbon. Penggunaan bahan komposit polimer-karbon sebagai sensor gas karena sifat unik dari bahan tersebut, yaitu mempunyai resistansi tertentu apabila terpapar jenis gas tertentu. Resistansi ini berbeda untuk tiap jenis polimer dan tiap jenis gas yang dideteksi. Berdasar sifat unik tersebut, muncul ide untuk menggabungkan beberapa sensor dari beberapa jenis polimer menjadi deret sensor yang secara bersama-sama digunakan sebagai 'indra' dalam sistem pendeteksi. Penggabungan beberapa sensor tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan pola tegangan keluaran dari sensor apabila terpapar suatu jenis gas tertentu, sehingga setiap gas akan mempunyai pola tegangan yang unik juga. Dengan pola tegangan tersebut akan di belajarkan ke program kecerdasan buatan, yang dalam penelitian ini digunakan jaringan syaraf tiruan propagasi balik. Alat ini akan diujikan pada pendeteksian kandungan bahan pengawet berbahaya pada makanan, yaitu formalin. Sampel bahan makanan yang akan diuji terdiri dari 3 jenis, yaitu tahu, mie dan bakso. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa sistem yang dibuat mempunyai keakuratan dalam mendeteksi kandungan formalin dalam bahan makanan sebesar 75%.*

**Kata kunci:** sensor, polimer, deteksi, formalin, jaringan syaraf tiruan

### 1. PENDAHULUAN

Isu maraknya penyalahgunaan bahan formalin sebagai pengawet dalam bahan pangan dan kesulitan konsumen dalam mengidentifikasi secara inderawi membuat konsumen resah dan dirugikan. Hal ini menuntut dibutuhkannya alat yang dapat mendeteksi secara akurat dan portabel yang bisa digunakan dilapangan oleh dinas kesehatan dan balai pengawas obat & makanan (BP-POM). Meskipun formalin dikategorikan dalam jenis bahan tambahan terlarang digunakan dalam makanan seperti tertuang di Peraturan Menteri Kesehatan No. 1168/Menkes/PER/X/1999 dan berbagai dampak buruk yang ditimbulkannya bagi tubuh manusia, akan tetapi penyalahgunaan formalin tetap saja terjadi terutama di pasar-pasar tradisional dan industri kecil. Menurut BP-POM, sampai saat ini belum ditemukan adanya penyalahgunaan formalin oleh industri makanan skala besar. Sebab berdasarkan hasil pengujian BP-POM di lapangan, baru produk-produk UKM yang berdasarkan hasil uji sampling terbukti positif mengandung formalin. Bahkan beberapa produk cina ditemukan mengandung formalin. Hal ini menunjukkan bahwa formalin tetap bisa menjadi bahaya yang senantiasa mengancam. Dengan demikian hal penting selain peran pemerintah dalam meregulasi formalin juga adanya partisipasi masyarakat atau kelompok masyarakat dalam pengawasan. Salah satu upaya tersebut adalah dengan mengusahakan alat deteksi formalin yang cepat, akurat, dan bersifat portabel yang bisa digunakan oleh pihak-pihak terkait sehingga bisa memberikan rasa aman bagi konsumen.

Belum tersedianya sensor gas yang spesifik untuk pendeteksian formalin, menjadi latar belakang penelitian ini yang bertujuan membuat sistem pendeteksi kandungan formalin dalam bahan pangan yang bersifat portabel berbasis mikrokontroler dengan menggunakan sensor gas dari bahan komposit

polimer-karbon dengan metode pendeteksi menggunakan algoritma jaringan syaraf tiruan propagasi balik.

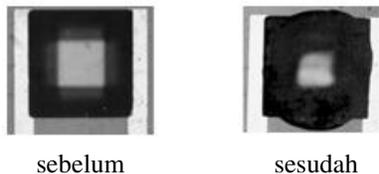
Pada penelitian ini sensor yang digunakan dibuat dari bahan polimer yang dicampur dengan karbon aktif sehingga menjadi komposit polimer-karbon. Penggunaan bahan komposit polimer-karbon sebagai sensor gas karena sifat unik dari bahan tersebut, yaitu mempunyai resistansi tertentu apabila terpapar jenis gas tertentu. Resistansi ini berbeda untuk tiap jenis polimer dan gas yang dideteksi. Berdasar sifat unik tersebut, muncul ide untuk menggabungkan beberapa sensor dari beberapa jenis polimer menjadi deret sensor yang secara bersama-sama digunakan sebagai 'indra' dalam sistem pendeteksi.

