



**KARAKTERISTIK POLA RESPON GAS *SENSOR ARRAY*
TERHADAP AROMA KOPI ROBUSTA SILOSANEN DAN
PANTI PADA VARIASI SUHU DAN GAS PEMBAWA**

SKRIPSI

Oleh :

**Niken Ayu Kusuma Wahyuni
161810301006**

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021**



**KARAKTERISTIK POLA RESPON GAS *SENSOR ARRAY*
TERHADAP AROMA KOPI ROBUSTA SILOSANEN DAN
PANTI PADA VARIASI SUHU DAN GAS PEMBAWA**

SKRIPSI

diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Kimia (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Sains

Oleh :

Niken Ayu Kusuma Wahyuni
161810301006

**JURUSAN KIMIA
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS JEMBER
2021**

PERSEMBAHAN

Skripsi ini saya persembahkan untuk :

1. Orang tua tercinta, Ibunda Sutini, Ayahanda Wagito yang telah memberikan doa, dukungan, nasihat, pengorbanan, dan cinta kasih yang tidak terhingga sampai saat ini.
2. Bapak dan Ibu guru TK Aisyah, SDN 02 Sempu, SMPN 02 Genteng, SMA Muhammadiyah 02 Genteng, bapak dan ibu dosen kimia, teknisi laboratorium jurusan kimia serta seluruh karyawan FMIPA Universitas Jember yang telah banyak memberikan ilmu, nasihat dan pengalamannya.
3. Partner penelitian Tim Riset Kopi yang telah banyak membantu dalam proses penelitian ini dan memberikan semangat dalam penelitian skripsi.
4. Teman-teman kimia angkatan 2016 (EXTASY) yang telah membantu selama menuntut ilmu di Jurusan Kimia Universitas Jember.
5. Himaki 'Zirkonium' yang telah mengajarkan pentingnya berorganisasi.
6. Seseorang yang spesial, Ahmad Rofiki yang selalu memberikan nasihat, doa, dan dukungan yang luar biasa hingga sekarang.
7. Semua pihak yang telah berkontribusi namun tidak dapat disebutkan satu persatu

MOTTO

*“Maka ingatlah kepada-Ku, Aku pun akan ingat kepadamu. Bersyukurlah kepada-Ku dan janganlah kamu ingkar kepada-Ku dan wahai orang-orang yang beriman! Mohonlah pertolongan (kepada Allah) dengan sabar dan sholat. Sungguh, Allah beserta orang-orang yang sabar” *)*

*“Belajarlah kamu semua, dan ajarkanlah kamu semua, dan hormatilah guru-guru serta berlaku baiklah terhadap orang-orang yang mengajarkanmu” **)*

(HR. Tabrani)

*) Terjemahan Q.S Al-Baqarah ayat 152-153

***) Jalil,A. 2019. Kutipan Hadist-hadist Rasulullah tentang menuntut ilmu itu wajib.<https://news.detik.com/berita/d-4738905/inilah-hadits-hadits-tentang-menuntut-ilmu-itu-wajib>. [24 Agustus 2020].

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Niken Ayu Kusuma Wahyuni

NIM : 161810301006

menyatakan dengan sesungguhnya bahwa karya tulis ilmiah yang berjudul: *“Karakteristik Pola Respon Gas Sensor Array Terhadap Aroma Kopi Robusta Silosanen dan Panti Pada Variasi Suhu dan Gas Pembawa”* merupakan benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang telah saya sebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan hasil jiplakan. Saya bertanggungjawab penuh atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 19 November 2020

Yang menyatakan,

Niken Ayu Kusuma Wahyuni

NIM 161810301006

SKRIPSI

**KARAKTERISTIK POLA RESPON GAS SENSOR ARRAY
TERHADAP AROMA KOPI ROBUSTA SILOSANEN DAN
PANTI PADA VARIASI SUHU DAN GAS PEMBAWA**

Oleh

**Niken Ayu Kusuma Wahyuni
NIM 161810301006**

Pembimbing

Dosen Pembimbing Utama : Asnawati, S.Si., M.Si.

Dosen Pembimbing Anggota : Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D

PENGESAHAN

Skripsi berjudul “*Karakteristik Pola Respon Gas Sensor Array Terhadap Aroma Kopi Robusta Silosanen dan Panti Pada Variasi Suhu dan Gas Pembawa*” karya Niken Ayu Kusuma Wahyuni telah diuji dan disahkan pada :

Hari, tanggal :

Tempat : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Tim Penguji :

Ketua

Anggota I

Asnawati, S.Si., M.Si.
NIP. 196808141999032001

Drs. Siswoyo, M.Sc., Ph.D.
NIP. 196605291993031003

Anggota II,

Anggota III

Tri Mulyono, S.Si., M.Si.
NIP. 196810201998021002

I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si.
NIP. 197105011998021002

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D
NIP. 195910091986021001

RINGKASAN

Karakteristik Pola Respon *Gas Sensor Array* Terhadap Aroma Kopi Robusta Silosanen dan Panti Pada Variasi Suhu dan Gas Pembawa; Niken Ayu Kusuma Wahyuni, 161810301006; 2020; 64 halaman; Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Kabupaten Jember merupakan daerah di Jawa Timur yang mempunyai potensi memproduksi kopi dengan luas 5,594 Ha. Kopi di daerah Jember tersebar di beberapa kecamatan, salah satu nya di Desa Panti dan di Desa Silosanen. Kopi yang memiliki banyak varietas memiliki keunikan masing-masing, yaitu aroma yang dihasilkan. Aroma pada kopi dapat keluar salah satunya disebabkan oleh pengaruh suhu pemanasan dan gas pembawa. Aroma kopi dapat di deteksi oleh salah satu instrumen yaitu *electronic nose* yang merupakan suatu sistem yang memiliki peran untuk pengindra bau secara ilmiah berdasarkan pada aroma suatu objek. Perangkat *E-nose* memiliki serangkain sensor gas atau *sensor array* berfungsi untuk mendeteksi dan membedakan bau dalam sampel.

Penelitian ini ingin mengetahui pola respon *gas sensor array* kopi Silosanen dan Panti. Sampel bubuk kopi di aliri gas pembawa berupa udara bebas, gas nitrogen dan udara kering secara bergantian dengan tekanan sebesar 25 kg/cm² serta kecepatan pada flowmeter adalah 3 L/menit dengan dipanaskan pada suhu 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C. Aroma kopi yang dihasilkan dari pemanasan akan dibawa oleh gas pembawa melalui jalur masuk dan akan menuju lima sensor gas yaitu sensor MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6 dan MQ-7. Proses pengukuran yang dilakukan secara berkelanjutan antara gas pembawa dengan aroma kopi yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon *gas sensor array* terhadap adanya perubahan aroma. Hasil respon *gas sensor array* pada aroma kopi Silosanen dan Panti ditampilkan dalam *software* LABVIEW kemudian di olah untuk mendapatkan pola respon aroma bubuk kopi Silosanen dan Panti. Analisis multivarian yang digunakan untuk mengklasifikasikan kopi berdasarkan pola yang diperoleh dari data sensor adalah *prinicpal component analysis* (PCA).

Hasil penelitian menunjukkan pola respon kopi Silosanen dan Panti pada suhu 45°C, 55°C dan 60°C menghasilkan pola yang memiliki kemiripan. Namun, pada suhu 50°C baik pada pola aroma kopi Silosanen dan Panti menghasilkan pola yang berbeda dibandingkan dengan ketiga suhu yang lainnya. Variasi suhu pemanasan digunakan untuk menentukan suhu optimum, dengan hasil perbandingan pola respon kopi Silosanen dengan data sekunder pola respon kopi Durjo, Silo dan Sidomulyo. Berdasarkan pola yang diperoleh suhu 50°C dipilih sebagai suhu optimum, dikarenakan tidak ada kemiripan pola pada keempat kopi. Hasil pada variasi gas pembawa yaitu udara bebas, gas nitrogen dan udara kering menghasilkan pola yang berbeda pada setiap gas pembawa pada kopi Silosanen dan Panti. Nilai tegangan yang paling tinggi pada kopi Silosanen yaitu gas nitrogen sedangkan kopi Panti yaitu udara kering. Karakteristik pola respon *gas sensor array* pada kopi Silosanen dan Panti menggunakan analisis PCA dalam melihat kedekatan sampel berdasarkan variasi suhu dan gas pembawa. Hasil yang diperoleh pada suhu 50°C menghasilkan jarak yang paling jauh antara pola kopi Silosanen dan Panti dibandingkan pada suhu yang lainnya sedangkan pada gas pembawa jarak yang paling jauh yaitu gas pembawa udara bebas untuk pola kopi Silosanen dan Panti sehingga suhu optimum pada kopi Silosanen dan Panti yaitu suhu 50°C sedangkan gas pembawa optimum yaitu udara bebas. Jarak yang dihasilkan semakin jauh menunjukkan semakin berbeda aroma yang dihasilkan maka pola yang dihasilkan juga jauh berbeda. Gas sensor yang digunakan memiliki kinerja untuk menentukan hasil respon suatu sensor yang tepat ditentukan berdasarkan nilai persentase *recovery baseline*. Kopi Silosanen dan Panti udara bebas menghasilkan beberapa sensor memiliki nilai *recovery baseline* hampir mendekati 100% maka menunjukkan bahwa *baseline* akhir menghasilkan sinyal yang mendekati seperti sinyal *baseline* awal. Berdasarkan pada hasil yang diperoleh pada kopi Silosanen dan Panti pada setiap gas pembawa menghasilkan kinerja respon sensor yang berbeda beda berdasarkan pada nilai persentase *recovery baseline*.

PRAKATA

Puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul "Karakteristik Pola Respon *Gas Sensor Array* Terhadap Aroma kopi Robusta Silosanen dan Panti Pada Variasi Suhu dan Gas Pembawa". Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) pada Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Penyusunan skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

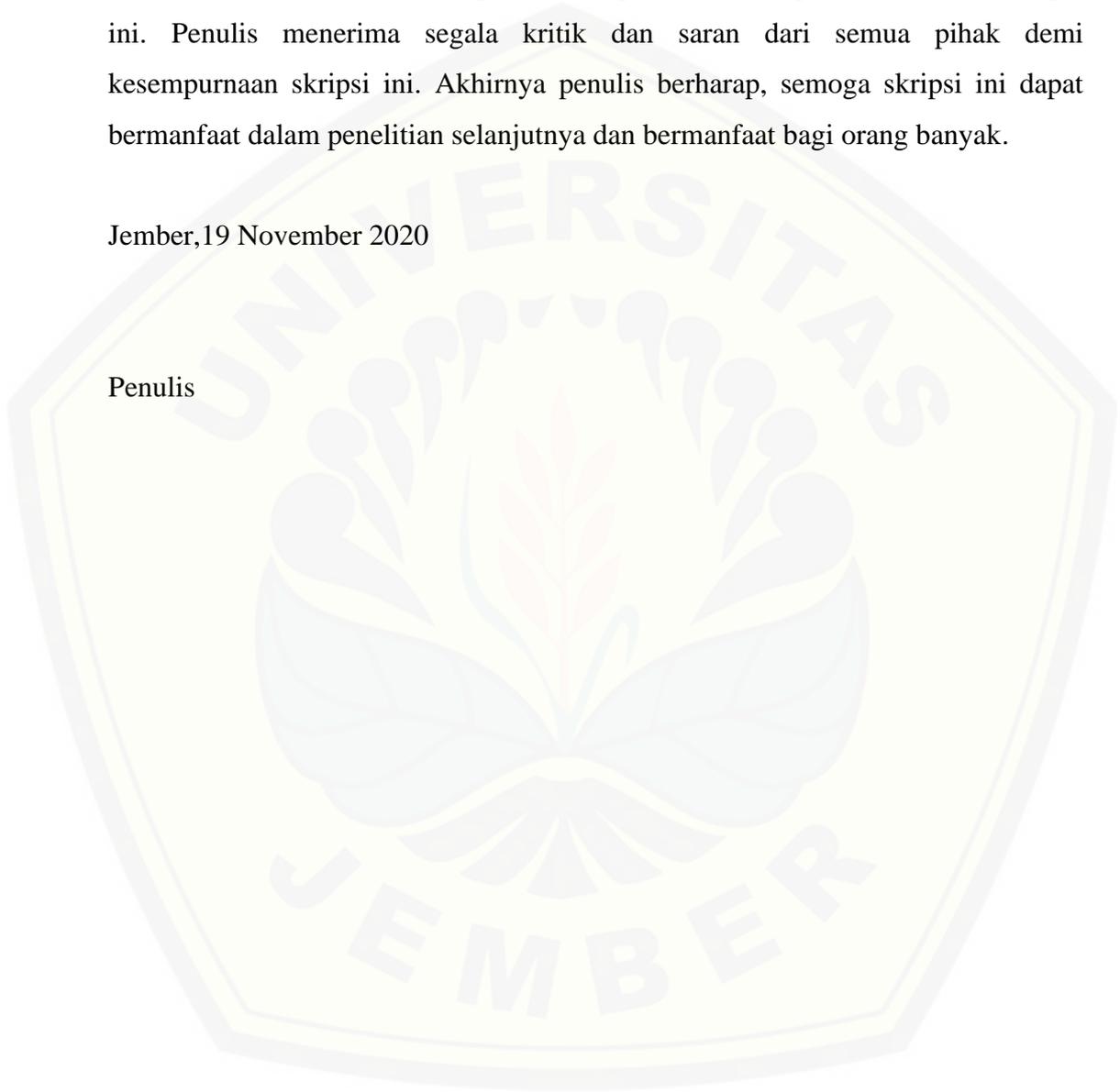
1. Drs. Achmad Sjaifullah, M.Sc., Ph.D., selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
2. Dr. Bambang Piluharto, S.Si., M.Si., selaku Ketua Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
3. Ibu Asnawati, S.Si., M.Si., selaku Dosen Pembimbing Utama dan bapak Drs.Siswoyo, M.Sc., Ph.D selaku Dosen Pembimbing Anggota yang telah meluangkan waktu, pikiran, bimbingan dan nasihat dalam penulisan skripsi ini;
4. Bapak Tri Mulyono, S.Si., M.Si selaku Dosen Penguji I, dan Bapak I Nyoman Adi Winata, S.Si., M.Si., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktunya untuk menguji, serta memberikan kritik dan saran demi kesempurnaan skripsi ini;
5. Bapak Dr. Busroni, M.Si., selaku Dosen Pembimbing Akademik selama ini telah memberikan arahan dan saran dalam menyelesaikan permasalahan akademik selama menjalani masa perkuliahan;
6. Kepala Laboratorium Kimia Analitik dan Kepala Laboratorium Kimia Fisik Jurusan Kimia Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember;
7. Seluruh dosen Jurusan Kimia FMIPA Universitas Jember yang telah banyak memberikan pengetahuan dan nasihatnya selama masa perkuliahan;

8. Teknisi Laboratorium Jurusan Kimia FMIPA UNEJ yang telah membantu menyiapkan fasilitas di dalam laboratorium;
9. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis meminta maaf apabila terdapat kesalahan penulisan dalam skripsi ini. Penulis menerima segala kritik dan saran dari semua pihak demi kesempurnaan skripsi ini. Akhirnya penulis berharap, semoga skripsi ini dapat bermanfaat dalam penelitian selanjutnya dan bermanfaat bagi orang banyak.

