

Suhu Pemanas Sampel Optimal Untuk Klasifikasi Teh Hitam Menggunakan Electronic Nose

Danang Lelono^{*1}, Kuwat Triyana²

¹Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA, UGM, Yogyakarta

²Departemen Fisika, FMIPA, UGM, Yogyakarta

e-mail: ^{*1}danang@ugm.ac.id, ²triyana@ugm.ac.id

Abstrak

Optimasi suhu pemanas sampel teh hitam untuk pengukuran aroma dengan *electronic nose* (*e-nose*) telah berhasil dilakukan. Pemanasan sampel diperlukan karena teh hitam memiliki intensitas aroma yang rendah dan mudah hilang. Sehingga untuk mendapatkan respon sensor hasil transformasi aroma tidak rusak diperlukan suhu pemanas yang selektif.

Metode untuk mendapatkan suhu pemanas optimal tersebut dilakukan dengan menganalisis respon sensor yang dihasilkan. Konsistensi dan perubahan pola terbentuk dari respon sensor pada tiap perubahan suhu dibandingkan agar diperoleh suhu pemanas optimal. Sampel terukur divariasikan suhunya (30 – 60 °C) sehingga dihasilkan respon sensor dengan pola teramati. Perubahan pola mengindikasikan terjadi perubahan aroma akibat pembakaran. Setelah suhu optimal diperoleh selanjutnya teh hitam (50 gr) Broken Orange Pokoe, Broken Pokoe II dan Bohea dengan total sampel 300 kantong diukur aromanya dengan *e-nose*. Hasil klasifikasi dengan metode *Principal Component Analysis* (PCA) sebagai bukti optimasi suhu pemanasan sampel berhasil dilakukan.

Hasil eksperimen menunjukkan pemanasan sampel optimal untuk teh hitam 3 kualitas 40 – 45 °C. Kemudian dengan PCA ketiga sampel dapat diklasifikasi hingga 92,5% total varian data. Hal ini mengindikasikan aroma teh relatif konstan dan tidak terjadi perubahan pola.

Kata kunci—Aroma, suhu pemanas, *e-nose*, PCA, Klasifikasi

Abstract

The optimization of heating temperature of black tea samples for the measurement of aroma with *electronic nose* (*e-nose*) has been successfully performed. Sample heating is done because black tea has a low aroma intensity and easily lost. However, the selection of such temperature should be selective because it can result in damage to the aroma of the sample.

The method used to obtain the optimum heating temperature by analyzing the sensor response of the aroma transformation that is captured by *e-nose*. Consistency and pattern changes formed from the sensor response are used as a comparison of optimal heating temperature selection. The measured sample varied in temperature (30 - 60 °C) so that the resulting sensor response was observed. Change in patterns indicate the aroma has been burning. After optimal temperature is obtained then black tea (50 gr) Broken Orange Pokoe, Broken Pokoe II and Bohea with a total sample of 300 bags were measured with *e-nose*. For further analysis, the result of classification by method of *Principal Component Analysis* (PCA) as proof of sample heating temperature optimization successfully done.

The experimental results show optimal sample heating for black tea 3 quality 40 - 45 °C. After then with the third PCA the sample can be classified up to 92.5% of the total data variant. This indicates the aroma of tea is relatively constant and there is no pattern change.

Keywords—Aroma, heating temperature, *e-nose*, PCA, Classification

1. PENDAHULUAN

Hidung manusia telah banyak digunakan oleh industri sebagai alat untuk menganalisis kualitas makanan, minuman, parfum, kosmetik dan produk-produk kimia. Namun sistem indra penciuman ini umumnya bersifat subyektif karena mudah dipengaruhi kondisi fisik dan psikis dari tester[1], sedangkan peralatan analitik kimia *Proton Transfer Reaction Mass Spectrometry* (PRT-MS), *Secondary Electrospray Ionization Mass Spectrometry* (SESI-MS), *Solid Phase Microextraction* (SPME), *Selected Ion Flow Tube Mass Spectrometry* (SIFT-MS) *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (GC-MS) memerlukan ahli di dalam menganalisis hasilnya, sulit di dalam pemantauan sampel secara kontinu (*continuous monitoring*) untuk industri makanan[2], mahal tak portable dan membutuhkan waktu lama dalam menganalisis (*time consuming*)[3].