Penggabungan beberapa sensor tersebut dimaksudkan untuk mendapatkan pola tegangan keluaran dari sensor apabila terpapar suatu jenis gas tertentu, sehingga setiap gas akan mempunyai pola tegangan yang unik juga. Dengan pola tegangan tersebut akan di belajarkan ke program kecerdasan buatan, yang dalam penelitian ini digunakan jaringan syaraf tiruan propagasi balik.

Polimer merupakan senyawa-senyawa yang tersusun dari molekul sangat besar yang terbentuk oleh penggabungan berulang dari banyak molekul kecil. Molekul yang kecil disebut monomer, dapat terdiri dari satu jenis maupun beberapa jenis. Polimer adalah sebuah molekul panjang yang mengandung rantai-rantai atom yang dipadukan melalui ikatan kovalen yang terbentuk melalui proses polimerisasi dimana molekul monomer bereaksi bersama-sama secara kimiawi untuk membentuk suatu rantai linier atau jaringan tiga dimensi dari rantai polimer. Karakteristik utama dari rantai tersebut adalah ikatan kimia yang kuat dan arahnya sepanjang rantai, tetapi rantai tersebut sisi-sisinya hanya diikat oleh ikatan lemah van der Waals atau biasanya disebut ikatan hydrogen. Macam-macam ikatan dalam rantai polimer yang panjang dan fleksibel antara lain: Polyethylene, polystyrene, poly (methyl methacrylate), poly (oxyethylene), poly (dimethyl siloxane). Proses pembentukan polimer dari monomernya disebut dengan polimerisasi. Polimerisasi tersebut akan menghasilkan polimer dengan jumlah susunan ulang yang tertentu. Jumlah susunan ulang pada hasil proses polimerisasi dikenal sebagai derajat polimerisasi [1-3].

Sensor komposit polimer-karbon mampu merespon rangsangan yang berasal dari senyawa kimia saat sensor dipapar dengan uap bahan kimia karena saat uap mengenai permukaan polimer akan berdifusi ke campuran bahan polimer-karbon dan menyebabkan ukuran permukaan polimer bertambah luas karena adanya efek 'swelling'. Dengan efek mengembang ini memungkinkan perubahan luas permukaan sensor jika terkena gas. Perubahan luas permukaan ini mempengaruhi perubahan resistansi dari sensor sehingga dengan perubahan resistansi ini bisa mempengaruhi juga nilai konduktivitas sensor.

Peranan atom atau molekul doping adalah menghasilkan cacat dalam rantai polimer tersebut. Cacat inilah yang berperan dalam penghantaran listrik. Cacat dapat bermuatan positif, negative, atau netral. Secara fisika cacat berperilaku seolah-olah sebagai partikel. Cacat dapat berpindah sepanjang rantai, sehingga menimbulkan aliran muatan. Elektron atau hole juga dapat meloncat dari satu posisi cacat ke posisi cacat yang lain, sehingga timbul pula aliran listrik. Jumlah cacat bertambah dengan penambahan jumlah atom dopan yang terlalu banyak dapat menurunkan sifat mekanik polimer [4].



**Gambar 1 Efek 'swelling' pada polimer;**

Awalnya sensor gas ditujukan untuk mendeteksi keberadaan gas-gas berbahaya bagi kesehatan manusia, seperti amoniak, asam sulfida, karbon monoksida, ataupun kebocoran gas elpiji. Seiring ditemukan beragam sensor gas untuk senyawa kimia lain, maka penggunaan sensor gas dalam bahan pangan mulai dilakukan dengan membuat sistem e-nose. Fungsi tiap komponen sistem penciuman manusia diadopsi menggunakan perangkat keras elektronik, seperti bagian reseptor menggunakan

beragam sensor yang tersusun secara larik sehingga dapat dibentuk sistem penciuman buatan, yang dikenal dengan penciuman elektronik [5-6].