Jember, 19 November 2020

Penulis



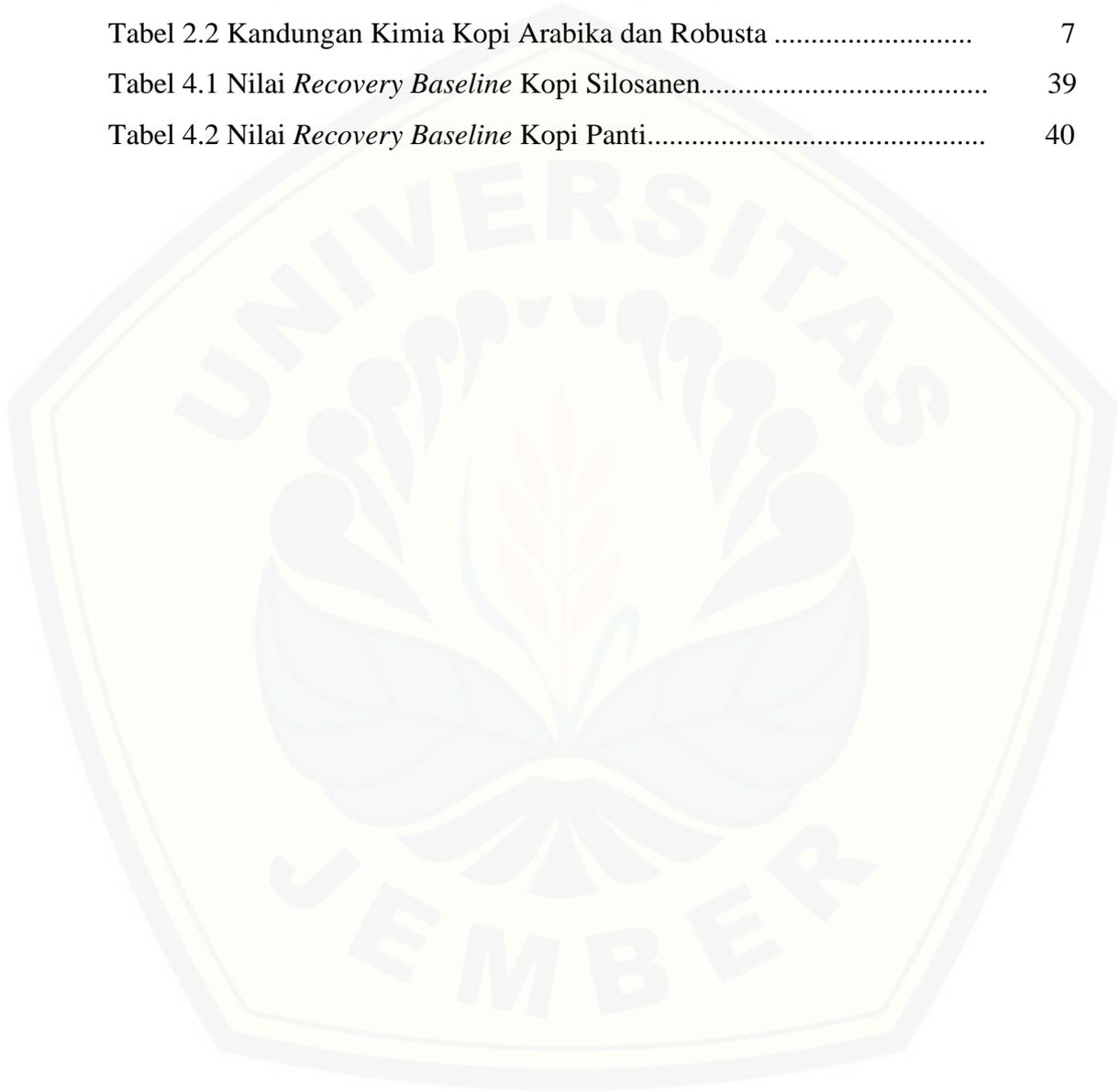
DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN SAMPUL.....	ii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
HALAMAN MOTTO	iv
HALAMAN PERNYATAAN	v
HALAMAN PEMBIMBING	vi
HALAMAN PENGESAHAN.....	vii
RINGKASAN	viii
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB 2. Tinjauan Pustaka.....	6
2.1 Kopi	6
2.1.1 Kandungan Kimia Kopi	6
2.1.2 Jenis-jenis Kopi.....	8
2.1.3 Kopi Robusta Indonesia.....	8
2.1.4 Kopi Robusta Jember.....	9
2.2 Electronic Nose	10
2.3 Sensor Gas	11
2.3.1 Definisi Sensor Gas.....	11
2.3.2 Prinsip Kerja Sensor Gas	11

2.3.3 Jenis Sensor Gas	12
2.3.4 Parameter Sensor Gas	15
2.4 Gas Sensor Array	16
2.5 Sensor Gas Pendeteksi Kopi.....	17
2.6 Kecermatan (Accuracy)	19
2.7 Principas Component Analysis (PCA).....	20
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN	22
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	22
3.2 Alat dan Bahan	22
3.2.1 Alat	22
3.2.2 Bahan	22
3.3 Skema Kerja	23
3.4 Prosedur Percobaan	23
3.4.1 Sampling	23
3.4.2 Uji Stabilitas Sensor.....	24
3.4.3 Rancangan <i>Gas Sensor Array</i>	24
3.4.4 Pengujian Sampel.....	24
3.4.5 Proses Pengukuran	26
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1 Pengaruh Suhu Pemanasan Terhadap Respon <i>Gas Sensor Array</i> pada Kopi Silosanen dan Panti.....	28
4.2 Pengaruh Gas Pembawa pada Pola Respon <i>Gas Sensor Array</i> Aroma Kopi Silosanen dan Panti	34
4.3 Karakteristik Pola Respon <i>Gas Sensor Array</i> Terhadap Aroma Kopi Silosanen dan Panti.....	37
4.4 Kinerja <i>Gas Sensor Array</i> Kopi Silosanen dan Panti.....	39
BAB 5. PENUTUP.....	41
5.1 Kesimpulan	41
5.2 Saran	41
DAFTAR PUSTAKA	43
LAMPIRAN.....	47

DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Senyawa Volatil dan Cita Rasa Kopi Sangrai.....	7
Tabel 2.2 Kandungan Kimia Kopi Arabika dan Robusta	7
Tabel 4.1 Nilai <i>Recovery Baseline</i> Kopi Silosanen.....	39
Tabel 4.2 Nilai <i>Recovery Baseline</i> Kopi Panti.....	40



DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Struktur Sensor Gas.....	11
Gambar 2.2 Sensor Gas MQ-3.....	13
Gambar 2.3 Sensor Gas MQ-9.....	13
Gambar 2.4 Sensor Gas MQ-5.....	14
Gambar 2.5 Sensor Gas MQ-2.....	14
Gambar 2.6 Sensor Gas MQ-135.....	15
Gambar 2.7 Rancangan Sintem <i>Gas Sensor Array</i>	17
Gambar 2.8 <i>Scoreplot</i> Klasifikasi oleh PCA.....	21
Gambar 3.1 Desain <i>Gas Sensor Array</i>	24
Gambar 3.2 Rancangan Kerja <i>Gas Sensor Array</i>	26
Gambar 4.1 Respon Sinyal Aroma Kopi Silosanen pada <i>Sensor Gas Array</i>	28
Gambar 4.2 Pola Aroma (a) Kopi Silosanen dan (b) Kopi Panti Variasi Suhu Pemanasan.....	29
Gambar 4.3 Grafik <i>Scoreplot</i> PCA dngan Urutan Aroma (a) Kopi Panti-Silosanen dan (b) Kopi Silosanen-Panti.....	31
Gambar 4.4 Pola Respon Aroma Kopi Durjo, Silo, Silosanen dan Sidomulyo pada T: 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C.....	33
Gambar 4.5 Pola Aroma (a) Kopi Silosanen dan (b) Kopi Panti Variasi Gas Pembawa.....	35
Gambar 4.6 Grafik <i>Scoreplot</i> PCA Kopi Silosanen dan Panti dengan Gas Pembawa.....	38

DAFTAR LAMPIRAN

	Halaman
Lampiran 4.1 Perhitungan Pola Respon Kopi Silosanen dan Panti Variasi Suhu Pemanasan	47
Lampiran 4.2 Nilai Tegangan Kopi Durjo, Silo, Silosanen dan Sidomulyo Penentuan Suhu Optimum	54
Lampiran 4.3 Nilai Tegangan Kopi Garahan, Kopi Panti, Kopi Sudomulyo Suhu 55°C	55
Lampiran 4.4 Perhitungan Pola Respon <i>Gas Sensor Array</i> Kopi Silosanen dan Kopi Panti Variasi Gas Pembawa	55
Lampiran 4.5 Perhitungan Nilai <i>recovery Baseline</i> Menentukan Kinerja <i>Gas Sensor Array</i>	57
Lampiran 4.6 Nilai RSD Respon <i>Gas Sensor Array</i> Kopi Silosanen dan Kopi Panti	63

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kopi adalah salah satu minuman paling banyak diminati oleh kalangan masyarakat. Total perkebunan kopi di Indonesia sebesar 1,251,703 Ha pada tahun 2017 yang terdiri dari perkebunan besar negara, perkebunan besar swasta dan perkebunan rakyat. Total produksi kopi di Indonesia pada tahun 2017 yaitu sebesar 666,992 Ton (Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2017). Menurut Rahardjo (2012) ada empat varietas kopi yang diketahui, yaitu kopi arabika, kopi robusta, kopi liberika dan kopi ekselsa. Pertanaman kopi yang diusahakan di Indonesia yaitu kopi robusta pada tahun 2017 dengan luas perkebunan kopi 912,135 Ha. Provinsi Jawa Timur masuk ke dalam 5 provinsi produsen kopi terbesar di Indonesia yang memiliki luas perkebunan kopi pada tahun 2017 sekitar 104,800 Ha. Kopi robusta menghasilkan total produksi sekitar 35,814 Ton pada tahun 2017. Kabupaten Jember merupakan daerah di Jawa Timur yang mempunyai potensi memproduksi kopi dengan luas sebesar 5,594 Ha. Kopi di daerah Jember tersebar di beberapa kecamatan, dimana salah satu nya yaitu Kecamatan Panti khususnya di Desa Panti dan Kecamatan Silo di desa Silosanen (Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2017).

Kopi yang memiliki banyak varietas memiliki keunikan masing-masing, salah satunya yaitu aroma yang dihasilkan. Aroma (*flavor*) pada kopi dapat dipengaruhi oleh proses roasting (Kim, 2018). Perbedaan suhu roasting dan waktu roasting yang digunakan akan mempengaruhi perbedaan komposisi senyawa kimia kopi baik jenis maupun kadar senyawanya (Arimurti, 2014). Aroma kopi dapat dideteksi oleh tubuh manusia dengan panel sensorik indra penciuman hidung. Pendeteksian ini telah dilakukan dengan sebutan "*cup test*" yang dilakukan oleh penguji ahli. *Cup test* merupakan salah satu *quality control* yang banyak digunakan para pelaku industri berupa *human tester*. Metode ini telah dikembangkan seperti pada penelitian Asiah *et al.* (2017). Metode *Cup test* yang digunakan memiliki beberapa kelemahan yaitu besarnya biaya yang harus

dikeluarkan, sensing dari manusia dapat berubah dalam jangka waktu tertentu, indra penciuman antara manusia yang satu dengan yang lain berbeda serta umur manusia yang tidak dapat hidup terus-menerus. Teknologi terus berkembang untuk menciptakan beberapa instrumen untuk pengujian kandungan aroma kopi secara obyektif. Penelitian Arimurti *et al.* (2018) menggunakan kombinasi gas kromatografi dan spektrofotometri massa yang biasa disebut GC-MS. Namun, teknik menggunakan GC-MS ini memerlukan instruksi yang cukup rumit sehingga membutuhkan tenaga yang terlatih, serta membutuhkan biaya yang relatif tinggi. Teknologi semakin lama mengembangkan instrumen lain untuk mengatasi kekurangan metode GC-MS maupun *human tester* yaitu *electronic nose (E-nose)* (Rabersyah *et al.*, 2016).

Electronic nose (E-nose) adalah suatu sistem yang memiliki peran penting untuk pengindra bau elektronik secara ilmiah yang berdasarkan pada aroma suatu objek (Thepudom *et al.*, 2013). Perangkat *E-nose* memiliki serangkain sensor gas atau *gas sensor array* yang berfungsi untuk mendeteksi dan membedakan bau dalam sampel (Pearce *et al.*, 2003). Prinsip kerja dari *E-nose* menirukan fungsi kerja hidung manusia, dimana di dalamnya memiliki berbagai reseptor pengidentifikasi aroma, reseptor tersebut pada *E-nose* yaitu berupa sensor gas (Rabersyah *et al.*, 2016). Kelebihan dari instrumen *E-nose* ini adalah biaya yang rendah dan aplikasi yang luas. Penggunaan *electronic nose* untuk pendeteksi kopi diantaranya yaitu *Portable electronic nose* sebagai instrumen aroma kopi robusta jawa dan sumatera yang terkolerasi dengan *Gas Chromatography Mass Spectrometry* (Arimurti *et al.*, 2018) dan identifikasi jenis bubuk kopi arabika dan robusta (Rabersyah *et al.*, 2016).

Aroma yang terdeteksi pada perangkat *E-nose* akan memberikan suatu reaksi berupa perubahan resistensi pada setiap sensor gas, mengakibatkan perubahan voltase (Rabersyah *et al.*, 2016). *Database* pada perubahan voltase berupa data digital komputer, dimasukkan pada Jaringan Saraf Tiruan (JST) *backpropagation* yang di implementasikan dalam perangkat lunak kemudian mengolah data yang dihasilkan. Jaringan Saraf Tiruan (JST) merupakan sistem pemroses informasi yang memiliki karakteristik mirip dengan jaringan saraf biologi. *Backpropagation*

mengenali pola yang digunakan serta kemampuan jaringan untuk memberikan respon terhadap pola. *Database* pada setiap jenis aroma menghasilkan pola khusus yang digunakan untuk membangun sistem pencatatan aroma (Rabersyah *et al.*, 2016).

Teknologi yang telah berkembang menunjukkan penelitian *gas sensor array* menggunakan gas pembawa telah banyak dilakukan. Penelitian Thepudom *et al.* (2013) menjelaskan klasifikasi bau kopi instant untuk kontrol kualitas produksi dengan adanya gas pembawa yaitu udara bebas dengan variasi suhu dan konsentrasi. Penelitian Villanueva *et al.* (2008) menjelaskan sensor berbasis logam oksida pada minuman anggur dengan adanya gas carrier yaitu udara bebas dan gas inert (nitrogen dan helium). Penelitian yang lainnya yaitu Purnama (2020) menjelaskan identifikasi pola respon *gas sensor array* bubuk kopi robusta Sidomulyo menggunakan gas pembawa udara bebas dengan menggunakan pompa untuk menarik gas pembawa serta aroma kopi menuju *gas sensor array*. Penelitian tersebut menghasilkan suhu pemanasan dan ukuran bubuk kopi optimum yaitu suhu 50°C dan ukuran 50-60 mesh, dimana penentuan suhu dan ukuran bubuk optimum berdasarkan pada *men-score* data pola respon. Sensor gas yang memiliki nilai tegangan tertinggi akan memiliki score tertinggi.

Penelitian aroma kopi dari Kabupaten Jember khususnya Desa Silosanen dan Panti belum ditentukan berdasarkan respon *gas sensor array* dalam karakteristik pola kopi dengan menggunakan variasi gas pembawa dan suhu pemanasan. Gas pembawa bubuk kopi yang digunakan pada penelitian ini yaitu udara kering, udara bebas dan nitrogen, menggunakan ketiga gas tersebut disebabkan belum adanya penelitian yang ingin mengetahui respon sensor kopi Silosanen dan Panti dengan ketiga gas tersebut. Variasi suhu pemanasan sebesar 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C, variasi suhu yang digunakan ingin mengetahui apakah terdapat suhu pemanasan optimum yang lebih tinggi pada proses pemanasan bubuk kopi yang berdasarkan pada penelitian sebelumnya. Berdasarkan latar belakang yang telah ditulis maka memilih judul karakteristik pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi robusta Silosanen dan Panti pada variasi suhu dan gas pembawa.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.2.1 Bagaimana pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap karakteristik pola respon *gas sensor array* pada aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti ?
- 1.2.2 Bagaimana pengaruh variasi gas pembawa terhadap karakteristik pola respon *gas sensor array* pada aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti ?
- 1.2.3 Bagaimana perbedaan karakteristik pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti ?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- 1.3.1 Mengetahui pengaruh variasi suhu pemanasan terhadap karakteristik pola respon *gas sensor array* pada aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti
- 1.3.2 Mengetahui pengaruh variasi gas pembawa terhadap karakteristik pola respon *gas sensor array* pada aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti
- 1.3.3 Mengetahui perbedaan karakteristik pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi Robusta Silosanen dan kopi Robusta Panti

1.4 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan-batasan masalah sebagai berikut :

- 1.4.1 Kopi diperoleh dari petani kopi robusta Desa Silosanen dan Desa Panti dalam bentuk greenbean
- 1.4.2 Kopi di grinding di Desa Kaliwates yang melakukan jasa grinding
- 1.4.3 Kopi di roasting di Desa Sidomulyo yang melakukan jasa roasting
- 1.4.4 Sensor di beli pada pedagang pedagang komersial

1.5 Manfaat

Manfaat dalam penelitian ini yaitu untuk mengetahui respon *gas sensor array* yang digunakan untuk mendeteksi aroma kopi robusta kebun Silosanen dan Panti berdasarkan pada variasi suhu pemanasan dan gas pembawa. Respon yang diperoleh dapat dijadikan sebagai *database* aroma kopi. *Database* dapat memberikan ilmu mengenai pengetahuan tentang sensor, yang dapat dijadikan sebagai referensi terhadap penelitian selanjutnya.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kopi

Tanaman kopi merupakan tanaman berkeping dua (dikotil) yang memiliki perakaran tunggang. Kopi masuk ke wilayah Indonesia pada tahun 1696 yang dibawa oleh masyarakat Belanda dari Malabar, India ke Jawa. Biji kopi yang di kembangkan di pulau Jawa dijadikan bibit untuk perkebunan di seluruh Indonesia. Kopi terus berkembang hingga saat ini menjadi salah satu minuman populer di dunia yang dikonsumsi oleh berbagai kalangan masyarakat. Hal ini disebabkan kopi memiliki aroma dan citarasa yang khas (Sulistyaningtyas, 2017).