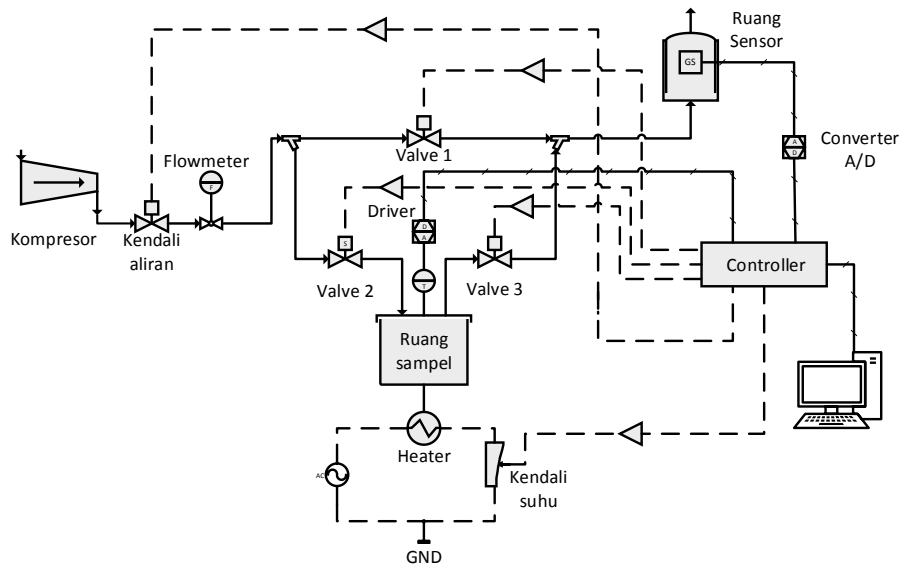
Lahirnya hidung elektronik (*electronic nose*), sebuah instrumen, cepat, murah dan mudah di dalam mengoperasikannya, dapat mengidentifikasi campuran gas volatil dari sampel organik secara keseluruhan tanpa harus mengetahui tiap unsur senyawa pembentuknya[4]. *Electronic nose* (e-nose) merupakan instrumen berbasis sensor-sensor gas kimia tak selektif (*unselected*), tergabung dalam sebuah larik sensor gas, digunakan untuk mendeteksi aroma (*odor*) sederhana maupun kompleks[5]. Implementasi e-nose telah banyak dilakukan seperti prediksi kualitas pisang[6], pemantauan proses fermentasi teh hitam[7], pemantauan kualitas daging sapi[8]. Khusus sampel konsentrasi aroma rendah, seperti teh, diperlukan pemanasan agar senyawa dan unsur pembentuk aroma yang masih banyak terperangkap pada fase padat berubah ke fase gas. Selama ini, penentuan suhu pemanas sampel teh yang dilakukan oleh masing-masing peneliti masih terbatas pada informasi nilai suhu yang diterapkan, seperti pemanasan teh hitam menggunakan lampu pijar halogen (35,0 W) dengan set suhu ($60,0 \pm 3,0$) °C[9], fermentasi teh yang dipanaskan pada suhu ($30,0 \pm 10,0$) °C[7], pengenalan pola aroma beberapa jenis teh dengan suhu pemanas ($28,0 \pm 2,0$) °C[10]. Disamping itu, Lelono et. al (2017), menggunakan suhu pemanas ($40,0 \pm 0,2$) °C untuk identifikasi teh hitam beda kualitas[11]. Dimana, di dalam menentukan suhu pemanas sampel teh hitam beda kualitas itu masih terbatas pada informasi dan belum diikuti dengan bukti dan data pendukung di dalam menetapkan nilai tersebut. Padahal bukti dan data pendukung penetapan suhu pemanasan sampel teh hitam beda kualitas optimal dan tidak merusak aroma perlu ditunjukkan.

Proses transformasi aroma menjadi respon sensor dilakukan dengan cara aroma ditangkap oleh larik sensor gas e-nose dan dirubah menjadi respon sensor. Informasi penting yang terdapat di dalam respon sensor dan menunjukkan karakteristik sampel diekstrak lebih lanjut dengan metode pengenalan pola (*pattern recognition*) agar dapat diklasifikasi. Penentuan suhu pemanasan sampel optimal dapat dilakukan dengan menggunakan statistik multivarian metode *principal component analysis* (PCA) dengan hasil teh hitam dapat diklasifikasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Setup E-Nose

E-nose yang telah dikembangkan untuk pengukuran aroma teh hitam beda kualitas secara detail ditunjukkan pada Gambar 1.



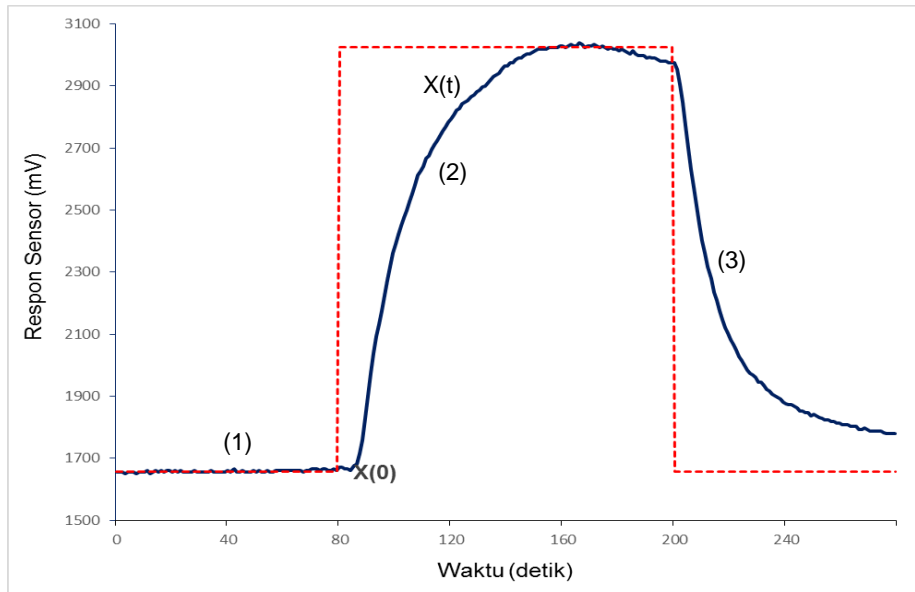
Gambar 1 Diagram skematik sistem e-nose[11]