Penelitian sebelumnya mengenai e-nose dilakukan oleh Jiri Janata yang mengembangkan sistem penciuman elektronik portable yang menggunakan deret sensor berbahan komposit polimer-karbon yang digunakan untuk mengklasifikasi volatile organic compound pada sampel minuman brandy dan whiskey dan juga Hua Bai yang melakukan penelitian untuk mengidentifikasi tingkat kematangan buah tomat dengan teknik penciuman elektronik menggunakan deret sensor metal oxide semiconductor [2-7].

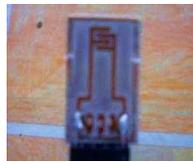
## 2. METODOLOGI

### 2.1 Jenis polimer

Jenis polimer yang akan digunakan dalam penelitian ini ada 4 jenis, yaitu; polyethylene glycol (PEG) 6000, PEG 1540, PEG 20M, dan PEG 200.

### 2.2 Proses pembuatan sensor

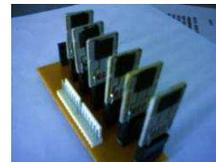
Sensor dalam penelitian ini dibuat dari bahan polimer yang dicampur dengan karbon aktif sehingga membentuk komposit polimer karbon. Bahan tersebut dilapiskan pada sebuah board. Tiap board sensor dibuat dengan dimensi 1,5 x 2,5 cm dan jalur PCB sensor dibuat jalur interkoneksi. Board sensor dilapisi dengan campuran polimer dengan karbon aktif dengan perbandingan komposisi 1:1, sebagai zat penggandeng digunakan sodium lauril sulfat (SLS) 0,001g. Proses pencampurannya sebagai berikut; PEG, karbon aktif dan SLS ditimbang dengan perbandingan komposisi tersebut, lalu dicampurkan dalam beaker gelas, campuran tersebut ditambahkan aquademin tetes demi tetes hingga membentuk gel, kemudian gel tersebut dilapiskan pada board yang akan digunakan sebagai sensor gas, setelah itu dimasukkan ke dalam oven selama 2 jam dengan suhu 400<sup>0</sup>C, setelah dipanaskan dalam oven kemudian decicator selama 1x24 jam untuk menetralkan kandungan oksigen dan gas-gas yang lain dan board sudah siap jadi sebuah sensor komposit polimer-karbon. Gambar sensor sebagai berikut;



Board sensor



Polymer Sensor



Sensor array

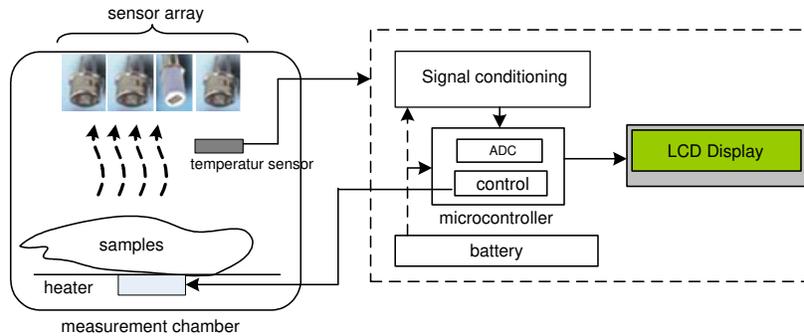
**Gambar 2. Polymer sensors dan sensor array**

### 2.3 Variabel yang diukur

Variabel dalam pengujian meliputi; (1) resistansi dan tegangan keluaran tiap sensor, (2) temperatur pengujian dalam chamber, dan (3) kadar formalin dalam sampel yang diuji.

### 2.4 Diagram Block System

Diagram blok sistem terdiri dari beberapa bagian, yaitu; (1) measurement chamber, yang didalamnya terdiri dari; heater, sensor temperatur, dan sensor polimer yang disusun array (2) akuisisi data, yang terdiri dari; signal conditioning, ADC dan mikrokontroler. (3) battery sebagai power supply dan (4) LCD sebagai tampilan hasil identifikasi.