Klasifikasi tanaman kopi menurut Rahardjo (2012) adalah :

Kindom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Super Devisi	: <i>Spermatophyta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Subkelas	: <i>Asteridae</i>
Ordo	: <i>Rubiales</i>
Famili	: <i>Rubiaceae</i>
Genus	: <i>Coffea</i>
Spesies	: <i>Coffea sp.</i> , [<i>Coffea Arabica</i> L., <i>Coffea liberica.</i> , <i>Coffea Excelsa</i>].

2.1.1 Kandungan Kimia Kopi

Kopi memiliki komposisi yang beragam bergantung dari jenis kopi, kopi juga dapat dipengaruhi oleh lingkungan tempat tumbuh, tingkat kematangan, dan kondisi penyimpanan. Kandungan kimia kopi terdiri dari beberapa senyawa di dalamnya yang paling penting yaitu senyawa volatil dan non volatil. Kelompok senyawa volatil yang berada pada kopi antara lain senyawa alifatik hidrokarbon, senyawa belerang, pirazina, pyridin, oxazol, pyrol, furan, aldehid, keton dan fenol, senyawa senyawa tersebut yang bertanggung jawab atas aroma kopi (Knysak, 2017). Zat volatil tersebut akan terbebas dengan adanya pemanasan baik secara roasting maupun penyeduhan. Zat volatil yang terbebas melalui proses pemanasan

disebut dengan aroma kopi yang dapat dirasakan oleh hidung manusia. Aroma kopi yang dihasilkan tersebut merupakan salah satu penentu cita rasa kopi dengan senyawa volatil yang dimiliki kopi menentukan aroma kopi tersebut.

Tabel 2.1 Senyawa Volatil dan Cita Rasa dalam Kopi Sangrai

Senyawa Volatil	Aroma
3-methylpropana	<i>Buttery oil</i>
p-anisaldehyde	<i>Minty</i>
phenylacetaldehyde	<i>Sweet fruit</i>
2-methylbutyric acid	<i>Sweaty</i>
Ethyl-2-methylbutyrate	<i>Fruity</i>
2-methylfuran	<i>Smoke-roast</i>
2-furfurylthiol	<i>Roasty(coffee-like)</i>
3-methyl-2-butene-1-thiol	<i>Amine-like</i>
1-octone-3-one	<i>Mushroom-like</i>
3,4-dimethylcyclopentenol-2-one	<i>Caramel-like, sweet</i>
2-methylpropanal	<i>Aroma of cocoa</i>
2,3,5-trimethylpyrazina	<i>Frying</i>

Sumber : Wenny, 2016

Menurut Rahardjo (2012) ada empat varietas kopi yang diketahui, yaitu kopi arabika, kopi robusta, kopi liberika dan kopi ekselsa. Varietas kopi memiliki kandungan yang berbeda beda, termasuk pada varietas kopi yang sebelum dan sesudah di roasting.

Tabel 2.2 Kandungan Kimia Biji Kopi Arabika dan Robusta (% bobot kering)

Komponen	Arabika (%)		Robusta (%)	
	Green	Roasted	Green	Roasted
Kafein	0,90-1,20	01,00	1,60-2,40	02,00
Trigonelline	1,00-1,20	0,50-1,00	0,60-0,75	0,30-0,60
Lipid	12,00-18,00	14,50-20,00	09,00-13,00	11,00-16,00
Total Asam Klorogenat	5,50-8,00	1,20-2,30	07,00-10,00	3,90-6,00
Asam Alifatik	1,50-2,00	1,00-1,50	01,50	1,00-1,50
Asam Amino	02,00	00,00	-	-

Sumber : Rabersyah *et al.*, 2016

Roasting merupakan suatu proses penyangraian yang dapat mengubah sifat kimiawi kopi secara signifikan. Proses penyangraian bergantung dari suhu dan waktu yang digunakan. Senyawa volatil yang terlepas dengan adanya proses roasting ini sangat dipengaruhi oleh besarnya suhu yang digunakan (Nopitasari, 2010).

2.1.2 Jenis-jenis Kopi

Indonesia merupakan negara yang memiliki produsen kopi terbesar ketiga di dunia, berdasarkan data *Indonesian Coffee Festival (ICF)*. Data yang didapatkan dari ICF, Indonesia menjadi penghasil kopi robusta 85% terbanyak lalu kopi arabica sebesar 15%. Kopi dari kedua jenis tersebut, Indonesia telah memproduksi 600 ribu ton/tahun dari 1,2 juta hektar kebun kopi yang ada di Indonesia (Sativa, 2014). Menurut Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2017 Indonesia menghasilkan tiga jenis kopi berdasarkan volume atau jumlah produksinya, yaitu kopi robusta, arabika dan liberika. Kopi arabika banyak ditanam pada tanah mineral dengan ketinggian sekitar lebih dari 1.000 mdpl, untuk kopi robusta dapat ditanam pada tanah mineral dengan ketinggian antara 300-900 mdpl dan kopi liberika banyak ditanam pada tanah gambut di lahan pasang surut dan tanah mineral yang dekat dengan permukaan laut.

Kopi arabika (*Coffea Arabica*) adalah jenis kopi yang paling disukai karena memiliki rasa yang paling baik. Arabika akan tumbuh optimal dengan suhu sekitar 16-20°C. Biji kopi arabika berbentuk memanjang dan warnanya lebih hijau. Jenis yang kedua yaitu kopi robusta, kopi ini tumbuh secara optimal dengan suhu sekitar 21-24°C. Kopi robusta ini berasal dari Afrika Tengah yang tumbuh di daerah kering. Biji kopi robusta memiliki bentuk yang lebih kecil dari arabika dan berbentuk lebih bulat. Jenis kopi yang ketiga adalah kopi liberika, kopi ini berasal dari negara Liberia. Jenis kopi ini jarang dijumpai dibandingkan dengan arabika dan robusta. Biji kopi liberika bentuknya dua kali lebih besar dari kopi arabika (Panggabean, 2011).

2.1.3 Kopi Robusta Indonesia

Indonesia dikenal sebagai produsen kopi robusta dengan pangsa pasar sebesar 20% dari ekspor kopi robusta dunia. Kawasan segitiga kopi, yang meliputi Provinsi Lampung, Sumatera Selatan dan Bengkulu merupakan daerah daerah penghasil kopi utama di Indonesia. Produksi kopi robusta mencapai 449,000 ton pada tahun 2017. Secara nasional, pertanaman kopi untuk jenis kopi robusta di Indonesia dengan luas sekitar 912,135 Ha. Areal kopi robusta tersebar di hampir

seluruh kepulauan Indonesia dengan Sumatera sebagai pulau terluas yakni sekitar 777,037 ribu Ha, pulau lainnya yaitu Jawa, Nusa Tenggara dan Bali, Kalimantan, Sulawesi, dan Maluku/Papua (Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2017).

Biji kopi robusta merupakan biji kopi yang mudah untuk tumbuh, karena biji kopi ini tahan terhadap berbagai macam iklim sehingga rentan terhadap serangan penyakit. Robusta memiliki aroma yang khas, memiliki ciri rasa asam yang khas, rasa kental yang baik, dan memiliki tekstur yang lebih kasar, dengan warna yang bervariasi sesuai dengan proses pengolahannya serta kadar kafeinnya jauh dua kali lebih banyak dibandingkan dengan kopi arabika (Van der Vossen *et al.*, 2000).

2.1.4 Kopi Robusta di Jember

Jember merupakan kota yang berada di Provinsi Jawa Timur, dimana pada Provinsi Jawa Timur memiliki luas perkebunan kopi pada tahun 2017 sekitar 104.800 Ha dengan total produksi 64.900 Ton dan Jember merupakan salah satu kota yang banyak memproduksi kopi robusta. Wilayah wilayah yang memproduksi kopi robusta di Jember yaitu Sidomulyo, Garahan, Panti, Argopuro, Silosanen, Silo, Bangsalsari, dan Durjo. Kopi robusta ini memiliki berbagai macam penamaan berdasarkan wilayahnya masing masing, seperti kopi robusta Garahan, kopi robusta Sidomulyo dll. Produksi kopi robusta di Jember pada tahun 2017 sebesar 2,532 Ton. Desa Panti dan Desa Silosanen merupakan salah satu kecamatan di kabupaten Jember yang memproduksi komoditi kopi. Desa Silosanen memiliki luas perkebunan kopi sebesar 2,293 Ha dengan total produksi kopi sebesar 1,238 ton, sedangkan pada Desa Panti memiliki luas perkebunan kopi sebesar 1,607 Ha dari luas keseluruhan Kabupaten Jember. Usaha tani kopi rakyat ini diharapkan mampu memberikan sumbangan yang cukup besar bagi peningkatan dan kesejahteraan petani di Kecamatan Panti dan Kecamatan Silosanen (Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan, 2017).

2.2 *Electronic Nose*

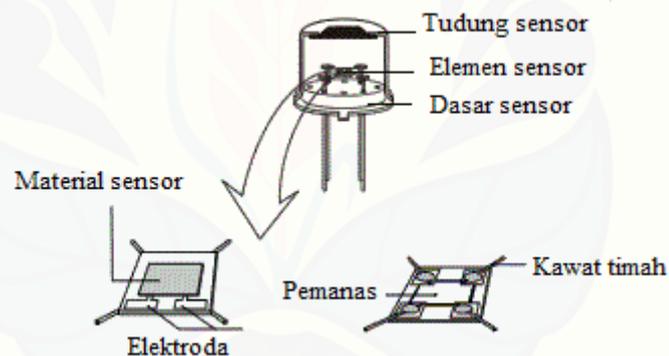
Perkembangan Teknologi yang semakin pesat memungkinkan penciptaan sebuah sistem dengan cara kerja yang menyerupai hidung, yaitu *Electronic Nose* (*E-nose*). Perangkat ini memiliki serangkain sensor gas atau *gas sensor array* yang dapat mendeteksi perubahan bau atau aroma dengan menghasilkan reaksi yang berbeda beda. Aroma akan memberikan reaksi berupa tahanan pada setiap sensor gas. Perubahan resistensi akan menimbulkan perubahan voltase, dimana data yang diperoleh dari perubahan voltase berupa data digital komputer. *Database* pada perubahan voltase berupa data digital komputer, yang selanjutnya data tersebut akan diolah pada PC atau komputer. *Database* pada setiap jenis aroma bubuk kopi menghasilkan pola khusus yang akan digunakan untuk membangun sistem pencatatan aroma (Rabersyahet *al.*, 2016).

Prinsip kerja dari *E-nose* ini adalah menirukan fungsi hidung manusia yang di dalamnya terdapat berbagai reseptor pengidentifikasi aroma. Reseptor–reseptor yang didalam hidung akan digantikan oleh sensor pada *E-nose*, dan tiap reseptor yang ada memberikan respon yang berbeda dengan uap atau aroma yang sama. Sensor yang di gunakan dapat berdasarkan polimer, oksida logam, dan lain-lain. Sensor pada dasarnya memberikan karakteristik pola sinyal dari gas volatil yang dihasilkan oleh aroma. Pola sinyal ini kemudian dievaluasi menggunakan teknik pengenalan pola seperti jaringan saraf dan teknik statistik multivariat (Rabersyahet *al.*, 2016). Menurut Thepudom *et al.* (2013) dalam beberapa tahun terakhir *E-nose* telah terbukti bermanfaat di banyak bidang aplikasi termasuk pertanian, makanan, kesehatan dan *E-nose* dapat dirancang dalam pelengkap penguji manusia untuk penilaian kualitas bau kopi. Perangkat ini protabel dan baik digunakan, karena dapat mengukur sampel kopi dalam bentuk cair maupun padatan. *E-nose* juga telah berhasil dalam memantau aroma melon, pir, apel, tomat, buah buahan dan sayuran yang lainnya.

2.3 Sensor Gas

2.3.1 Definisi Sensor Gas

Menurut *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) sensor gas adalah sensor kimia yaitu perangkat yang mengubah informasi kimia, mulai dari konsentrasi komponen sampel tertentu hingga analisis komposisi total menjadi sinyal yang berguna secara analitis. Sensor gas pada sensor kimia terdiri dari dua bagian utama, yaitu reseptor dan transduser. Reseptor berfungsi untuk mengubah informasi kimia menjadi bentuk energi yang dapat diukur oleh transduser, sedangkan transduser mengubah energi menjadi sinyal analitik yang biasanya berupa listrik. Bagian-bagian dari sensor gas terdiri atas lapisan aktif, penutup sensor, dasar sensor dan *heater* (Bochenkov dan Sergeev, 2010) bagian dari sensor gas seperti ditunjukkan pada gambar 2.1 berikut ini :



Gambar 2.1 Struktur sensor gas (Sumber : Rabersyah *et al.*, 2016)

2.3.2 Prinsip Kerja Sensor Gas

Sensor gas yang banyak digunakan saat ini adalah sensor gas berbahan metal oksida atau disebut MOS (*Metal Oxide Sensor*). Menurut Wang (2010) sensor gas metal oksida banyak menarik perhatian di bidang penginderaan gas, karena biaya yang rendah dan fleksibilitas dalam produksi, sederhana dan jumlah gas yang terdeteksi banyak. Oksida logam umumnya yaitu kromium(III) oksida, mangan(III) oksida, nikel(II) oksida, titanium dioksida, Besi (III) oksida dan lain sebagainya. Bahan sensor oksida logam yang sering digunakan adalah SnO_2 .

Sistem kerja dari sensor yaitu oksigen diperlukan dalam mengoperasikan sensor. Hal itu disebabkan oksigen akan teradsorpsi pada permukaan kristal logam dan hal ini terjadi proses transfer elektron dari permukaan kristal logam untuk mengikat ion oksigen jika kristal logam dipanaskan dalam suhu tertentu. Proses tersebut mengakibatkan oksigen terikat dalam permukaan kristal logam dalam bentuk ion ion negatif, menyebabkan terbentuknya *potensial barrier* (penghalang antar elektron) meningkat dan menghambat laju aliran elektron pada kristal SnO₂ sehingga arus listrik yang mengalir melewati daerah grain boundary terhambat yang menyebabkan nilai resistensi meningkat dan nilai konduktivitas menurun. Namun, jika terdapat gas pereduksi dan gas pengoksidasi akan menyebabkan perubahan nilai konduktivitas dan nilai resistensi yang tergantung pada jenis material sensor. Proses terjadinya transfer atau pelepasan elektron, disimpulkan bahwa terjadi reaksi reduksi dan oksidasi dalam prinsip sensor gas tersebut, ketika senyawa volatil yang menghasilkan gas mengenai permukaan sensor gas oksida logam maka akan dapat mengubah konduktivitas sensor (Wang, 2010).

2.3.3 Jenis Sensor Gas

Jenis –jenis sensor gas yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah lima buah sensor dengan menggunakan bahan logam oksida yaitu SnO₂. Lima jenis sensor tersebut adalah :

a). Sensor MQ-3

Sensor MQ-3 adalah sensor gas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap alkohol, sensitivitas rendah terhadap benzena, dan memiliki respon yang cepat. Sensor MQ-3 dapat digunakan secara berulang kali dan biaya yang rendah. Kondisi standart untuk mendeteksi suatu senyawa pada sensor MQ-3 berada pada temperatur $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Nilai resistansi MQ-3 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi Alkohol 0,4 mg/L (sekitar 200 ppm) di udara dengan menggunakan nilai *Load resistance* (RL) sekitar 200 K Ω (100K Ω hingga 470 K Ω) (Datasheet sensor, 2019). Sensor gas MQ-3 dapat dilihat pada gambar 2.2 berikut ini :



Gambar 2.2 Sensor Gas MQ-3 (Sumber: Datasheet sensor, 2019)

b). Sensor MQ-6

Sensor gas MQ-6 memiliki sensitivitas yang tinggi pada LPG, iso-butan dan propana, sensitivitas rendah pada alkohol. Sensor MQ-6 dapat digunakan secara berulang kali dan biaya yang rendah serta memiliki respon yang cepat. Aplikasi pada sensor ini dapat digunakan sebagai detektor gas domestik, gas industri dan gas portabel. Nilai resistansi MQ-6 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi LPG 1000ppm di udara dengan menggunakan nilai *Load resistance* (RL) sekitar $20\text{K}\Omega$ ($10\text{K}\Omega$ hingga $47\text{K}\Omega$) (Datasheet Sensor, 2019). Sensor gas MQ-6 dapat dilihat pada gambar 2.3 berikut ini :



Gambar 2.3 Sensor Gas MQ-6 (Sumber: Datasheet sensor, 2019)

c). Sensor MQ-7

Sensor gas MQ-7 merupakan sensor yang sensitivitasnya tinggi terhadap karbon monoksida, dapat digunakan secara berulang. Sensor MQ-7 biaya yang rendah serta memiliki respon yang cepat. Kondisi standart untuk mendeteksi suatu senyawa pada sensor MQ-7 berada pada temperatur $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Nilai resistansi MQ-7 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi CO 200 ppm di udara

dengan menggunakan nilai *Load resistance* (RL) dapat menyesuaikan (Datasheet Sensor, 2019). Sensor gas MQ-7 dapat dilihat pada gambar 2. 4 berikut ini:



Gambar 2.4 Sensor Gas MQ-7 (Sumber: Datasheet sensor, 2019)

d). Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 merupakan jenis sensor gas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap metana, butana, hidrogen, propana dan alkohol. Sensor ini memiliki lingkup pendeteksian yang luas, respon dan sensitivitas yang tinggi. Aplikasi pada sensor ini dapat digunakan sebagai detektor gas industri. Nilai resistansi MQ-2 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi LPG atau iso-butana 1000 ppm di udara dengan menggunakan nilai *Load resistance* (RL) dapat menyesuaikan (Datasheet Sensor, 2019). Sensor gas MQ-2 dapat dilihat pada gambar 2.5 berikut ini :



Gambar 2.5 Sensor Gas MQ-2 (Sumber: Datasheet sensor, 2019)

e). Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan jenis sensor yang dapat mendeteksi terhadap NH_3 , NO_x (senyawa mono-nitrogen), benzena, asap rokok dan karbon dioksida, namun memiliki sensitivitas yang tinggi terhadap pendeteksi NH_3 . Sensor ini memiliki lingkup pendeteksian yang luas, respon dan sensitivitas

yang tinggi (Datasheet Sensor, 2019). Kondisi standart untuk mendeteksi suatu senyawa pada sensor MQ-135 berada pada temperatur $20^{\circ}\text{C}\pm 2^{\circ}\text{C}$. Nilai resistansi MQ-135 berbeda untuk berbagai jenis dan berbagai konsentrasi gas. Kalibrasi detektor untuk konsentrasi NH_3 100 ppm atau alkohol 50 ppm di udara dengan menggunakan nilai *Load resistance* (RL) dapat menyesuaikan. Sensor gas MQ-135 dapat dilihat pada gambar 2.6 berikut ini :



Gambar 2.6 Sensor Gas MQ-135 (Sumber: Datasheet sensor, 2019)

2.3.4 Parameter Sensor Gas

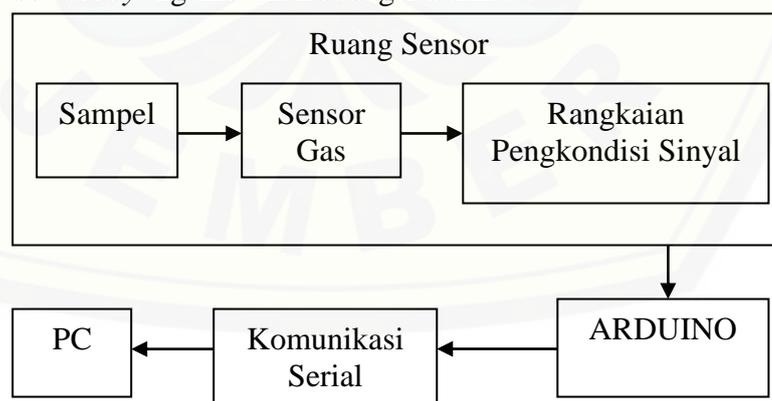
Sensor gas memiliki beberapa persyaratan umum yang digunakan untuk menentukan suatu sensor yang tepat dan sesuai seperti sensitifitas, ketelitian (*precision*), ketepatan (*accuracy*) dan lain sebagainya. Sensitifitas didefinisikan sebagai kemampuan suatu sensor untuk membedakan konsentrasi analit pada konsentrasi yang sangat kecil atau didefinisikan sebagai suatu perubahan tegangan *output* untuk suatu perubahan yang diberikan pada parameter *input*. Ketelitian yaitu keseragaman data yang dihasilkan pada beberapa pengulangan yang sama dalam setiap pengukuran, yang berarti jika suatu nilai input yang sama dan diukur beberapa kali maka sensor yang ideal akan menghasilkan nilai yang sama disetiap pengukuran. Ketepatan sensor adalah perbedaan maksimum dari nilai yang sebenarnya dengan nilai yang diperoleh dari suatu pengukuran atau yang ditunjukkan pada output sensor atau nilai output yang mendekati dengan nilai yang sebenarnya (Oktorizal,2010).

2.4 Gas Sensor Array

Electronic nose memiliki serangkain sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi perubahan suatu odor atau aroma. Serangkain gas tersebut biasa

disebut dengan *gas sensor array*. *Gas Sensor array* tersusun dari beberapa sensor yang berbeda yang memiliki sensitivitas yang luas. Sensor ini hasilnya berupa informasi kimia tentang campuran gas multi komponen yang nantinya akan dikonversi ke dalam satu set sinyal yang terukur (Szcurek dan Maciejewska, 2010). Penggunaan pertama *gas sensor array* dilakukan oleh Persaud dan Dodd pada awal 1980-an (Szcurek dan Maciejewska, 2010). Penggunaan perangkat ini terinspirasi oleh kerja sistem penciuman biologis. *Gas sensor array* ini dibentuk dengan asumsi bahwa sensitivitas silang sensor gas tidak dapat dihindari. Sensitivitas silang berarti bahwa beberapa bahan kimia dapat berinteraksi untuk memberikan sinyal yang berbeda dari komponen dalam campuran dibandingkan dengan komponen tunggal. Penggunaan *gas sensor array* yang lainnya yaitu dilakukan oleh (Feng *et al.*, 2010) penggunaan ini didasarkan pada *gas sensor array* kalorimetri untuk visualisasi bau.

Gas sensor array tidak dapat berfungsi sebagai instrumen analitik independen. Sensor ini memiliki beberapa komponen yang tidak kalah penting yang berfungsi sebagai pendukung untuk hasil yang diperoleh, yaitu detektor, penganalisa, monitor atau sistem otomatis yang terus menerus melakukan pengukuran. Alasan ini lah yang menyebabkan *gas sensor array* harus bekerja sama dengan peralatan analisis yang lain (Szcurek dan Maciejewska, 2010). Desain *gas sensor array* digambarkan sebagai berikut :



Gambar 2.7 Rancangan Sistem *Gas Sensor Array*(Sumber: Rabersyahet *al.*, 2016)

Arduino UNO merupakan suatu papan mikrokontroler *open-source* yang berbasis Microchip Atmega328P. Arduino merupakan platform elektronik *open-*

source yang berbasis pada perangkat lunak yang mudah digunakan. Arduino dapat membaca input dan mengubahnya menjadi output seperti menyalakan LED. Arduino UNO dilengkapi dengan set pin *input* atau *output* sinyal dan dapat dihubungkan dengan perangkat lain. Arduino memiliki 14 pin *input* ataupun *output* yang mana 6 pin dapat digunakan sebagai *output* PWM, 6 analog input, koneksi USB, dan tombol *reset*. Arduino dapat menerima tegangan antara 6 hingga 20 volt namun dapat pula didukung menggunakan adaptor atau baterai. Nama “UNO” berasal dari bahasa Italia yang berarti satu, nama tersebut dipilih untuk menunjukkan software Arduino (IDE) 1.0 (Arduino, 2011).

2.5 Sensor Gas Pendeteksi Kopi

Sensor gas pendeteksi kopi sudah banyak diteliti dan dikembangkan oleh banyak ilmuwan. Salah satunya yaitu penelitian (Thepudom *et al.*, 2013) mengenai klasifikasi bau kopi instan berdasarkan *electronic nose* untuk mendapatkan kualitas kontrol produksi yang baik dengan menggunakan gas pembawa udara bebas dengan sensor yang digunakan sebanyak enam buah yaitu sensor TGS. Pengujian ini bahwa *e-nose* mampu membedakan berbagai merek produk kopi instan dan mampu mengklasifikasikan bau kopi pada campuran yang berbeda pada proses yang digunakan. Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa konsentrasi dan suhu dapat mempengaruhi aroma pada kualitas kopi (Thepudom *et al.*, 2013).

Penelitian menggunakan *electronic nose* juga dilakukan oleh (Arimurti *et al.*, 2018), yang digunakan untuk menganalisis aroma kopi robusta Jawa dan Sumatera dengan *portable electronic nose* yang berkorelasi dengan GCMS. Penelitian ini menggunakan delapan sensor TGS dengan gas pembawa udara bebas selama 6 menit dengan laju alir 40 ml/menit. *Electronic nose* digunakan dengan perekaman data ketika sensor hanya terpapar udara bebas sebagai nilai *baseline* kemudian sensor terpapar sampel bubuk kopi menggunakan kipas penghisap aroma sampel dan udara berada pada kecepatan dan lama putaran yang sama. Analisis PCA terdapat dua kelompok yang sesuai dengan asal biji kopi sedangkan pada hasil analisis GCMS tidak semua senyawa yang terdeteksi oleh

GCMS merupakan penentu aroma kopi, terdapat 28 senyawa yang terdeteksi kopi robusta Jawa dan 71 senyawa yang terdeteksi pada kopi robusta Sumatera. Penelitian lainnya juga dilakukan oleh (Rabersyah *et al.*, 2016) mengenai identifikasi jenis bubuk kopi menggunakan *electronic nose* dengan metode *backpropagation*. Penelitian ini karakteristik kopi ditentukan oleh kandungan gas di dalam kopi dengan menggunakan tujuh buah sensor dengan jenis sensor TGS yang memiliki sensitivitas terhadap gas yang berbeda-beda, pengukuran respon sensor gas dilakukan terhadap tiga macam sampel, yaitu udara bebas (tanpa kopi), sampel kopi arabika dan sampel kopi robusta. Pola data dapat diperoleh dari perubahan resistensi setiap sensor apabila mendeteksi aroma kopi, dimana pola tersebut diolah menggunakan jaringan saraf tiruan (JST) *backpropagation*. Pola pada hasil yang diperoleh dapat dibedakan pola tanpa kopi 100%, arabika 40% dan robusta 100% dengan metode jaringan saraf tiruan *backpropagation* (Rabersyah *et al.*, 2016).

Penelitian yang terbaru adalah Purnama (2020) mengidentifikasi pola respon *gas sensor array* pada bubuk kopi robusta Sidomulyo berdasarkan variasi suhu pemanasan dan ukuran partikel. Penelitian ini menggunakan lima buah sensor MQ dengan gas pembawa udara bebas menggunakan pompa untuk menarik gas pembawa serta aroma kopi menuju *gas sensor array*. Pengukuran dilakukan secara berkelanjutan yaitu pengukuran udara bebas kemudian dilanjutkan dengan deteksi aroma kopi. Hasil yang diperoleh menghasilkan sinyal yang meningkat ketika sensor gas berinteraksi dengan gas atau aroma kopi. Suhu optimum ditentukan berdasarkan scorsing data pola respon dengan melihat nilai tegangan semua sensor gas. Sensor gas yang memiliki tegangan tertinggi akan memiliki score tertinggi dan seterusnya secara berurutan sehingga memiliki nilai tegangan terendah akan memiliki score terendah. Suhu pemanasan optimum yang ditentukan adalah suhu 50 °C dan ukuran bubuk kopi optimum berada pada ukuran 50-60 mesh. Penelitian yang lainnya yaitu Tyas (2020) menganalisis profil respon *gas sensor array* terhadap kopi robutas Kabupaten Jember. Penelitian ini menggunakan sensor berjumlah lima buah dengan memiliki sensitivitas yang berbeda beda serta menggunakan gas pembawa yaitu udara bebas. Hasil yang

diperoleh terdapat perbedaan sinyal yang dihasilkan pada saat sensor terpapar udara bebas serta terpapar dengan aroma kopi, sinyal yang terpapar aroma kopi menghasilkan sinyal tegangan yang lebih tinggi. Hasil pada kopi robusta Kabupaten Jember menghasilkan profil respon yang berbeda beda, namun ada beberapa kebun kopi yang memiliki kecenderungan profil respon yang mirip.

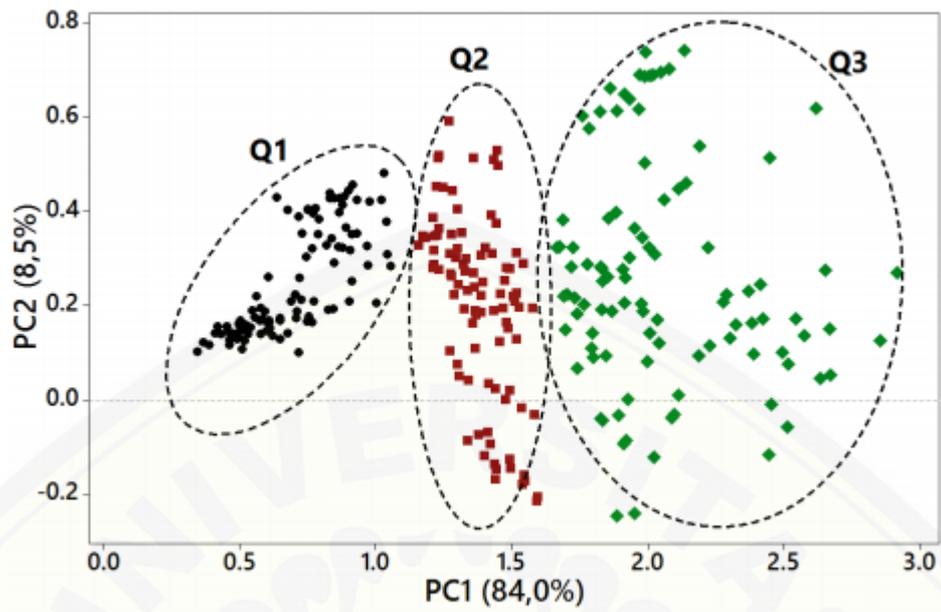
2.6 Kecermatan (*Accuracy*)

Sensor gas memiliki beberapa persyaratan umum yang digunakan untuk menentukan suatu sensor yang tepat dan sesuai seperti kecermatan (*accuracy*). Kecermatan merupakan ukuran yang menunjukkan derajat kedekatan hasil analisis dengan nilai yang sebenarnya. Kecermatan dinyatakan sebagai perolehan kembali (*recovery*) analit yang ditambahkan (Harmita, 2004). Kinerja sensor gas dapat diamati dengan metode analisis persentase *recovery baseline*. *Recovery baseline* merupakan kembalinya sinyal pada saat proses *recovery time* seperti sinyal *baseline*. Nilai *recovery baseline* ditentukan berdasarkan pembagian antara nilai tegangan *baseline* pertama yaitu pada titik ke 1 dengan nilai tegangan *baseline* terakhir yaitu pada titik ke 550 lalu dikali dengan seratus persen. Periode pengukuran pola respon ditentukan oleh waktu *flushing*, *collecting* dan *purging*. Proses hirup atau disebut dengan pengambilan aroma disebut waktu *collecting* yaitu pengambilan aroma pada saat aroma sampel memunculkan senyawa senyawa volatil pada proses pemanasan. Proses hembus atau *purging* yaitu proses membersihkan aroma dari ruang sensor dimana pada saat aroma kopi telah selesai menghasilkan senyawa volatil maka kembalilah pola respon seperti awal atau proses untuk membersihkan ruang sensor dari pengaruh aroma sampel sebelumnya. Proses *flushing* adalah proses awal yang diperlukan pada saat menghasilkan pola respon pertama. Proses keseluruhan pengukuran dari awal hingga akhir direkam secara runtun waktu tiap detik oleh komputer. Sinyal meningkat ketika sensor berinteraksi dengan aroma kopi pada waktu *flushing dan collecting* merupakan proses respon time serta terdapat penurunan sinyal ketika sensor berinteraksi dengan gas pembawa kembali pada waktu *collecting dan purging* yaitu proses *recovery time* (Lelono *et al.*, 2019).

2.7 *Principal Component Analysis (PCA)*

Principal Component Analysis (PCA) merupakan analisa komponen utama salah satu fitur ekstraksi (reduksi) variabel yang banyak digunakan. PCA pertama kali diperkenalkan oleh Karl Pearson pada tahun 1901. Harold Hotelling melakukan analisa untuk variabel stokastik. Hotelling menggunakan pendekatan PCA yang sebelumnya telah dikemukakan oleh Pearson dan memperkenalkan istilah “*Component*” sebagai variabel yang dihasilkan menggunakan metodologi PCA. Perkembangan selanjutnya dikenal dengan istilah “*Principal Component*” yang menjelaskan komponen utama atau variabel baru yang dihasilkan/direduksi. Inilah cikal bakal dari analisa PCA.

Metode PCA sangat berguna digunakan jika data yang ada memiliki jumlah variabel yang besar dan memiliki korelasi antar variabelnya. Tujuan dari analisis PCA adalah untuk mereduksi variabel yang ada menjadi lebih sedikit tanpa harus kehilangan informasi yang termuat dalam data asli/awal. Metode PCA variabel yang tadinya sebanyak n variabel akan direduksi menjadi k variabel baru (*principal component*) dengan jumlah k lebih sedikit dari n dan dengan hanya menggunakan k *principal component* akan menghasilkan nilai yang sama dengan menggunakan n variabel. Sifat dari variabel baru yang terbentuk dengan analisa PCA nantinya selain memiliki jumlah variabel yang berjumlah lebih sedikit tetapi juga menghilangkan korelasi antar variabel yang terbentuk (Hendro *et al.*, 2012). Hasil pengolahan data menggunakan PCA kemudian ditampilkan dalam bentuk grafik *score plot* untuk melihat persebaran data yang dihasilkan oleh sampel yang diuji (Lintang *et al.*, 2016). Berikut merupakan contoh dari klasifikasi PCA :



Gambar 2.8 *Score plot* klasifikasi oleh PCA untuk sampel Q1, Q2 dan Q3 (Lelono *et al.*, 2019)

BAB 3. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai dari bulan November 2019 – Maret 2020 dan tempat penelitian dilakukan di Laboratorium Kimia Analitik dan Kimia Fisik Jurusan Kimia Universitas Jember.