E-nose yang telah dikembangkan oleh Lelono et. al. (2017)[11] menggunakan ruang sampel tabung silinder dengan volume 500 mL, sistem pemanas terkendali dengan akurasi kestabilan suhu hingga $\pm 0,2\%$. Kemudian untuk pengukuran aroma sampel dengan e-nose ini beberapa parameter yang perlu di-setup ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Parameter setup e-nose untuk eksperimen

| Nama Parameter | Besaran |
|---|-------------|
| Massa tiap sampel teh hitam | 50 gr |
| Jenis teh hitam (Q1, Q2 dan Q3) | 3 jenis |
| Variasi <i>setpoint</i> suhu pemanasan sampel | 30 – 60 °C |
| Waktu pengambilan sampel | > 600 detik |
| Waktu <i>flushing</i> | 300 detik |
| Waktu <i>collecting</i> | 120 detik |
| Waktu <i>purging</i> | 80 detik |
| Laju aliran udara | 4,0 L/detik |

Pengukuran aroma dilakukan dengan meletakkan teh hitam (50 gr) ke dalam ruang sampel. Kemudian dengan menggunakan aplikasi perangkat lunak e-nose [11] ditentukan suhu pemanas selama periode pengukuran, waktu *flushing*, *collecting* dan *purging*. Adapun proses pengukuran aroma teh hitam dengan konsep hirup dan hembus aroma. Proses pengukuran ini dilakukan dengan mengatur valve 1, 2 dan 3 secara otomatis melalui komputer berdasarkan durasi waktu yang telah ditentukan. Proses hirup berarti pengambilan aroma (*collecting*) dengan cara membuka valve 2, valve 3 dan menutup valve 1 sehingga udara yang berasal dari kompresor masuk ke ruang sampel dan membawa aroma teh hitam ke ruang sensor. Sedangkan proses hembus membersihkan aroma dari ruang sensor (*purging*) yang dilakukan dengan cara membuka valve 1 dan menutup valve 2 dan 3 sehingga udara bersih dari kompresor masuk ke ruang sensor. Proses *flushing* hanya diperlukan pada saat awal pergantian sampel untuk membersihkan ruang sensor dari pengaruh aroma sampel sebelumnya. Keseluruhan proses pengukuran dari awal hingga akhir direkam secara runtun waktu tiap detik oleh komputer. Secara lengkap aroma yang ditangkap dan dirubah oleh larik sensor berupa grafik respon sensor yang ditunjukkan pada Gambar 2. Analisis respon sensor lebih lanjut dilakukan dengan melakukan prapemrosesan (*preprocessing*) dan ekstraksi ciri (*feature extraction*) supaya dapat diklasifikasi dengan PCA.



Gambar 2 Respon sensor saat (1) *flushing*, (2) *collecting* dan (3) *purgings* satu siklus pengukuran

Suhu pemanas sampel optimal dipilih berdasarkan perbandingan kestabilan pola variasi suhu pemanas sampel (30 – 60 °C) untuk tiap kali pengukuran (*collecting* dan *purgings*). Kemudian setelah diperoleh suhu yang optimal selanjutnya dilakukan pengukuran sampel teh hitam kualitas 1 (Q1), kualitas 2 (Q2) dan kualitas 3 (Q3) sebanyak 300 kali. Respon sensor yang diperoleh dari masing-masing sampel selanjutnya dianalisis lebih lanjut dengan metode PCA untuk menunjukkan kemampuan dari e-nose di dalam mengklasifikasi ketiga sampel teh tersebut.

2.3 Preparasi Sampel

Bahan teh hitam diambil dari pabrik teh di PT. Tambi, Dataran Tinggi Dieng, Wonosobo, Jawa Tengah, Indonesia. Teh hitam beda kualitas tersebut ditunjukkan pada Tabel 2. Kualitas masing-masing teh hitam (Q1, Q2 dan Q3) telah diuji oleh ahli tester teh dari pabrik tersebut.

Tabel 2 Deskripsi teh hitam beda kualitas yang diukur aromanya

| Simbol | Nama Teh | Deskripsi |
|--------|---------------------------|---|
| Q1 | Broken Orange Pekoe (BOP) | Bubuk halus dari pucuk daun teh |
| Q2 | Broken Pekoe (BP) II | Bubuk sedikit kasar dari daun teh bukan pucuk |
| Q3 | Bohea | Bubuk kasar, campuran daun teh dan batang |

Persiapan sampel teh hitam tiap kualitas dilakukan dengan penimbangan sampel (50 gr). Setelah itu sampel disimpan ke dalam kantong plastik kecil dan ditutup rapat agar kedap udara. Ketiga sampel (Q1, Q2 dan Q3) masing-masing 100 kantong dikelompokkan sesuai dengan jenisnya agar aroma tidak tercampur.

2.4 Analisis Data

E-nose merupakan instrumen berbasis larik sensor gas kimia yang dikombinasikan dengan pengenalan pola di dalam melakukan analisis data untuk klasifikasi aroma. Proses analisis data dari respon sensor diawali dengan prapemrosesan sinyal (*preprocessing signal*).