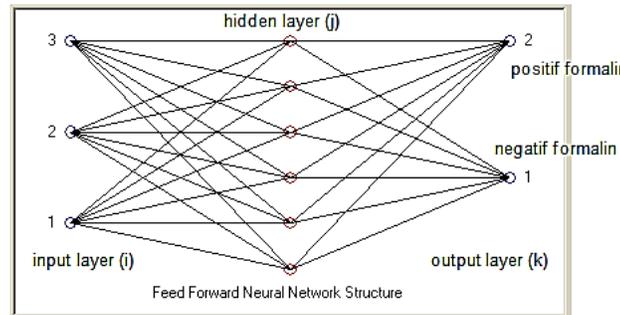
**Gambar 3. Blok diagram sistem**

**2.5 Sampel bahan makanan**

Sebagai sampel akan digunakan bahan makanan yang biasa dijual di pasar tradisional, yaitu; (1) tahu, (2) bakso dan (3) mie. Pengujian akan dilakukan dengan memberi kondisi suhu yang bervariasi kedalam chamber pengujian, adapun kondisi yang akan digunakan adalah; (1) tanpa pemanas, (2) dengan pemanas suhu 40<sup>0</sup>C, (3) dengan pemanas suhu 50<sup>0</sup>C dan (4) dengan pemanas suhu 60<sup>0</sup>C.

**2.6 Software identification**

Program identifikasi menggunakan jaringan syaraf. Jaringan Saraf Tiruan yang akan digunakan adalah multi layer perceptron dengan pelatihan Backpropagation. Data akusisi dari sensor akan dijadikan sebagai masukan jaringan syaraf tiruan dan 2 kriteria kondisi bahan pangan sebagai keluaran. Rancangan multi layer perceptron (MLP) menggunakan 3 lapis seperti ditunjukkan dalam Gambar;



**Gambar 4. Skema 3 lapis multi layer perceptron**

Proses learning dengan algoritma backpropagation dalam jaringan syaraf tiruan dilakukan menggunakan persamaan (1) sampai persamaan (11). Tahapan algoritma Backpropagation untuk proses learning dalam JST 3 layer secara garis besar terdiri dari dua alur, yaitu;

1. Alur maju (*Forward*)

Langkah-langkah dalam alur maju adalah:

- a. normalisasi input dan nilai *desire output* (menjadi dalam range 0 – 1).
- b. memberi nilai *weight* secara acak/random pada nilai -1 s/d +1
- c. memberi inisialisasi nilai *bias* = 1
- d. mencari nilai *sum* dan *sigmoid* untuk *Hidden layer* dan *Ouput layer*

a). Hidden Layer

Nilai *sum*:

$$Z_j = \sum_{i=0}^N X_i.V_{ij} \dots\dots\dots (1)$$

dengan N = jumlah synapse layer2 (hidden layer)

Nilai Sigmoid:

$$Z_j' = \frac{1}{1 + e^{-Z_j + bias}} \dots\dots\dots (2)$$

b). Output Layer

Nilai sum:

$$Y_k = \sum_{i=0}^M Z_j' \cdot W_{jk} \dots\dots\dots (3)$$

dengan M = jumlah synapse layer3

Nilai Sigmoid:

$$Y_k' = \frac{1}{1 + e^{-Y_k + bias}} \dots\dots\dots (4)$$

2. Alur mundur (*Backward*)

Langkah-langkah dalam alur mundur adalah:

a. Menghitung output error ( $\partial_k$ )

Output error = Output layer3 – desire output

$$Err_k (MSE) = \frac{1}{2} (d_k - Y_k')^2 \dots\dots\dots (5)$$

$$\partial_k = \frac{dErr_k}{dY_k'} = d_k - Y_k' \dots\dots\dots (6)$$

b. Menghitung hidden error ( $\partial_o$ )

$$\partial_o = \frac{dErr_k}{dZ_j} = \frac{dErr_k}{dY_k} \cdot \frac{dY_k}{dZ_j'} \cdot \frac{dZ_j'}{dZ_j}$$

$$Err_j = \frac{dErr_k}{dY_k} \cdot \frac{dY_k}{dZ_j'} = \sum_{k=1}^L \partial_k \cdot W_{jk}$$