3.2 Alat dan Bahan

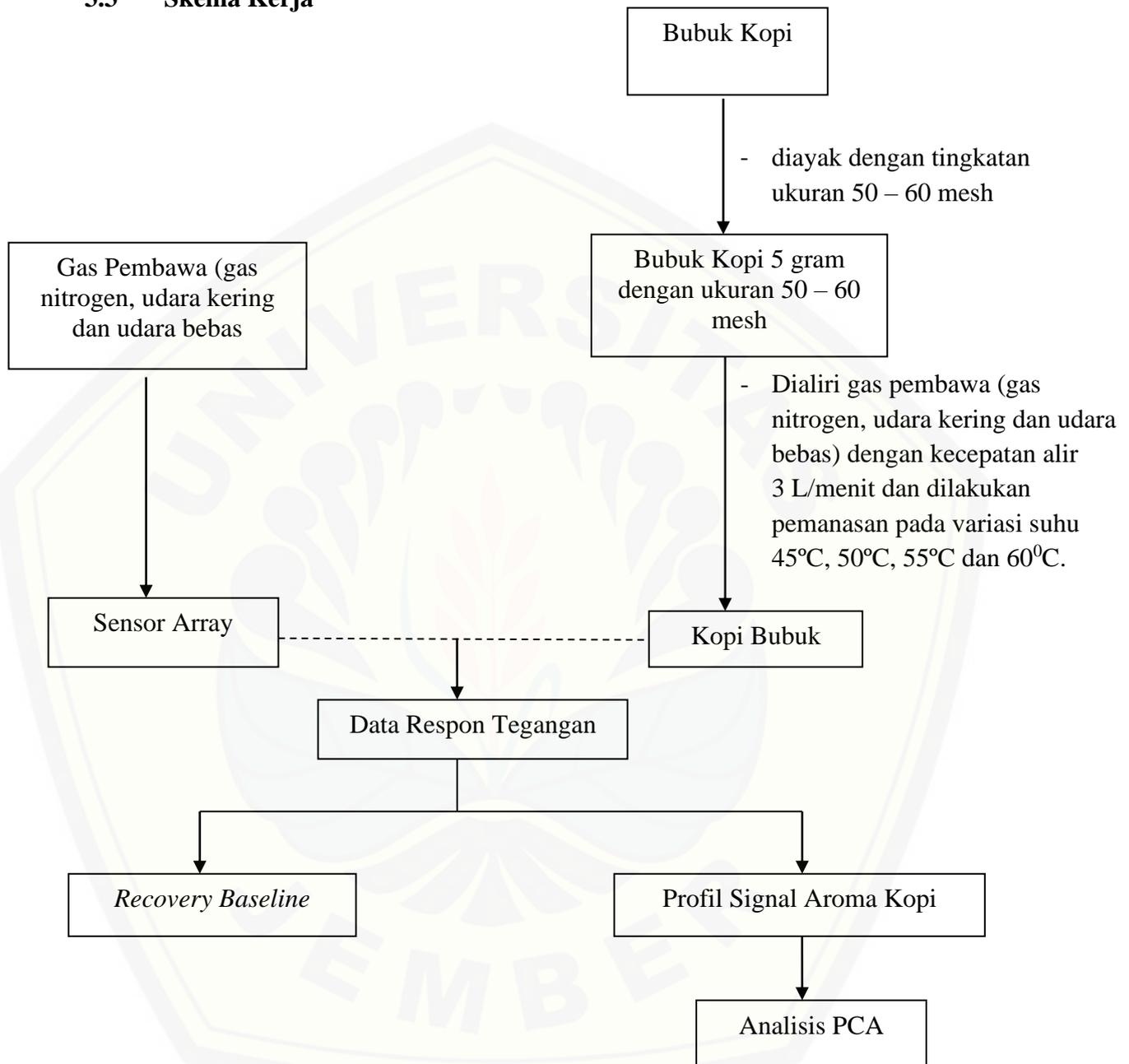
3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam penelitian antara lain adalah laptop ACER yang telah diinstal *software* LABVIEW, flowmeter 3.0 LPM, Arduino UNO, grinder, *heater*, selang PTFE, spatula, labu leher tiga 500 ml, *chamber* sensor, termometer, kabel USB, ayakan ukuran 50-60 mesh, statif dan 5 sensor yaitu sensor MQ-2, sensor MQ-3, sensor MQ-6, sensor MQ-7, dan sensor MQ-135.

3.2.2 Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian yaitu biji kopi robusta dari kebun Panti dan kebun Silosanen dan gas nitrogen 6M³ HP MR, udara kering N₂MIX2102 1M³ MR dan udara bebas dari kompresor.

3.3 Skema Kerja



3.4 Prosedur Kerja

3.4.1 Persiapan Sampel

Biji kopi berasal dari petani kopi Desa Panti dan Desa Silosanen. Kopi robusta kebun Silosanen terletak di Kecamatan Silo, Kabupaten Jember, pada ketinggian 450-850 meter di atas permukaan laut. Kopi robusta kebun Panti

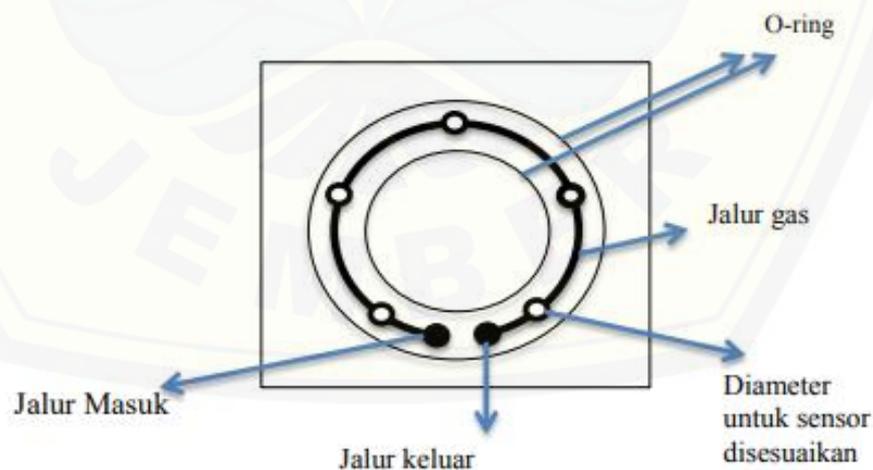
terletak di Kecamatan Pantii Kabupaten Jember, pada ketinggian 800 meter di atas permukaan laut. Biji kopi robusta Silosanen dan Pantii yang telah kering disangrai mulai suhu 50°C hingga mencapai suhu 130°C dengan waktu sekitar 20 menit. Kopi selanjutnya dihaluskan dengan mesin penggiling yang kemudian diayak dengan ukuran 50-60 mesh.

3.4.2 Uji Stabilitas Sensor

Sensor sebelum digunakan untuk menguji sampel terlebih dahulu dilakukan uji stabilitas. Stabilitas sensor diuji dengan cara mengukur tegangan sensor pada saat dialiri gas pembawa dengan keadaan sistem tertutup. Hasil uji stabilitas sensor didapatkan saat sinyal yang dihasilkan telah stabil atau tidak berubah-ubah. Hasil yang diperoleh akan digunakan sebagai *baseline* respon sensor.

3.4.3 Rancangan *Gas Sensor Array*

Lima sensor gas yang digunakan disusun secara *array* melingkar yang ditempatkan pada *chamber* sensor. Penempatan antara sensor satu dengan yang lainnya saling berdekatan dengan diameter jarak disesuaikan dengan ukuran sensor. Flowmeter pada tabung gas akan mengalirkan gas pembawa untuk mendorong gas aroma kopi melalui jalur masuk. Gambar rancangan *gas sensor array* secara jelas dapat dilihat pada gambar 3.1

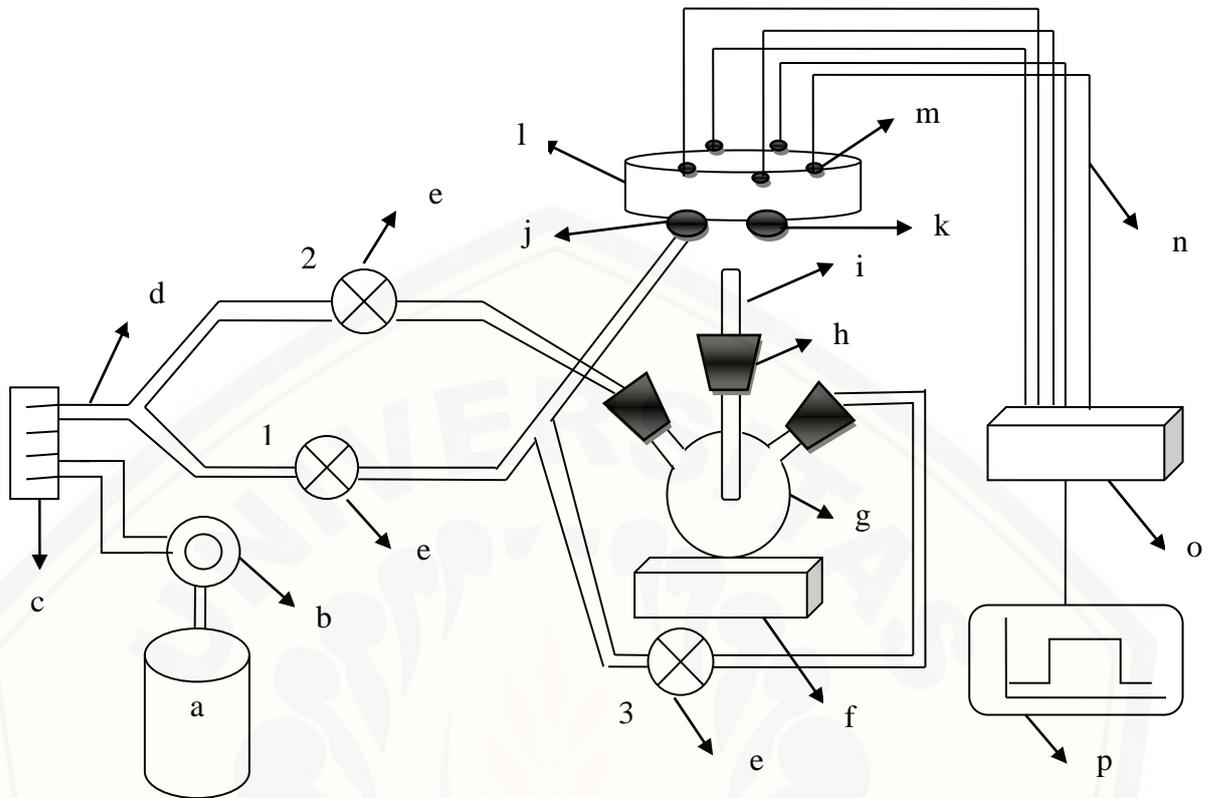


Gambar 3.1 Desain *Gas Sensor Array* pada *chamber* sensor

3.4.4 Pengujian Sampel

Proses pengujian bubuk kopi dengan sensor secara garis besar dalam penelitian ini adalah :

Proses pengujian yang dilakukan yaitu secara berkelanjutan antara gas pembawa dengan aroma kopi yang bertujuan untuk mengetahui bagaimana respon *gas sensor array* terhadap adanya perubahan aroma. Sampel bubuk kopi dipanaskan pada suhu 45°C, 50°C, 55°C dan 60°C kemudian dialiri gas pembawa berupa udara bebas dengan tekanan sebesar 25 kg/cm² serta kecepatan pada flowmeter adalah 3 L/menit. Gas pembawa akan keluar melalui *valve* pertama menuju *chamber* sensor untuk menghasilkan sinyal respon pada komputer. Aroma kopi yang dihasilkan dari pemanasan kopi keluar melalui *valve* ketiga yang akan didorong oleh gas pembawa melalui *valve* kedua menuju jalur masuk *chamber* sensor dan akan menuju lima sensor gas yang digunakan. Input sinyal dari 5 sensor gas antara lain: MQ-135, MQ-2, MQ-3, MQ-6 dan MQ-7 akan diterima oleh sistem berupa perubahan voltase karena ketika sensor mendeteksi adanya unsur aroma dari aroma kopi maka resistensi dari sensor akan berubah dan mengakibatkan perubahan voltase. Sinyal yang diperoleh diteruskan ke rangkaian analog digital converter (ADC) yang berupa arduino untuk dikonversi ke dalam bentuk digital. Sinyal yang sudah dalam bentuk digital kemudian diolah menjadi data berupa grafik atau pola respon berupa tegangan versus waktu pada komputer. Proses pengukuran dilakukan dengan pengulangan sebanyak lima kali. Rancangan kerja *gas sensor array* dapat dilihat pada gambar 3.2.



Gambar 3.2 Rancangan Kerja Gas Sensor Array

Keterangan :

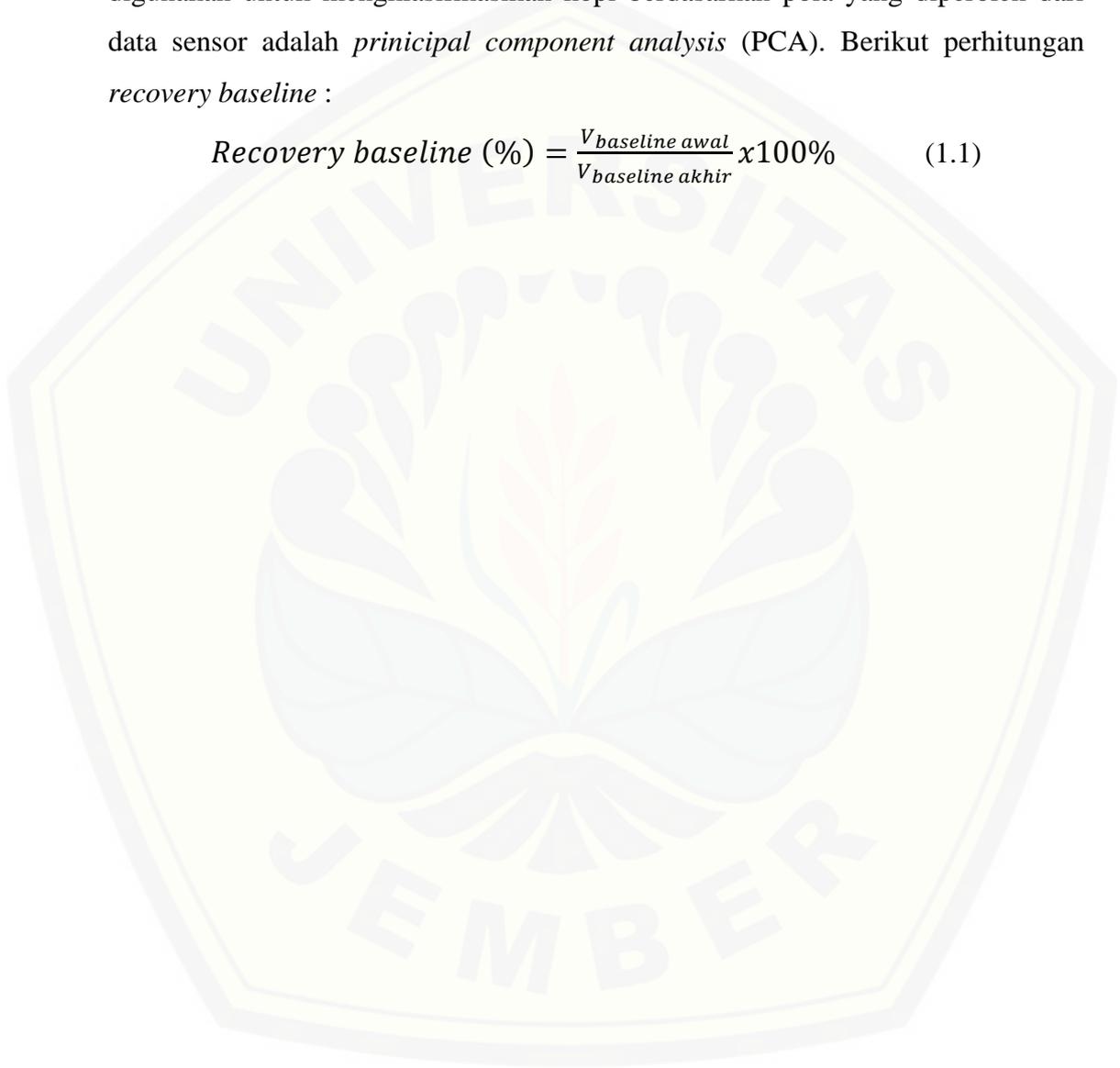
a : Tabung Gas	i : Termometer
b : Regulator	j : Jalur masuk
c : Flowmeter	k : Jalur keluar
d : Selang	l : Akrilik
e : Kran	m : Sensor
f : Pemanas	n : Kabel
g : Labu leher tiga	o : Arduino
h : Penutup Karet	p : Komputer