2.4.1 Prapemrosesan Sinyal

Prapemrosesan sinyal merupakan proses komputasi (*computational stage*) yang dilakukan setelah aroma berhasil dirubah menjadi respon sensor, dikonversi menjadi digital dan disimpan dalam bentuk file. Prapemrosesan sinyal ini untuk mengurangi pengaruh beberapa parameter seperti derau (*noise*), penyimpangan sensor (*sensor drift*) dan aroma lain yang tidak dikehendaki sehingga respon sensor lebih terskala dan mudah untuk diekstrak cirinya dengan analisis pola multivarian (*multivariant pattern analysis*)[12]. Metode yang digunakan untuk prapemrosesan sinyal ini berupa transformasi respon sensor ($X_{ij}(t)$) relatif terhadap *baseline*-nya ($X_{ij}(0)$), dengan i adalah sensor dan j adalah aroma sampel. Sehingga untuk respon sensor ($Y_{ij}(t)$) yang telah diproses dengan metode diferensi (*difference methode*), secara matematis dapat ditulis sebagaimana persamaan (1). Metode diferensi ini mempunyai kelebihan dapat mengeliminasi penambahan kesalahan (*additive error*) seperti efek penyimpangan (*drift*) sensor, sehingga sinyal yang dihasilkan lebih tajam baik pada sinyal referensi maupun responnya[12].

$$Y_{ij}(t) = X_{ij}(t) - X_{ij}(0) \quad (1)$$

2.4.2 Ekstraksi Ciri

Ekstraksi ciri (*feature extraction*) merupakan metode untuk mengekstrak ciri dari respon sensor. Proses pengambilan ciri sampel ini memegang peranan penting di dalam menentukan kinerja dari *e-nose* karena pada tahap ini informasi yang kuat (*robust*) diekstrak dari respon sensor dan mereduksi yang tidak diperlukan sehingga hasilnya berpengaruh mesin pengenalan pola [12]. Pada proses ini respon sensor yang telah diekstrak cirinya tidak bergantung waktu (*time independent*) atau secara matematis ditunjukkan pada persamaan (2)

$$X_{ij}(t) \rightarrow X_{ij} \quad (2)$$

dengan $X_{ij}(t)$ merupakan sinyal sensor ke i untuk sampel j yang bergantung pada waktu, kemudian diekstrak cirinya menjadi X_{ij} yang merupakan ciri dari sensor ke i untuk sampel j yang tidak bergantung waktu[13]. Hines *et al.*, (2004) juga menambahkan untuk respon sensor yang dihasilkan oleh n sensor dengan sampel j dapat dibentuk matriks yang tidak bergantung waktu. Secara matematis penyusunan matriks tersebut ditunjukkan pada persamaan (3).

$$X_j = (X_{1j}, X_{2j}, X_{3j}, \dots, X_{ij}, \dots, X_{nj}) \quad (3)$$

Jika kemudian untuk larik yang sama mewakili jumlah pengukuran untuk sampel sejenis maupun beda jenis sebanyak m maka matriks tersebut menjadi matriks respon R sebagaimana persamaan (4).

$$R = \begin{pmatrix} X_{11} & X_{21} & \dots & X_{n1} \\ X_{12} & X_{22} & \dots & X_{n2} \\ \vdots & \vdots & X_{ji} & \vdots \\ X_{1m} & X_{2m} & \dots & X_{nm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

Sedangkan untuk mendapatkan ciri yang relevan dari hasil prapemrosesan respon sensor dapat dilakukan dengan menggunakan ekstraksi nilai fitur dari respon sensor yang telah stabil (*steady state*) dan merupakan perwujudan refleksi reaksi maksimum derajat perubahan sensor terhadap aroma yang diresponnya [12].

2.4.3 Principal Component Analysis

Set data hasil dari ekstraksi ciri dihimpun ke dalam sebuah matriks besar dimensi tinggi (*high dimension matriks*) dengan jumlah kolom mewakili sensor yang digunakan dan baris jumlah pengukuran ketiga sampel teh hitam. Untuk mengklasifikasi jenis-jenis teh hitam tersebut terlalu kompleks dan tidak mudah karena jumlah variabel dan data yang berisi informasi penting saling terkait satu dengan lainnya. Oleh karena itu, diperlukan sebuah analisis multivarian yang dapat menafsirkan struktur atau ciri-ciri data berdasarkan perhitungan korelasi antar variabel. Salah satu metode analisis multivarian tersebut *principal component analysis* (PCA).

PCA, bersifat tak terbimbing (*unsupervised*), sebuah algoritme *machine learning* jenis *clustering* yang dapat mengelompokkan data berdasarkan kedekatan antar *principal component*