$$\partial_o = Err_j \cdot Z_j' \cdot (1 - Z_j') \dots\dots\dots (7)$$

c. Updating weight untuk weight pada Hidden – Output layer

$$\Delta W_{jk} = \eta \cdot \frac{dErr_k}{dW_{jk}} = \eta \cdot \frac{dErr_k}{dY_k} \cdot \frac{dY_k}{dW_{jk}} = \eta \cdot \partial_k \cdot Z_j'$$

$$W_{jk} = W_{jk} + \Delta W_{jk} \dots\dots\dots (8)$$

d. Updating nilai bias pada output layer

$$\Delta bias_k = \eta \cdot \frac{dErr_k}{dbias_k} = \eta \cdot \frac{dErr_k}{dY_k'} \cdot \frac{dY_k'}{dbias_k} = \eta \cdot \partial_k \cdot 1$$

$$bias_k = bias_k + \Delta bias_k \dots\dots\dots (9)$$

e. Updating weight untuk weight pada Input – Hidden layer

$$\Delta V_{ij} = \eta \cdot \frac{dErr_j}{dV_{ij}} = \eta \cdot \frac{dErr_j}{dZ_j'} \cdot \frac{dZ_j'}{dV_{ij}} = \eta \cdot \partial_o \cdot X_i$$

$$V_{ij} = V_{ij} + \Delta V_{ij} \dots\dots\dots (10)$$

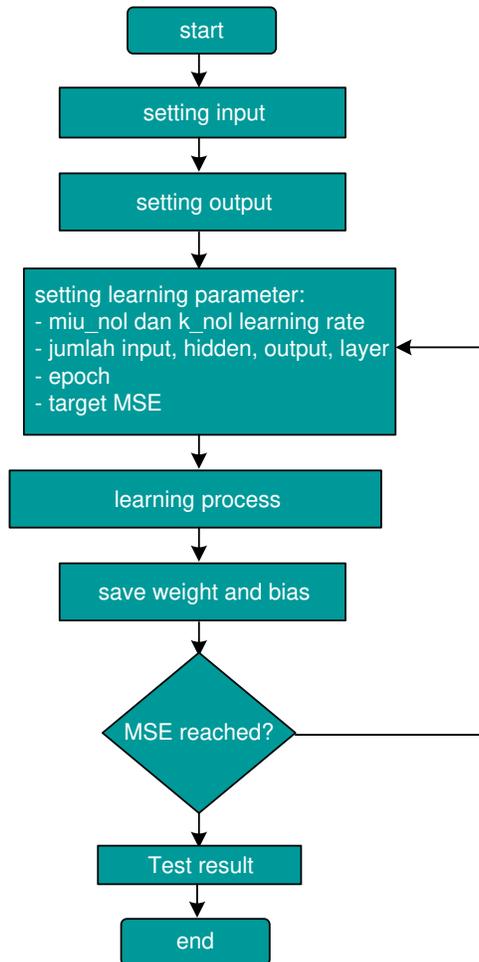
f. Updating bias pada hidden layer

$$\Delta bias_j = \eta \cdot \frac{dErr_j}{dbias_j} = \eta \cdot \frac{dErr_j}{dZ_j'} \cdot \frac{dZ_j'}{dbias_j} = \eta \cdot \partial_o \cdot 1$$