3.4.5 Proses Pengukuran

Gas sensor array yang telah disusun digunakan untuk menguji sampel bubuk kopi dengan variasi suhu pemanasan dan gas pembawa yaitu udara kering, udara bebas dan gas nitrogen. Variasi suhu pemanasan digunakan untuk memperoleh suhu optimum yang kemudian dilakukan proses pengukuran kembali sampel bubuk kopi dengan dialiri gas pembawa. Hasil respon dari variasi tersebut

digunakan untuk mengukur kinerja sensor berdasarkan nilai persentase *recovery baseline* yang dihasilkan berdasarkan pembagian antara nilai tegangan *baseline* pertama yaitu pada titik ke 1 dengan nilai tegangan *baseline* terakhir yaitu pada titik ke 550 lalu dikali dengan seratus persen. Analisis multivarian yang digunakan untuk mengklasifikasikan kopi berdasarkan pola yang diperoleh dari data sensor adalah *principal component analysis* (PCA). Berikut perhitungan *recovery baseline* :

$$\text{Recovery baseline (\%)} = \frac{V_{\text{baseline awal}}}{V_{\text{baseline akhir}}} \times 100\% \quad (1.1)$$



BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian pola respon *gas sensor array* terhadap aroma kopi robusta Silosanen dan Panti berdasarkan variasi suhu dan gas pembawa adalah sebagai berikut :

1. Suhu pemanasan menghasilkan pola respon *gas sensor array* yang berbeda pada kopi Silosanen dan Panti pada kopi Silosanen tegangan tertinggi terdapat MQ-3 sedangkan kopi Panti tegangan tertinggi pada MQ-6 dengan suhu optimum yang telah diperoleh sebesar 50°C berdasarkan pada pola yang dihasilkan berbeda dengan pola data sekunder.
2. Gas pembawa menghasilkan pola respon *gas sensor array* kopi Silosanen dan Panti berbeda pada kopi Silosanen nilai tegangan tertinggi pada gas nitrogen dan pada kopi Panti nilai tegangan tertinggi pada udara kering dengan gas pembawa optimum yang telah diperoleh yaitu udara bebas berdasarkan pada jarak paling jauh yang dihasilkan pada hasil analisis PCA.
3. Karakteristik pola respon *gas sensor array* pada aroma kopi Silosanen dan Panti menghasilkan karakteristik yang berbeda dengan variasi suhu kedua kopi menghasilkan pola yang berbeda dengan nilai tegangan tertinggi pada kopi Silosanen yaitu MQ-3 dan kopi Panti yaitu MQ-6 sedangkan pada variasi gas pembawa kopi Silosanen dan Panti menghasilkan pola yang berbeda dengan kopi Silosanen nilai tegangan tertinggi terdapat pada gas nitrogen sedangkan kopi Panti nilai tegangan tertinggi terdapat pada udara kering yang dianalisis lebih lanjut dengan analisis PCA yang menghasilkan pola paling berbeda berdasarkan pada jarak yang dihasilkan jauh antar suhu dan gas pembawa sehingga karakteristik antara kopi Silosanen dan Panti berbeda.

5.2 Saran

Saran yang diberikan pada penelitian selanjutnya yaitu sensor yang digunakan dilakukan penyimpanan yang lebih baik, karena sensor sangat sensitif terhadap keadaan lingkungan sekitar yang akan berpengaruh terhadap hasil respon yang

dihasilkan. Penggunaan sensor sebaiknya tidak terus menerus supaya menghasilkan hasil sinyal yang stabil dan akan mempengaruhi kinerja sensor. Pengukuran aroma kopi dengan gas pembawa dapat dikembangkan secara otomatis pada perubahan *valve* gas pembawa dan aroma kopi untuk memperoleh data yang lebih baik dan stabil.



DAFTAR PUSTAKA

Arduino. 2011. *Data Sheet Arduino UNO*.<http://arduino.cc/en/Main/arduinoBoardUNO>. (diakses pada 20 September 2019).

Arimurti, Y. 2014. Diskriminasi Aroma Kopi Robusta Dengan Variasi Suhu Roasting Menggunakan Electronic Nose Yang Terkorelasi Dengan Gas Chromatography Mass Spectrometry. *Tesis*. Yogyakarta : Fakultas Ilmu Pengetahuan Alam dan Matematika Universitas Gadjah Mada.

Arimurti, Y., K. Triyana dan S. Anggrahini. 2018. Portable *Electronic Nose* Sebagai Instrumen Untuk Diskriminasi Aroma Kopi Robusta Jawa dan Robusta Sumatera yang Terkorelasi dengan *Gas Chromatography Mass Spectrometry*. *Jurnal Ilmu Fisika*. 10(2): 113-124.

Asiah, N., F. Septiyana., U. Saptono., L. Cempaka dan D. A. Sari. 2017. Identifikasi Cita Rasa Sajian Tubruk Kopi Robusta Cibulao pada Berbagai Suhu dan Tingkat Kehalusan Penyeduhan. *Barometer*. 2(2):52-56.

Bochenkov, V.E., dan G. B. Sergeev. 2010. *Sensitivity, Selectivity, and Stability of Gas-Sensitive Metal-Oxide Nanostructure*. 3: 31-52.

Chandra, B. 2006. Pengantar Kesehatan Lingkungan. EGC. Jakarta

Datasheet Sensors. 2019. Datasheet sensor MQ-3 [Serial onlie]. <https://www.sparkfun.com/datasheets/senor/MQ-3.pdf>. (diakses pada 19 Mei 2019).

Datasheet Sensors. 2019. Datasheet sensor MQ-7 [Serial onlie]. <https://www.sparkfun.com/datasheets/senor/MQ-7.pdf>. (diakses pada 19 Mei 2019).

Datasheet Sensors. 2019. Datasheet sensor MQ-2 [Serial onlie]. <https://www.sparkfun.com/datasheets/senor/MQ-2.pdf>. (diakses pada 19 Mei 2019).

Datasheet Sensors. 2019. Datasheet sensor MQ-6 [Serial onlie].

<https://www.sparkfun.com/datasheets/senor/MQ-6.pdf>. (diakses pada 19 Mei 2019).

Datasheet Sensors. 2019. Datasheet sensor MQ-135 [Serial online]. <https://www.sparkfun.com/datasheets/senor/MQ-135.pdf>. (diakses pada 19 Mei 2019).

Feng, L., C. J. Musto., J. W. Kemling., S. H. Lim., dan K. S. Suslick. 2010. *A colorimetric sensor array for identification of toxic gases below permissible exposure limits* w. 46: 2037–2039.

Hendro, G., T. B. Adji., dan N. A. Setiawan. 2012. Penggunaan Metodologi Analisa Komponen Utama (PCA) untuk Mereduksi Faktor-faktor yang Mempengaruhi Penyakit Jantung Koroner. *Science, Engineering and Technology*.

Herlambang. 2019. Apa itu Principal Component Analysis. www.Megabagus.id. [Diakses pada 16 Mei 2020].

Kim, S., dan K. Bo-Sin. 2018. A Colorimetric Sensor Array-based Classification of Coffees. *Sensors and amp.* 2: 144-5.

Knysak, D. 2017. *Volatile compounds profiles in unroasted Coffea arabica and Coffea canephora beans from different countries.* 37(3): 444–448.

Lelono, D dan K. Triyana. 2019. Suhu Pemanas Sampel Optimal Untuk Klasifikasi Teh Hitam Menggunakan Electronic Nose. *Indonesian Journal Of Electronics and Instrumentation System (IJEIS)*. 9(1): 45-54.

Lintang, C. A, T. W. Widodo, Dan D. Lelono. 2016. Rancang Bangun Electronic Nose untuk Mendeteksi Tingkat Kebusukan Ikan Air Tawar. *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi.* 6(2): 130-138.

Nopitasari, I. 2010. *Proses Pengolahan Kopi Bubuk (Campuran Arabika dan Robusta) serta Perubahan Mutunya selama Penyimpanan.* (tidak dipublikasi). Sarjana Teknologi Pertanian, Institusi Pertanian Bogor, Bogor, Jawa Barat.

- Panggabean, E. 2011. *Buku Pintar Kopi*. Jakarta: Agro Media Pustaka.
- Pearce, T.C., S. S. Schiffman., H. T. Nagle., dan J. W. Gardner. 2013. *Handbook of Machine Olfaction*. Wheinheim: Wiley-VCH Velag GmbH & Co.
- Purnama, R. G. 2020. Identifikasi Pola Respon *gas sensor array* Bubuk Kopi Robusta Sidomulto Berdasarkan Variasi Suhu Pemanasan dan Ukuran Partikel. *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Oktorizal, A. 2010. *Studi Sensor Gas Berbasis Surface Acoustic Wave untuk Penerapan pada Sistem Identifikasi Gas*. Departemen Teknik Elektro Depok, Universitas Indonesia.
- Rabersyah, D., Firdaus, Dan Derisma. 2016. Identifikasi jenis bubuk kopi menggunakan electronic nose. *Nasional Teknik Elektro*. 5(3): 332–338.
- Rahardjo, P. 2012. *KOPI Panduan Budidaya dan Pengolahan Kopi Arabika dan Robusta*. Jakarta: Penebar Swadaya.
- Ramadhani, B. A. 2020. Karakteristik Pola Respon Dari Gas Sensor Array Terhadap Pengaruh Ukuran Mesh Bubuk Kopi Sidomulyo. *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.
- Sativa, O., Yuwana, dan Bonodikun. 2014. Karakterisasi Fisik Buah Kopi, Kopi Beras dan Hasil Olahan Kopi Rakyat di Desa Sindang Jati, Kabupaten Rejang Lebong. *Jurnal Agroindustri*. ISSN 2088-5369.
- Sub Direktorat Statistik Tanaman Perkebunan. 2017. *Statistik Kopi Indonesia*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- Sulistyaningtyas, A. R. 2017. Pentingnya Pengolahan Basah (Wet Processing) Buah Kopi Robusta (*Coffea robusta* Lindl . ex . de . Will) Untuk Menurunkan Resiko Kecacatan Biji Hijau Saat Coffee Granding. *Prosiding Seminar Nasional Publikasi Hasil-Hasil Penelitian Dan Pengabdian*

Masyarakat, Universitas Muhammadiyah Semarang, 90–94.

Szczurek, A., dan M. Maciejewska. 2010. *gas sensor array with Broad Applicability*. Poland: *Wroctow university of Technology*.

Thepudom, T., N. Sricharoenchai., dan T. Kerdcharoen. 2013. Classification of instant coffee odors by electronic nose toward quality control of production. *2013 10th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications and Information Technology, ECTI-CON 2013*: 4–7.

Tyas, F. K. 2020. Analisis Profil Respon *gas sensor array* Terhadap Kopi Robusta Kabupaten Jember Menggunakan Electronic Nose. *Skripsi*. Jember : Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Jember.

Van der Vossen, H.A.M., Soenaryo dan Mawardi. 2000. Coffea L. Dalam: Van der Vossen, H.A.M & Wessel, M. *Plant Resources of South-East Asia. Netherlands*: Backhuys Publisher.

Villanueva, S., A Guadarrama., M.L Rodriguez-Mendez., dan J.A de Saja. 2008. Use of an Array of Metal Oxide Sensors Coupled With Solid Phase Microextraction for Characterisation of Wines Study of The Role of The Carrier Gas. *Sensors and Actuators*. 132: 125-133.

Wang, C.,L. Yin., L. Zhang., D. Xiang., dan R, Gao. 2010. Metal Oxide Gas Sensors: Sensitivity and Influencing Factors. *Sensors*. 10: 2088-2106.

Wenny, B. S. 2016. *The Composition Basic of Coffee Flavour*. The University Of Queensland.

LAMPIRAN

Lampiran 4.1 Perhitungan Pola Respon *gas sensor array* Kopi Silosanen dan Panti Variasi Suhu Pemanasan

a. Data pola sinyal aroma kopi Silosanen pada suhu 50°C dengan gas pembawa udara bebas

Data sampel (kopi)

Data ke 318-384	Tegangan (V)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
	0,4992	1,416	1,2412	0,5958	0,4218
	0,4992	1,416	1,2412	0,5958	0,4218
	0,4992	1,417	1,2412	0,595	0,4198
	0,4992	1,416	1,2422	0,5958	0,4198
	0,5002	1,417	1,2422	0,5958	0,4188
	0,5002	1,417	1,244	0,5958	0,4198
	0,5002	1,416	1,244	0,5958	0,4198
	0,4992	1,416	1,245	0,5958	0,4198
	0,4992	1,416	1,246	0,5958	0,4188
	0,4992	1,416	1,246	0,594	0,4198
	0,4992	1,417	1,246	0,5958	0,4198
	0,4982	1,416	1,246	0,5938	0,4198
	0,4992	1,416	1,247	0,595	0,4198
	0,4992	1,416	1,249	0,5948	0,4198
	0,4992	1,418	1,25	0,5938	0,4198
	0,4992	1,416	1,249	0,593	0,4188
	0,4982	1,417	1,249	0,593	0,4188
	0,4992	1,416	1,25	0,593	0,4188
	0,4982	1,417	1,25	0,5948	0,4188
	0,4982	1,416	1,25	0,593	0,418
	0,4992	1,416	1,251	0,5938	0,4178
	0,4982	1,416	1,253	0,593	0,4188
	0,4972	1,416	1,253	0,592	0,417
	0,4972	1,415	1,253	0,5928	0,4168
	0,4972	1,415	1,254	0,591	0,416
	0,4982	1,416	1,254	0,592	0,417
	0,4972	1,415	1,255	0,593	0,416
	0,4972	1,416	1,256	0,592	0,415
	0,4972	1,416	1,255	0,591	0,416
	0,4972	1,415	1,256	0,593	0,417
	0,4972	1,415	1,256	0,591	0,416
	0,4972	1,415	1,256	0,5928	0,416
	0,4982	1,415	1,258	0,591	0,415
	0,4972	1,416	1,259	0,591	0,416
	0,4972	1,414	1,2598	0,591	0,415
	0,4972	1,415	1,2598	0,59	0,415
	0,4972	1,416	1,2598	0,59	0,415
	0,4972	1,413	1,2598	0,591	0,415

0,4972	1,414	1,2598	0,591	0,416	
0,4972	1,414	1,2616	0,591	0,415	
0,4972	1,413	1,2608	0,591	0,416	
0,4992	1,413	1,2618	0,591	0,415	
0,4962	1,413	1,2628	0,59	0,415	
0,4962	1,413	1,2646	0,59	0,415	
0,4962	1,414	1,2646	0,589	0,415	
0,4962	1,413	1,2646	0,589	0,416	
0,4972	1,415	1,2646	0,589	0,414	
0,4952	1,414	1,2646	0,589	0,414	
0,4962	1,414	1,2656	0,589	0,414	
0,4962	1,413	1,2646	0,589	0,415	
0,4972	1,413	1,2656	0,589	0,414	
0,4962	1,413	1,2676	0,589	0,4142	
0,4962	1,414	1,2656	0,589	0,413	
0,4962	1,413	1,2676	0,589	0,415	
0,4962	1,413	1,2696	0,589	0,413	
0,4952	1,413	1,2696	0,589	0,414	
0,4952	1,413	1,2696	0,589	0,413	
Rata rata	0,4977	1,415034	1,255724	0,592014	0,416738

Data udara tanpa sampel (Referensi)

Data ke 40-97	Tegangan (V)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
0,4062	1,214	0,8948	0,4002	0,33	
0,4042	1,211	0,8928	0,3992	0,331	
0,4042	1,21	0,8918	0,3992	0,33	
0,4052	1,211	0,8918	0,3992	0,33	
0,4042	1,209	0,8918	0,3992	0,33	
0,4042	1,209	0,8888	0,3992	0,329	
0,4042	1,209	0,8888	0,3992	0,329	
0,4042	1,207	0,8888	0,3984	0,329	
0,4032	1,207	0,8878	0,3992	0,328	
0,4042	1,206	0,8868	0,3984	0,329	
0,4032	1,206	0,8878	0,3974	0,327	
0,4022	1,205	0,8868	0,3982	0,33	
0,4022	1,205	0,8868	0,3966	0,328	
0,4022	1,204	0,8858	0,3974	0,328	
0,4032	1,204	0,8838	0,3974	0,327	
0,4022	1,203	0,8838	0,3974	0,328	
0,4032	1,202	0,8838	0,3966	0,328	
0,4022	1,201	0,8828	0,3976	0,328	
0,4022	1,202	0,8828	0,3974	0,329	
0,4032	1,201	0,8828	0,3964	0,329	
0,4012	1,2	0,8828	0,3964	0,329	
0,4022	1,2	0,8808	0,3974	0,329	
0,4022	1,2	0,8808	0,3974	0,327	
0,4022	1,199	0,8808	0,3956	0,328	
0,4022	1,199	0,8808	0,3974	0,329	