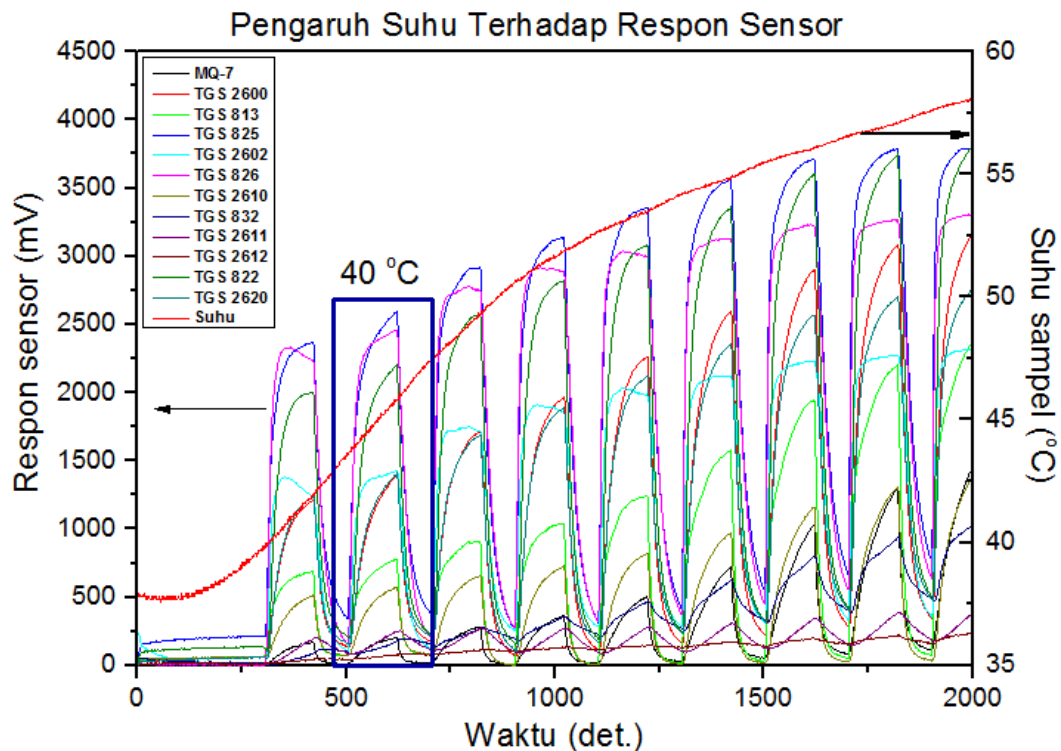
(PC) yang dimiliki. PC berupa sekumpulan parameter yang digunakan sebagai tolok ukur untuk mencirikan data. Adapun bobot tolok ukur setiap parameter berbeda-beda karena ditentukan oleh nilai Eigen yang dimiliki parameter tersebut. Sehingga semakin besar nilai Eigen akan semakin besar bobot parameter tersebut. Perbedaan bobot parameter inilah pada akhirnya menjadi tolok ukur ciri keunikan dari tiap data.

Klasifikasi kualitas teh hitam dengan PCA ini dilakukan dengan menggunakan data aroma yang berhasil ditangkap oleh 12 sensor gas sebagai parameternya. Kemudian PCA melakukan pemetaan/transformatasi set data dari dimensi tinggi (*high dimension*) ke dimensi rendah (*low dimension*). Proses selanjutnya dilakukan pencarian matriks kovarian/korelasi, nilai Eigen, vektor Eigen yang berjalan secara berurutan sehingga akhirnya masing-masing sampel dapat diklasifikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Respon Sensor Variasi Pemanasan Sampel

Konsentrasi aroma teh hitam kering yang rendah dan cepat hilang ditingkatkan dengan pemanasan pada sampel tersebut. Pemanasan ini menyebabkan suhu sampel meningkat sehingga terjadi penguapan pada senyawa *volatile* pembentuk aroma. Hasil penguapan tersebut meningkatkan distribusi gas yang akhirnya terjadi peningkatan pada respon sensor.



Gambar 3 Respon sensor terhadap variasi suhu

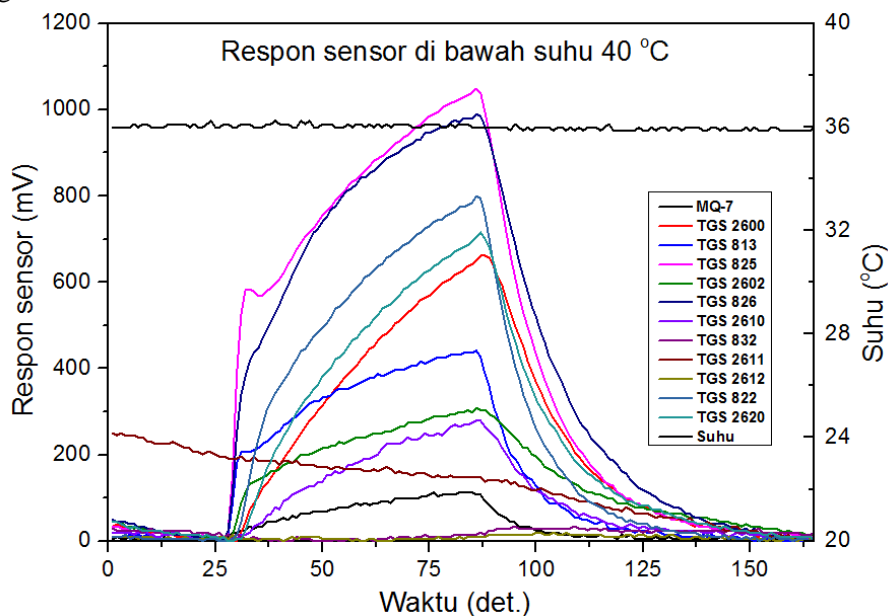
Langkah awal yang dilakukan dalam penentuan suhu pemanas sampel dengan memvariasi suhu acuan (*setpoint*) dari suhu ruang (30 °C) hingga suhu tinggi (60 °C) yang ditandai oleh aroma teh rusak karena terbakar. Suhu acuan ini digunakan oleh sistem pemanas sebagai batas pemanasan sampel. Penentuan nilai suhu pemanas optimal dipilih berdasarkan sinyal respon sensor yang besar tetapi tidak berubah polanya.