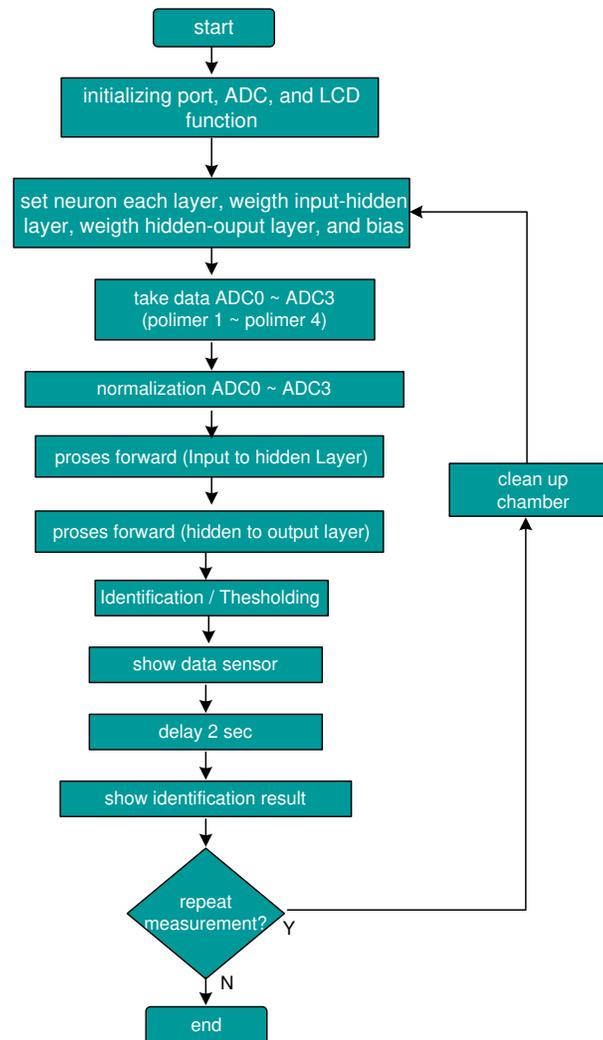
$$bias_j = bias_j + \Delta bias_j \dots\dots\dots(11)$$

Pembuatan program jaringan syaraf tiruan dengan algoritma *backpropagation* menggunakan program Visual basic 6.0.

**2.7 Flowcart Program**



**Gambar 5 Flowchart pembelajaran**



**Gambar 6** Flowchart identifikasi

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Ajuisisi data

Rangkaian akuisisi data terintegrasi dalam satu board dengan rangkaian pemanas dan pengontrolnya, sebagai pemanas pada chamber tempat sampel bahan makanan serta rangkaian LCD sebagai penampil hasil deteksi sensor yang telah diolah oleh program jaringan syaraf tiruan yang ada dalam mikrokontroller.



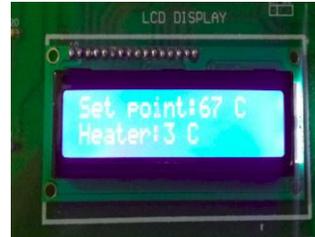
**Gambar 7** Rangkaian akuisisi data

### 3.2 Rangkaian Pemanas dan Kontrol Suhu

Rangkaian pemanas dan kontrol suhu digunakan untuk memberi kondisi suhu yang bervariasi sesuai dengan setting pengujian yang dikontrol oleh mikrokontroller dengan beberapa riley. Untuk mensetting suhu yang dikehendaki digunakan LCD untuk menampilkan setting point dan pengukuran suhu yang berada dalam chamber pengujian.



**Kontrol pemanas**



**LCD setting point**

**Gambar 8 Rangkaian pemanas dan kontrol suhu**

### 3.3 LCD Sebagai Penampil Hasil Identifikasi

Sebagai penampil hasil deteksi pada alat deteksi portable ini digunakan LCD yang akan menampilkan hasil deteksi dengan menampilkan tiga kondisi pendeteksian; 1) “Mengandung Formalin” apabila sampel bahan makanan yang dideteksi ada formalin. 2) “Tidak Mengandung Formalin” apabila sampel bahan makanan tidak mengandung formalin, dan 3) “Belum Teridentifikasi” apabila sampel mendeteksi gas selain formalin dan belum ter-learning-kan di program Jaringan Syaraf Tiruan yang dibuat.



**Gambar 9 LCD Sebagai penampil hasil identifikasi**

### 3.4 Realisasi Keseluruhan Perangkat Keras

Realisasi sistem berupa alat pendeteksi formalin pada bahan makanan yang bersifat portable diperlihatkan pada figur 10 below;