0,4032	1,199	0,8798	0,3964	0,328	
0,4022	1,198	0,8808	0,3966	0,33	
0,4022	1,198	0,8798	0,3964	0,33	
0,4032	1,197	0,8798	0,3964	0,33	
0,4022	1,196	0,8788	0,3964	0,329	
0,4022	1,196	0,8788	0,3964	0,329	
0,4022	1,195	0,8768	0,3956	0,328	
0,4022	1,196	0,8768	0,3946	0,328	
0,4022	1,1952	0,8768	0,3974	0,33	
0,4012	1,1942	0,8758	0,3974	0,331	
0,4022	1,1942	0,8758	0,3964	0,328	
0,4022	1,1942	0,8778	0,3974	0,33	
0,4012	1,1942	0,8758	0,3946	0,33	
0,4022	1,1942	0,875	0,3984	0,33	
0,4022	1,1942	0,875	0,3974	0,331	
0,4022	1,1932	0,8758	0,3954	0,331	
0,4022	1,1922	0,875	0,3974	0,33	
0,4022	1,1942	0,874	0,3964	0,33	
0,4022	1,1914	0,873	0,3974	0,331	
0,4022	1,1914	0,873	0,3984	0,331	
0,4022	1,1914	0,873	0,3974	0,33	
0,4022	1,1914	0,873	0,3984	0,331	
0,4012	1,1914	0,872	0,3964	0,33	
0,4032	1,1904	0,873	0,3984	0,331	
0,4022	1,1914	0,872	0,3974	0,331	
0,4012	1,1914	0,873	0,3984	0,332	
0,4022	1,1914	0,872	0,3974	0,332	
0,4022	1,1914	0,872	0,3974	0,332	
0,4022	1,1904	0,872	0,3984	0,332	
0,4022	1,1904	0,87	0,3984	0,331	
0,4022	1,1904	0,871	0,3984	0,332	
0,4022	1,1894	0,871	0,3984	0,332	
Rata rata	0,402614	1,198328	0,879745	0,397483	0,329672

Selisih nilai tegangan:

	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Rata rata nilai tegangan sampel	0,4977	1,415034	1,255724	0,592014	0,416738
Rata rata nilai tegangan referensi	0,402614	1,198328	0,879745	0,397483	0,329672
Selisih nilai tegangan	0,095086	0,216707	0,375979	0,194531	0,087066

b. Kumpulan selisih nilai tegangan sampel dengan nilai tegangan referensi kopi Silosanen pada variasi suhu pemanasan

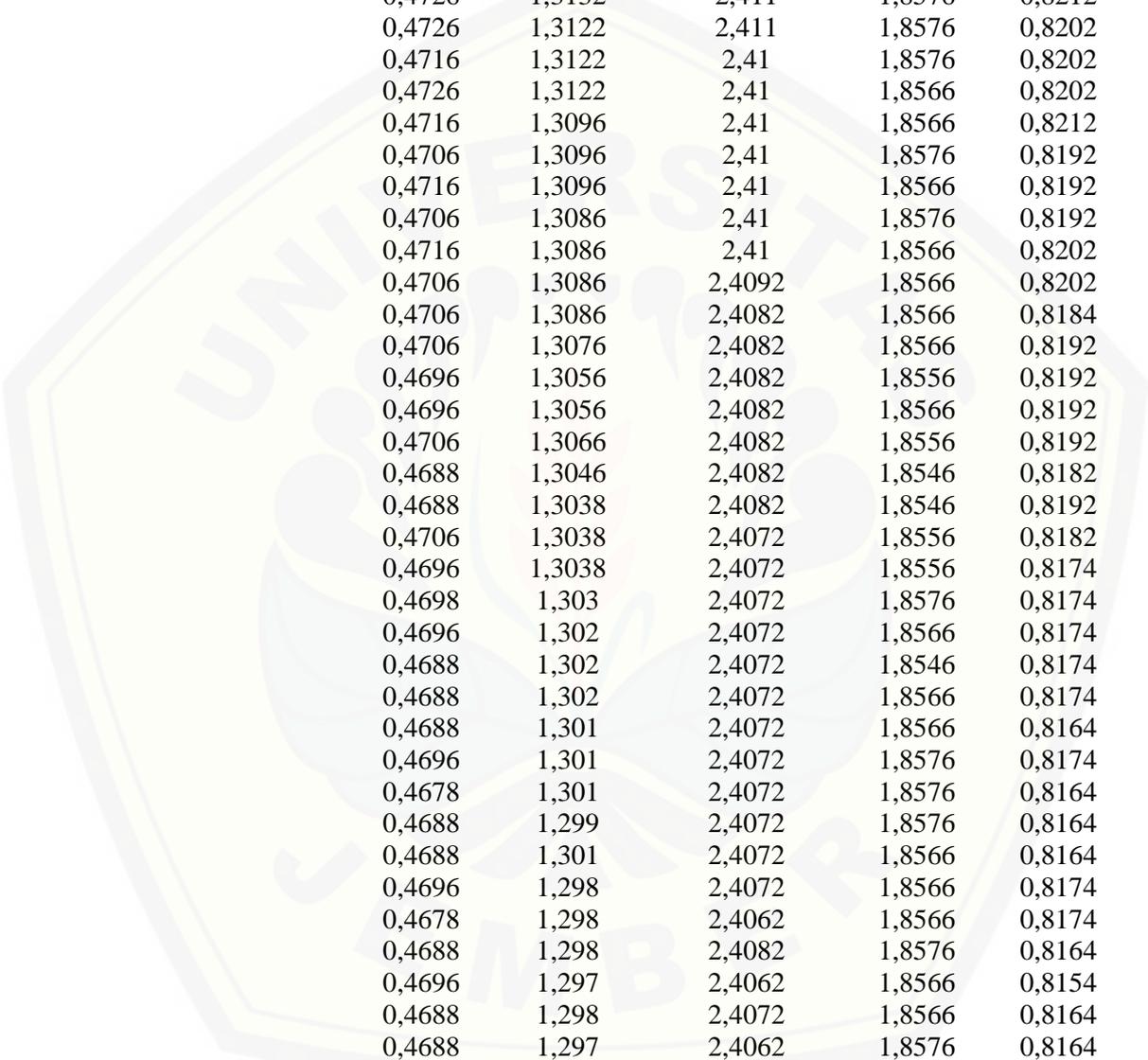
Suhu	Rata Rata	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
------	-----------	--------	------	------	------	------

45°C	nilai tegangan sampel	0,36051	1,446386	1,351397	0,741948	0,397059
	nilai tegangan referensi	0,26976	1,269407	0,99511	0,502817	0,347321
	Selisih nilai tegangan	0,090748	1,176979	0,356286	0,239131	0,049738
50°C	nilai tegangan sampel	0,4977	1,415034	1,255724	0,592014	0,416738
	nilai tegangan referensi	0,402614	1,198328	0,879745	0,397483	0,329672
	Selisih nilai tegangan	0,095086	0,216707	0,375979	0,194531	0,087066
55°C	nilai tegangan sampel	0,639552	1,981866	1,685207	1,2234	0,772531
	nilai tegangan referensi	0,533034	1,787545	1,216648	0,908348	0,685383
	Selisih nilai tegangan	0,106517	0,194321	0,468559	0,315052	0,087148
60°C	nilai tegangan sampel	0,465576	1,951634	1,588079	1,400324	0,588297
	nilai tegangan referensi	0,348179	1,654741	0,955076	0,963062	0,492655
	Selisih nilai tegangan	0,117379	0,296893	0,633003	0,437262	0,095641

c. Pola sinyal aroma kopi Pantli pada suhu 50°C dengan gas pembawa udara bebas

Data sampel (kopi)

Data ke 331-388	Tegangan (V)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
	0,4736	1,3222	2,412	1,8566	0,8222
	0,4736	1,3202	2,411	1,8566	0,8222
	0,4746	1,3202	2,411	1,8566	0,8222
	0,4736	1,3202	2,411	1,8566	0,8222
	0,4736	1,3192	2,411	1,8566	0,8232
	0,4726	1,3182	2,411	1,8566	0,8222
	0,4736	1,3172	2,411	1,8566	0,8222



0,4726	1,3172	2,411	1,8566	0,8202
0,4726	1,3162	2,411	1,8566	0,8222
0,4726	1,3152	2,411	1,8566	0,8222
0,4736	1,3152	2,411	1,8576	0,8212
0,4726	1,3162	2,411	1,8576	0,8212
0,4726	1,3142	2,411	1,8576	0,8212
0,4726	1,3142	2,411	1,8576	0,8212
0,4726	1,3132	2,411	1,8576	0,8212
0,4726	1,3122	2,411	1,8576	0,8202
0,4716	1,3122	2,41	1,8576	0,8202
0,4726	1,3122	2,41	1,8566	0,8202
0,4716	1,3096	2,41	1,8566	0,8212
0,4706	1,3096	2,41	1,8576	0,8192
0,4716	1,3096	2,41	1,8566	0,8192
0,4706	1,3086	2,41	1,8576	0,8192
0,4716	1,3086	2,41	1,8566	0,8202
0,4706	1,3086	2,4092	1,8566	0,8202
0,4706	1,3086	2,4082	1,8566	0,8184
0,4706	1,3076	2,4082	1,8566	0,8192
0,4696	1,3056	2,4082	1,8556	0,8192
0,4696	1,3056	2,4082	1,8566	0,8192
0,4706	1,3066	2,4082	1,8556	0,8192
0,4688	1,3046	2,4082	1,8546	0,8182
0,4688	1,3038	2,4082	1,8546	0,8192
0,4706	1,3038	2,4072	1,8556	0,8182
0,4696	1,3038	2,4072	1,8556	0,8174
0,4698	1,303	2,4072	1,8576	0,8174
0,4696	1,302	2,4072	1,8566	0,8174
0,4688	1,302	2,4072	1,8546	0,8174
0,4688	1,302	2,4072	1,8566	0,8174
0,4688	1,301	2,4072	1,8566	0,8164
0,4696	1,301	2,4072	1,8576	0,8174
0,4678	1,301	2,4072	1,8576	0,8164
0,4688	1,299	2,4072	1,8576	0,8164
0,4688	1,301	2,4072	1,8566	0,8164
0,4696	1,298	2,4072	1,8566	0,8174
0,4678	1,298	2,4062	1,8566	0,8174
0,4688	1,298	2,4082	1,8576	0,8164
0,4696	1,297	2,4062	1,8566	0,8154
0,4688	1,298	2,4072	1,8566	0,8164
0,4688	1,297	2,4062	1,8576	0,8164
0,4678	1,296	2,4062	1,8576	0,8164
0,4688	1,296	2,4062	1,8556	0,8174
0,4678	1,296	2,4072	1,8566	0,8144
0,4688	1,295	2,4062	1,8566	0,8144
0,468	1,294	2,4052	1,8556	0,8164
0,468	1,294	2,4062	1,8556	0,8144
0,467	1,292	2,4052	1,8556	0,8144
0,4688	1,292	2,4052	1,8556	0,8134
0,4678	1,293	2,4052	1,8556	0,8144

Rata rata	0,470383	1,305831	2,408483	1,856583	0,818569
-----------	----------	----------	----------	----------	----------

Data udara tanpa sampel (Referensi)

Data ke 34-91	Tegangan (V)				
	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
	0,3566	0,998	1,992	1,332	0,6834
	0,3546	0,9962	1,992	1,3294	0,6824
	0,3546	0,9962	1,991	1,3294	0,6816
	0,3556	0,9952	1,991	1,3294	0,6816
	0,3546	0,9932	1,989	1,3284	0,6806
	0,3546	0,9932	1,99	1,3254	0,6816
	0,3556	0,9922	1,988	1,3264	0,6806
	0,3546	0,9922	1,987	1,3234	0,6806
	0,3546	0,9922	1,987	1,3234	0,6806
	0,3546	0,9904	1,986	1,3224	0,6806
	0,3546	0,9904	1,986	1,3214	0,6806
	0,3546	0,9894	1,986	1,3204	0,6806
	0,3546	0,9884	1,9842	1,3194	0,6806
	0,3546	0,9874	1,9842	1,3194	0,6806
	0,3546	0,9874	1,9832	1,3194	0,6796
	0,3546	0,9884	1,9812	1,3184	0,6796
	0,3546	0,9874	1,9812	1,3174	0,6796
	0,3546	0,9874	1,9822	1,3154	0,6816
	0,3546	0,9874	1,9802	1,3154	0,6796
	0,3546	0,9864	1,9792	1,3146	0,6814
	0,3546	0,9864	1,9792	1,3146	0,6806
	0,3546	0,9844	1,9784	1,3136	0,6786
	0,3546	0,9844	1,9784	1,3134	0,6796
	0,3546	0,9844	1,9784	1,3136	0,6796
	0,3546	0,9844	1,9766	1,3116	0,6806
	0,3546	0,9844	1,9766	1,3116	0,6806
	0,3546	0,9844	1,9766	1,3106	0,6796
	0,3546	0,9844	1,9766	1,3106	0,6796
	0,3546	0,9824	1,9758	1,3106	0,6796
	0,3546	0,9824	1,9758	1,3106	0,6806
	0,3546	0,9824	1,9758	1,3106	0,6796
	0,3546	0,9824	1,9738	1,3096	0,6806
	0,3546	0,9824	1,9728	1,3096	0,6806
	0,3546	0,9834	1,9728	1,3086	0,6796
	0,3546	0,9824	1,9728	1,3076	0,6796
	0,3546	0,9816	1,9738	1,3076	0,6806
	0,3546	0,9824	1,9738	1,3076	0,6796
	0,3546	0,9816	1,9728	1,3076	0,6796
	0,3546	0,9824	1,9708	1,3066	0,6806
	0,3546	0,9806	1,9698	1,3076	0,6786
	0,3546	0,9816	1,9708	1,3066	0,6806
	0,3546	0,9806	1,9688	1,3076	0,6806
	0,3546	0,9816	1,9688	1,3076	0,6806
	0,3546	0,9806	1,9688	1,3066	0,6806

0,3546	0,9796	1,9718	1,3076	0,6806	
0,3546	0,9796	1,9698	1,3056	0,6796	
0,3536	0,9806	1,9698	1,3056	0,6796	
0,3546	0,9796	1,9678	1,3066	0,6796	
0,3546	0,9806	1,9678	1,3056	0,6796	
0,3546	0,9806	1,9668	1,3056	0,6796	
0,3536	0,9796	1,9668	1,3056	0,6816	
0,3546	0,9796	1,9658	1,3056	0,6816	
0,3546	0,9796	1,9648	1,3066	0,6796	
0,3536	0,9796	1,9648	1,3056	0,6806	
0,3546	0,9796	1,9648	1,3076	0,6804	
0,3546	0,9796	1,9648	1,3056	0,6806	
0,3546	0,9796	1,9638	1,3056	0,6796	
Rata rata	0,354617	0,984903	1,976386	1,313231	0,680362

Selisih nilai tegangan:

	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Rata rata nilai tegangan sampel	0,470383	1,305831	2,408483	1,856583	0,818569
Rata rata nilai tegangan referensi	0,354617	0,984903	1,976386	1,313231	0,680362
Selisih nilai tegangan	0,115766	0,320928	0,432097	0,543352	0,138207

d. Kumpulan selisih nilai tegangan sampel dengan nilai tegangan referensi kopi Panti pada variasi suhu pemanasan

Suhu	Rata Rata	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
45°C	nilai tegangan sampel	1,85478	2,75301	2,54147	2,42377	0,69774
	nilai tegangan referensi	1,63232	2,68544	2,32627	2,10755	0,60177
	Selisih nilai tegangan	0,22246	0,006757	0,21519	0,31622	0,09597
50°C	nilai tegangan sampel	0,470383	1,305831	2,408483	1,856583	0,818569
	nilai tegangan referensi	0,354617	0,984903	1,976386	1,313231	0,680362
	Selisih nilai	0,115766	0,320928	0,432097	0,543352	0,138207

	tegangan					
55°C	nilai tegangan sampel	1,509907	2,828321	2,413872	2,512214	0,497724
	nilai tegangan referensi	1,37946	2,737877	2,205234	2,269319	0,436017
	Selisih nilai tegangan	0,130447	0,090444	0,208638	0,242895	0,061707
60 °C	nilai tegangan sampel	1,637286	2,683831	2,371062	2,269652	0,638683
	nilai tegangan referensi	1,456837	2,593355	2,084571	2,056453	0,561727
	Selisih nilai tegangan	0,180449	0,090476	0,286491	0,213199	0,076956