Salah satu aroma sampel teh hitam BP II yang berhasil ditangkap oleh larik sensor (12 sensor gas) dan diubah menjadi respon sensor dengan variasi suhu dari 38 – 58 °C ditunjukkan pada Gambar 3. Variasi suhu ini dilakukan tiap satu siklus pengukuran dengan *collecting* 120 detik dan *purging* 80 detik. Grafik tersebut menunjukkan sumbu vertikal sebelah kiri berupa

respon sensor (mV) yang berhubungan dengan waktu (detik), sedangkan disebelah kanan berupa suhu ($^{\circ}\text{C}$) dengan waktu (detik). Berdasarkan grafik respon sensor tersebut 11 sensor gas memberikan respon terhadap aroma teh hitam BP II, sedangkan satu sensor (TGS 2612) tidak memberikan respon. Kemudian respon sensor yang terbentuk dari variasi suhu tersebut disamping masing-masing siklus mempunyai pola yang relatif sama juga terjadi peningkatan respon sensor pada tiap siklusnya. Peningkatan respon ini sebanding dengan peningkatan suhu pada pemanasan.

Variasi suhu 40 – 45 $^{\circ}\text{C}$ menghasilkan dua respon sensor dengan pola yang relatif sama namun berbeda intensitas, dimana suhu 45 $^{\circ}\text{C}$ intensitasnya lebih besar dibandingkan dengan suhu 40 $^{\circ}\text{C}$. Adapun untuk suhu di atas 45 $^{\circ}\text{C}$, intensitas sinyal MQ-7 mengalami peningkatan, padahal pada sinyal respon sebelumnya posisi sinyal tersebut berada diantara TGS 832 dan TGS 2611. Hal ini menunjukkan telah terjadi perubahan pola pada respon sensor dimana ke tiga sensor M-Q7, TGS 832 dan TGS 2611 memiliki nilai puncak yang relatif sama.

Perubahan pola dan peningkatan respon sensor juga terjadi pada suhu di atas 55 $^{\circ}\text{C}$. Pada suhu ini intensitas MQ-7 lebih besar dari TGS 2610, demikian pula TGS 822 intensitasnya lebih besar dibanding TGS 825 dan intensitas TGS 813 lebih besar dibanding dengan TGS 2602. Lebih dari itu pemanasan sampel di atas suhu 55 $^{\circ}\text{C}$ aroma sampel teh terbakar (gosong) sudah sangat terasa.



Gambar 4 Pemanasan sampel di bawah suhu 40 $^{\circ}\text{C}$

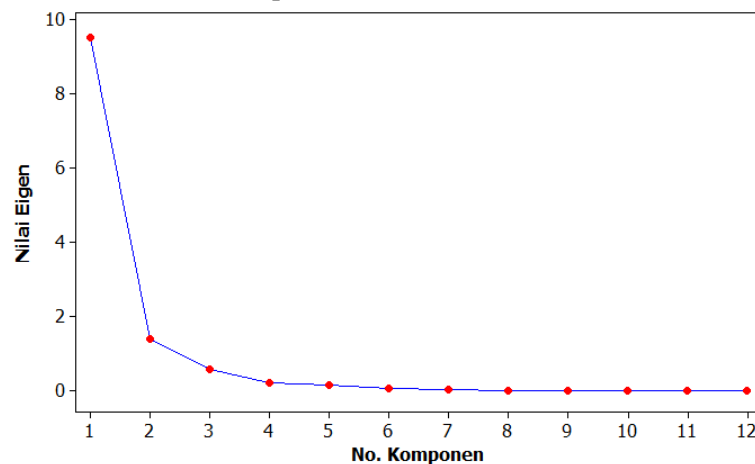
Pemanasan sampel untuk suhu lebih kecil dari 40 $^{\circ}\text{C}$ terlihat (Gambar 4) TGS 2611 belum merespon terhadap aroma sampel. Demikian pula TGS 2602 sinyal respon lebih kecil dibanding pemanasan pada suhu 40 $^{\circ}\text{C}$. Pada suhu di bawah 40 $^{\circ}\text{C}$ respon sensor ini berada diantara TGS 2610 dan TGS 813, sedangkan di atas 40 $^{\circ}\text{C}$ respon sensor ini berada pada TGS 2620 dan TGS 822. Hal ini menunjukkan pola respon sensor yang berbeda pada kedua suhu tersebut. Demikian pula, kecilnya intensitas respon sensor mengindikasikan beberapa senyawa *volatile* belum mengalami fase penguapan sehingga aroma yang terbentuk relatif kecil dibanding dengan setelah dilakukan pemanasan.