**rangkaian akuisisi data dan sensor**



**system portable**

**Gambar 10 Sistem pendeteksi formalin portabel**

### 3.5 Hasil Pengujian

Pada pengujian sampel (bakso, tahu dan mie), sensor diuji responnya terhadap dua kondisi, yaitu tanpa formalin dan dengan formalin. Masing-masing kondisi diuji pada empat keadaan, yaitu: tanpa pemanas, dengan pemanasan 40°C, 50°C dan 60°C. Masing-masing pengujian dilakukan sebanyak tiga kali. Hasil pengujian dari masing sampel kemudian digunakan sebagai data training program jaringan syaraf tiruan. Training ini berfungsi untuk ‘mengajari’ masing-masing sensor dalam mengidentifikasi mengandung tidaknya komoditas yang dideteksi berdasarkan respon hasil pengujian. Dalam training ini masing-masing sensor akan ‘dilatih’ untuk mendeteksi ada tidaknya formalin dengan target keluaran ‘1’ apabila sampel yang dideteksi mengandung formalin dan ‘0’ apabila tidak mengandung formalin. Setelah program ditraining dan dimasukkan dalam sistem, kemudian sistem digunakan dalam pengujian sesungguhnya untuk melihat seberapa akurat sistem dalam mendeteksi sampel yang mengandung formalin dan tidak mengandung formalin. Prosentase rata-rata hasil pengujian dari ke tiga jenis bahan sampel dengan empat kondisi pengujian dan perulangan tiga kali adalah sebagai berikut; (1) tanpa formalin : 91,7%, (2) dengan formalin: 75%

### 4. KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah dibuat sistem pendeteksi kandungan bahan pengawet berbahaya (formalin) pada bahan makanan portabel menggunakan sensor berbahan polimer dengan software deteksi jaringan syaraf tiruan. Penelitian ini berhasil membuktikan bahwa bahan polimer yang secara defaultnya mempunyai sifat isolator dengan menambahkan karbon aktif bisa menjadi bahan konduktor dan mempunyai sifat yang unik, yaitu nilai resistansinya berubah apabila terkena gas, dan nilai resistansi yang berbeda pada jenis gas yang berbeda. Dengan sifat tersebut sensor polimer, pada penelitian ini digunakan empat jenis polimer, yaitu polyethylene glycol (PEG) 6000, PEG 1540, PEG 20M, dan PEG 200 bisa digunakan sebagai sensor gas. Sebagai software pendeteksi digunakan program kecerdasan buatan yaitu jaringan syaraf tiruan. Hasil pengujian menunjukkan keakuratan deteksi adanya formalin pada bahan makanan sebesar 75%. Saran untuk penelitian selanjutnya; mungkin bisa dicoba menggunakan sensor metal oxid semiconductor (MOS) dan dibandingkan hasilnya dengan sensor dari polimer ini

### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Atkins, P. W. (1990), Physical Chemistry. 4th ed. New York: W.H. Freeman
- [2]. Elias, H.-G. (1987), Mega Molecules. Berlin: Springer-Verlag
- [3]. Gunawan B, Riva'i, Juwono, (2012), Characterization of Polymeric Chemiresistors for Gas Sensor, *Telkonnika*, Vol.10, No.2, June 2012, pp. 275~280
- [4]. Hua Bai and Gaoquan Shi (2006), Gas Sensors Based on Conducting Polymers
- [5]. Albert, Lewis NS, Schauer CL, Sotzing GA, Stizel SE, Vaid TP, 2000. Cross-reactive chemical sensor arrays. *Chem Rev*, 100, pp.2595-2626.
- [6]. Frank Zee and Jack Judy (1999), Mems Chemical Gas Sensor Using A Polymer-Based Array, Published at *Transducers '99 - The 10th International Conference on Solid-State sensors and Actuators on June 7-10, Sendai, Japan*
- [7]. Jiri Janata And Mira Josowicz (2002), *Conducting Polymers In Electronic Chemical Sensors*
- [8]. Department Of Chemical Engineering Brigham Young University (2006), *Modeling And Data Analysis Of Conductive Polymer Composite Sensors*.
- [9]. Kohlman, R. S. and Epstein, Arthur J. (1998), *Insulator-Metal Transition and Inhomogeneous Metallic State in Conducting Polymers*. Skotheim, Terje A.; Elsenbaumer, Ronald L., and Reynolds, John R., Editors. *Handbook of Conducting Polymers*. 2nd ed. New York: Marcel Dekker; pp. 85-122.
- [10]. MacDiarmid A G and Epstein A J. (1994), *Frontiers of polymers and advanced materials*, New York: Plenum Press