Berdasarkan uraian di atas maka *setpoint* suhu pemanas yang dipilih berada pada daerah 40 $^{\circ}\text{C}$ – 45 $^{\circ}\text{C}$. Hal ini disebabkan pola respon sensor pada daerah tersebut relatif sama. Lebih lanjut lagi dengan mempertimbangkan faktor gangguan dan ketersediaan aroma yang terbatas maka *setpoint* suhu pemanas dipilih 40 $^{\circ}\text{C}$. Disamping itu, pemilihan *setpoint* suhu pemanas ini ini dalam rangka menjaga konsistensi di dalam pengukuran. Langkah selanjutnya setelah nilai

suhu pemanas optimal ini ditentukan kemudian dilakukan pengukuran aroma masing-masing sampel pada suhu tersebut.

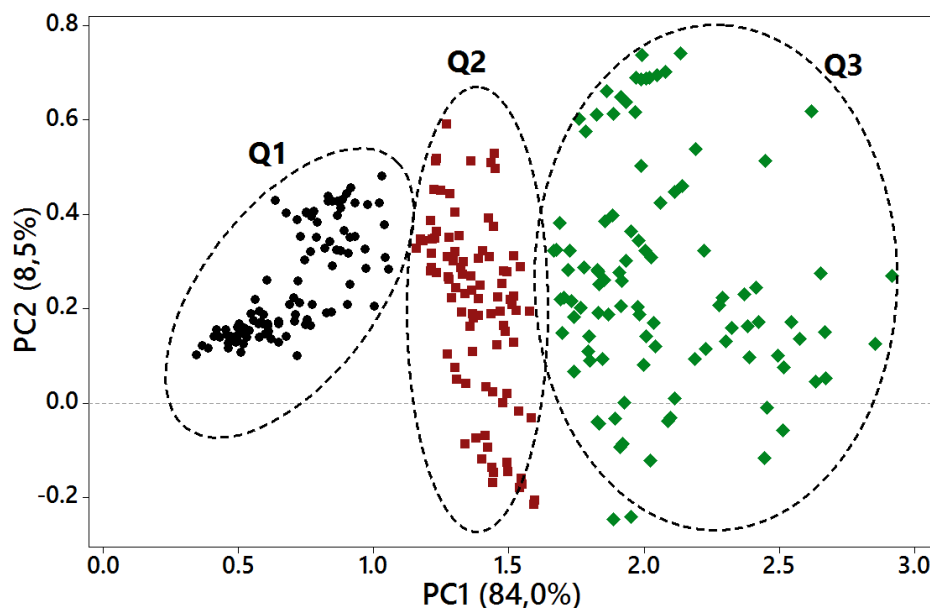
3.2 Klasifikasi Teh Hitam dengan PCA

Set data hasil dari ekstraksi ciri dihimpun ke dalam sebuah matriks besar dimensi tinggi (*high dimension matrix*) dengan jumlah kolom mewakili sensor yang digunakan (12 sensor) dan baris merupakan jumlah data pengukuran tiga jenis sampel teh hitam beda kualitas (300 data). Analisis dilakukan dengan PCA menggunakan susunan matriks ordo 300×12 , dimana pengelompokannya berdasarkan pada karakteristik pola yang sama. Kemudian dengan menggunakan aplikasi bantu (Minitab®) dicari nilai Eigen dan komponen utama agar ketiga sampel teh hitam beda kualitas tersebut dapat diklasifikasi.



Gambar 5 Hubungan nilai Eigen dengan jumlah komponen utama

Grafik (Gambar 5) menunjukkan semakin besar nilai Eigen semakin kuat pengaruhnya pada komponen utama (*principal component*) tersebut. Umumnya nilai Eigen berpengaruh kuat pada komponen utama atau PC jika lebih besar atau sama dengan 1,0. Nilai Eigen terbesar terdapat pada PC 1 sebesar 9,25, sedangkan untuk PC 2 lebih kecil yaitu sebesar 1,63. Jadi pengaruh PC 1 lebih besar dibandingkan PC 2, sedangkan untuk PC 3 dan seterusnya dapat diabaikan karena nilai Eigen lebih kecil dari 1 dan kecil pengaruhnya.



Gambar 6 Score plot klasifikasi oleh PCA untuk sampel Q1, Q2 dan Q3

Kemudian untuk memvisualisasikan informasi dari set data (*data set*) sampel teh hitam beda kualitas yang diklasifikasi ini digunakan *score plot* dalam bentuk grafik dua dimensi. Grafik tersebut dibentuk dari dua komponen utama yaitu PC 1 dan PC 2 (Gambar 6). Pemetaan kedua komponen utama dari grafik *score plot* tersebut merupakan bentuk dimensi baru (2 dimensi) hasil transformasi PCA yang dinyatakan dalam prosentase. Sedangkan masing-masing komponen utamanya dibentuk dari koefisien dan parameter-parameter terkait berupa 12 sensor gas yang digunakan.

Berdasarkan grafik *score plot* Gambar 6 ketiga sampel teh, yaitu Q1, Q2 dan Q3 dapat diklasifikasi menjadi tiga grup sesuai dengan jenis sampel yang diberikan. Pengelompokan ini didasarkan pada data yang memiliki kesamaan (*similar*) satu dengan lainnya. Data yang sama condong membentuk sebuah grup, sedangkan untuk data yang tak sama (*dissimilar*) lebih condong untuk menyebar atau menjauh dari grup. Berdasarkan grafik tersebut nilai PC 1 diperoleh 84,0%, sedangkan untuk PC2 diperoleh 8,5%, sehingga total akumulasi keduanya sebesar 92,5% dari 300 total varian data. Jadi tiga sampel teh hitam (Q1, Q2 dan Q3) beda kualitas yang dipanaskan pada suhu optimal (40 °C) aromanya dapat diklasifikasi oleh dua belas sensor gas hingga mencapai 92,5%, sedang 7,5% masih belum dapat diklasifikasi. Hal ini juga mengindikasikan bahwa suhu optimal (40 °C) yang dipilih tidak merusak aroma sampel yang diukur. Hal ini ditunjukkan oleh Gambar 6 tersebut ketiganya terpisah, walaupun jarak antara satu kelompok dengan kelompok lain berdekatan.

4. KESIMPULAN

Telah berhasil ditentukan suhu pemanas sampel optimal (40 °C) yang digunakan untuk mengklasifikasi tiga jenis teh hitam beda kualitas berdasarkan aromanya dengan e-nose. Penentuan suhu tersebut diamati berdasarkan pada pola respon sensor yang dihasilkan dari transformasi aroma tak rusak.

Pengukuran aroma sample pada suhu optimal terbukti menghasilkan aroma tak rusak yang relatif konstan dan dapat dipertahankan selama pengukuran. Hal ini dibuktikan dengan hasil analisis respon sensor terhadap 300 kali pengukuran dengan metode PCA menunjukkan ketiga sampel Q1, Q2 dan Q3 dapat diklasifikasi hingga 92,5% total varian data.

Secara umum, kemampuan e-nose di dalam mengukur sampel yang memiliki konsentrasi aroma kecil dapat ditingkatkan konsentrasinya dengan pemanasan sampel pada suhu optimal agar diperoleh aroma tak rusak sehingga dapat dipertahankan pola atau ciri respon sensornya .

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih saya tujukan kepada Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam atas terlaksananya Hibah Penelitian Pascasarjana Ilmu Komputer Departemen Ilmu Komputer dan Elektronika yang telah memberi “dukungan financial” dari Dana Masyarakat, Alokasi DIKE, FMIPA, UGM Tahun Anggaran 2018.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Lelono, K. Triyana, S. Hartati, and J. E. Istiyanto, “Classification of Indonesia black teas based on quality by using electronic nose and principal component analysis,” 2016, p. 020003.
- [2] M. Ghasemi-Varnamkhasti, C. Apetrei, J. Lozano, and A. Anyogu, “Potential use of electronic noses, electronic tongues and biosensors as multisensor systems for spoilage examination in foods,” *Trends Food Sci. Technol.*, vol. 80, no. March, pp. 71–92, 2018.
- [3] M. Ezhilan, N. Nesakumar, K. J. Babu, and C. S. Srinandan, “An Electronic Nose for Royal Delicious Apple Quality Assessment – A Tri- layer Approach,” *Food Res. Int.*,

- vol. 109, no. December 2017, pp. 44–51, 2018.
- [4] F. Sun, Z. Wu, Y. Chen, J. Li, S. He, and R. Bai, “Analysis of odors from thermally modified bamboo assessed by an electronic nose,” *Build. Environ.*, vol. 144, no. May, pp. 386–391, 2018.
- [5] A. Blanco-Rodríguez *et al.*, “Development of an electronic nose to characterize odours emitted from different stages in a wastewater treatment plant,” *Water Res.*, vol. 134, pp. 92–100, 2018.
- [6] A. Sanaeifar, S. S. Mohtasebi, M. Ghasemi-Varnamkhasti, and H. Ahmadi, “Application of MOS based electronic nose for the prediction of banana quality properties,” *Meas. J. Int. Meas. Confed.*, vol. 82, pp. 105–114, 2016.
- [7] P. Sharma *et al.*, “Monitoring the fermentation process of black tea using QCM sensor based electronic nose,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 219, pp. 146–157, 2015.
- [8] D. R. Wijaya, R. Sarno, E. Zulaika, and S. I. Sabila, “Development of mobile electronic nose for beef quality monitoring,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 124, pp. 728–735, 2017.
- [9] B. Tudu, S. Ghosh, A. K. Bag, D. Ghosh, N. Bhattacharyya, and R. Bandyopadhyay, “Incremental FCM Technique for Black Tea Quality Evaluation Using an Electronic Nose,” *Fuzzy Inf. Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 275–289, 2015.
- [10] K. Triyana, A. Masthori, B. P. Supardi, M. Iqbal, and A. Bharata, “Prototype of Electronic Nose Based on Gas Sensors Array and Back Propagation Neural Network for Tea,” *J. Math. Nat. Sci.*, vol. 17, no. 3, pp. 57–62, 2007.
- [11] D. Lelono, K. Triyana, S. Hartati, and J. E. Istiyanto, “Development of Electronic Nose with Highly Stable Sample Heater to Classify Quality Levels of Local Black Tea,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 352–358, 2017.
- [12] J. Yan *et al.*, “Electronic Nose Feature Extraction Methods: A Review,” *Sensors*, vol. 15, no. 11, pp. 27804–27831, 2015.
- [13] E. L. Hines, P. Boilot, J. W. Gardner, and M. A. Gongora, “Pattern Analysis for Electronic Noses,” in *Handbook of Machine Olfaction*, Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2004, pp. 133–160.