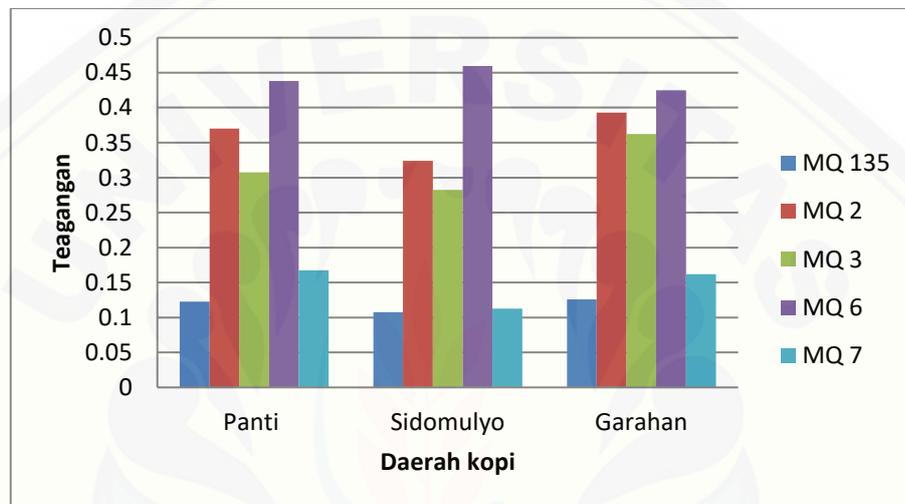
Lampiran 4.2 Nilai Tegangan Kopi Durjo, Kopi Silo, Kopi Silosanen dan Kopi Sidomulyo untuk Penentuan Suhu Optimum

Suhu	Jenis Kopi	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
45°C	Durjo	0,08824	0,33425	0,21631	0,318305	0,150675
	Silo	0,093327	0,189654	0,355707	0,352971	0,14502
	Silosanen	0,090205	0,17769	0,359915	0,239027	0,049104
	Sidomulyo	0,103802	0,103435	0,357098	0,30172	0,104317
50°C	Durjo	0,12417	0,201322	0,306446	0,469975	0,16969
	Silo	0,127044	0,204937	0,506761	0,496478	0,140815
	Silosanen	0,094795	0,216404	0,378306	0,194126	0,086387
	Sidomulyo	0,104094	0,097694	0,396606	0,371791	0,168979
55°C	Durjo	0,13234	0,199102	0,333761	0,552041	0,200802
	Silo	0,129902	0,249829	0,512171	0,517141	0,207127
	Silosanen	0,106731	0,195292	0,46647	0,315522	0,087803
	Sidomulyo	0,107842	0,323779	0,282522	0,459459	0,112861
60°C	Durjo	0,08672	0,179679	0,230859	0,450289	0,154894
	Silo	0,119912	0,324122	0,57481	0,424434	0,155829
	Silosanen	0,116917	0,300224	0,640112	0,438118	0,09436
	Sidomulyo	0,129471	0,189434	0,456278	0,513413	0,171859

Lampiran 4.3 Nilai Tegangan Kopi Garahan, Kopi Panti, Kopi Sidomulyo pada Suhu 55°C

Suhu	Jenis Kopi	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
55°C	Panti	0,122872	0,370234	0,307528	0,438172	0,167521
	Sidomulyo	0,107842	0,323779	0,282552	0,459459	0,112861
	Garahan	0,125996	0,393125	0,362518	0,424933	0,162082

b. Pola Kopi Panti, Sidomulyo dan Garahan pada Suhu 55 °C

**Lampiran 4.4** Perhitungan Pola Respon *gas sensor array* Kopi Silosanen dan Panti dengan Suhu Optimum 50°C pada Variasi Gas Pembawaa. Selisih nilai tegangan respon *gas sensor array* kopi Silosanen dengan suhu optimum 50°C pada variasi gas pembawa

Gas	Rata Rata	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Pembawa						
Udara Bebas	nilai tegangan sampel	0,4977	1,415034	1,255724	0,592014	0,416738
	nilai tegangan referensi	0,402614	1,198328	0,879745	0,397483	0,329672
	Selisih nilai tegangan	0,095086	0,216707	0,375979	0,194531	0,087066
Gas Nitrogen	nilai tegangan sampel	0,982176	2,041321	2,785052	1,820107	0,975234
	nilai tegangan referensi	0,754587	1,575877	2,009055	1,049617	0,837557

		referensi				
	Selisih nilai	0,227589	0,465444	0,775996	0,77049	0,137677
	tegangan					
Udara	nilai tegangan	1,919548	2,603314	2,119769	1,316507	0,831493
Kering	sampel					
	nilai tegangan	1,792049	2,472378	1,863796	1,005898	0,759111
	referensi					
	Selisih nilai	0,122748	0,123914	0,241169	0,297707	0,071693
	tegangan					

b. Selisih nilai tegangan respon *gas sensor array* kopi Pantii dengan suhu optimum 50°C pada variasi gas pembawa

Gas	Rata Rata	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Pembawa						
Udara	nilai tegangan	0,470383	1,305831	2,408483	1,856583	0,818569
Bebas	sampel					
	nilai tegangan	0,354617	0,984903	1,976386	1,313231	0,680362
	referensi					
	Selisih nilai	0,115766	0,320928	0,432097	0,543352	0,138207
	tegangan					
Gas	nilai tegangan	0,905586	2,892724	2,838169	2,272545	0,730652
Nitrogen	sampel					
	nilai tegangan	0,709585	2,761744	2,269248	1,753304	0,646096
	referensi					
	Selisih nilai	0,196001	0,13098	0,568921	0,519241	0,084555
	tegangan					
Udara	nilai tegangan	0,796428	2,881897	2,362766	1,134238	1,457076
Kering	sampel					
	nilai tegangan	0,666423	2,74003	1,499947	0,610434	1,299547
	referensi					
	Selisih nilai	0,130005	0,141866	0,862818	0,523804	0,157529
	tegangan					

Lampiran 4.5 Perhitungan Nilai *recovery Baseline* untuk Menentukan Kinerja Gas Sensor Array

$$\text{Recovery baseline (\%)} = \frac{V_{\text{baseline awal}}}{V_{\text{baseline akhir}}} \times 100\%$$

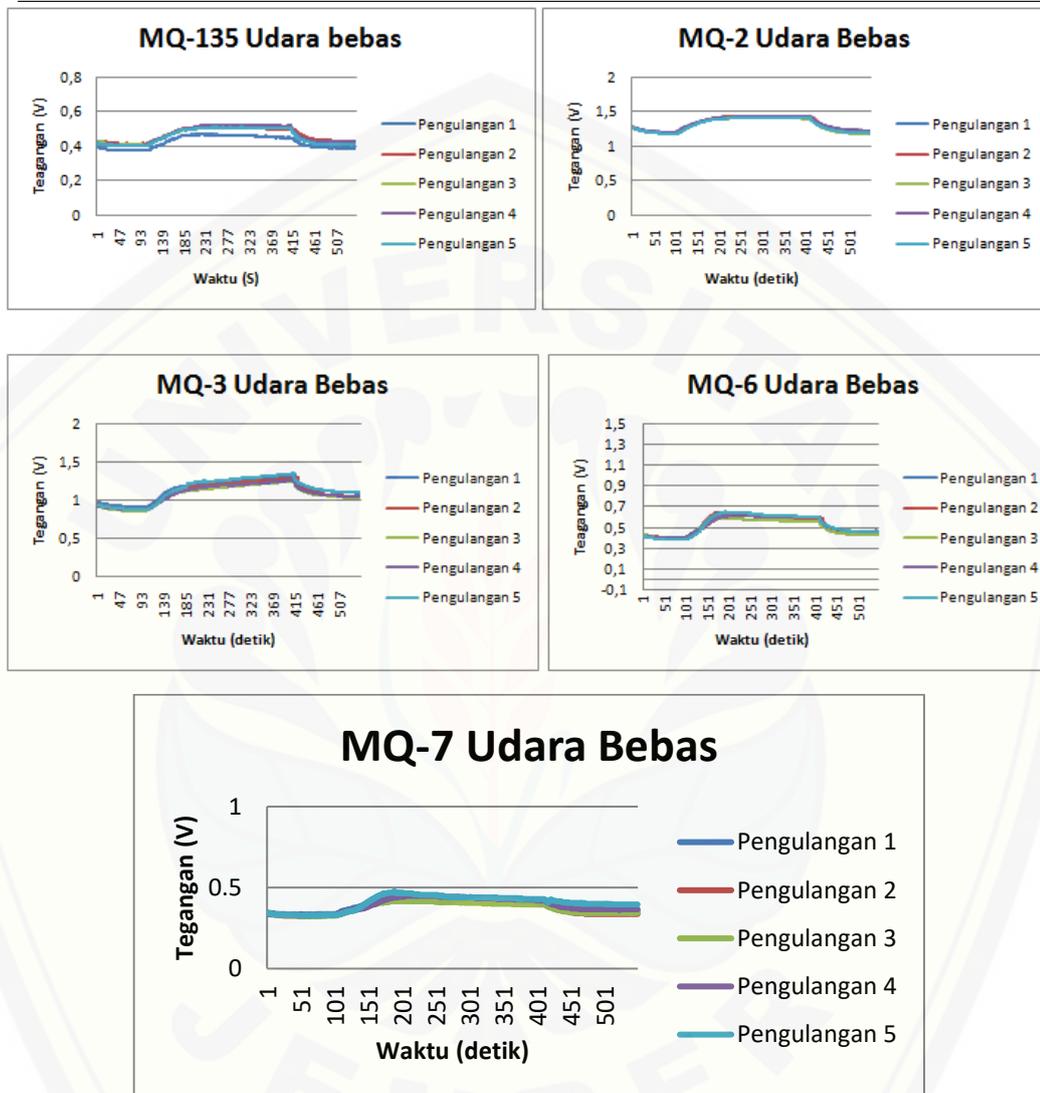
a. *Recovery Baseline* Kopi Silosanen dengan Gas Pembawa Udara Bebas

Jenis Sensor	Pengulangan	Baseline awal (V)	Baseline akhir (V)	Recovery baseline (%)
MQ-135	1	0,396	0,386	102,6
	2	0,43	0,43	100
	3	0,43	0,415	103,6
	4	0,42	0,425	98,8
	5	0,425	0,41	103,6
			Rata rata	101,7
MQ-2	1	1,265	1,187	106,6
	2	1,265	1,191	106,2
	3	1,289	1,187	108,5
	4	1,27	1,221	104
	5	1,27	1,201	105,7
			Rata rata	106,2
MQ-3	1	0,977	1,089	89,7
	2	0,942	1,04	90,6
	3	0,928	1,025	90,5
	4	0,928	1,04	89,2
	5	0,937	1,094	85,6
			Rata rata	89,1
MQ-6	1	0,435	0,459	94,7
	2	0,435	0,444	97,9
	3	0,439	0,435	100
	4	0,425	0,464	91,5
	5	0,415	0,464	89,4
			Rata rata	95
MQ-7	1	0,347	0,356	97,5
	2	0,342	0,337	101,4
	3	0,342	0,342	100

4	0,337	0,366	92,1
5	0,342	0,396	86,4

Rata rata

95,5



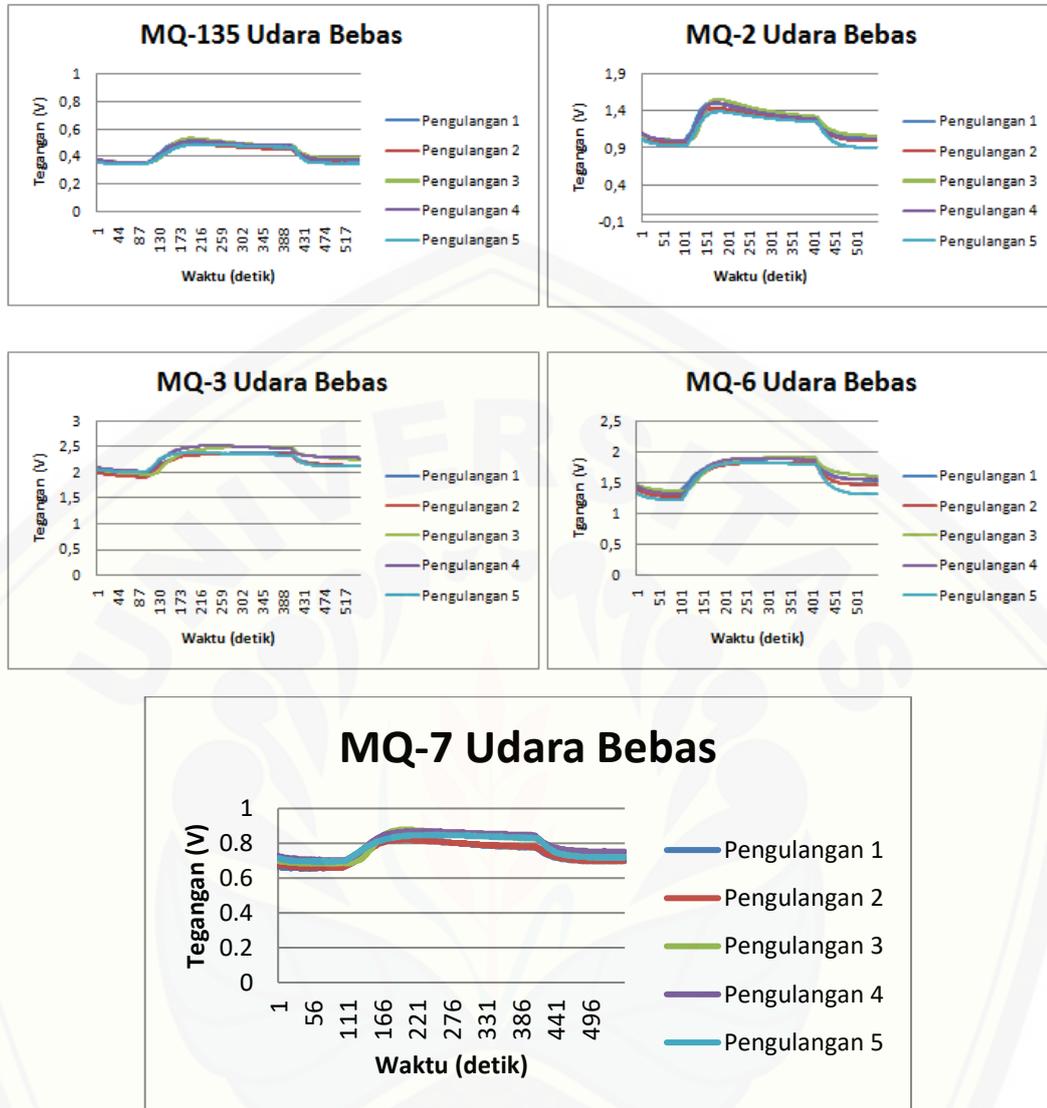
b. *Recovery Baseline* Kopi Silosanen dengan Gas Pembawa Gas Nitrogen dan udara kering

Gas Pembawa	Jenis Sensor	Baseline awal (V)	Baseline akhir (V)	Recovery Baseline (%)
Gas Nitrogen	MQ-135	0,774	0,849	91,2
	MQ-2	1,637	1,822	89,8
	MQ-3	2,066	2,494	82,8
	MQ-6	1,118	1,367	82,1

	MQ-7	0,861	0,863	99,7
Udara Kering	MQ-135	1,838	1,755	104,7
	MQ-2	2,525	2,450	103,1
	MQ-3	1,942	1,864	104,2
	MQ-6	1,094	0,978	111,8
	MQ-7	0,776	0,789	98,3

c. *Recovery Baseline* Kopi Panti dengan Gas Pembawa Udara Bebas, Gas Nitrogen dan Udara Kering

Gas Pembawa	Jenis Sensor	<i>Baseline awal</i> (V)	<i>Baseline akhir</i> (V)	<i>Recovery Baseline</i> (%)
Udara Bebas	MQ-135	0,369	0,375	98,4
	MQ-2	1,051	1,004	104,9
	MQ-3	2,035	2,174	93,6
	MQ-6	1,411	1,494	95
	MQ-7	0,695	0,723	96,2
Gas Nitrogen	MQ-135	0,730	0,783	93,3
	MQ-2	2,786	2,818	98,5
	MQ-3	2,318	2,622	88,4
	MQ-6	1,819	1,930	94,2
	MQ-7	0,655	0,691	95
Udara Kering	MQ-135	0,698	0,651	107,2
	MQ-2	2,79	2,700	103,3
	MQ-3	1,635	1,65	99
	MQ-6	0,649	0,681	95,4
	MQ-7	1,33	1,35	98,5



Lampiran 4.6 Nilai RSD Respon gas sensor array kopi Silosanen dan Panti

a. Udara Bebas

Jenis Kopi	Suhu	%RSD				
		MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Kopi Silosanen	45 Referensi	0,8	1,3	6,8	3,8	1,4
	Kopi	2,8	1,4	6,2	3,9	2,0
Kopi Panti	50 Referensi	3,6	0,4	2,3	1,8	0,9
	Kopi	4,8	0,6	3,3	2,9	3,8
Kopi Panti	55 Referensi	1,3	0,7	2,6	1,8	1,6

	Kopi	0,2	0,9	1,9	0,9	1,2
60	Referensi	2,0	0,6	7,2	1,5	0,9
	Kopi	3,8	1,3	8,7	5,9	3,6
	Kopi Panti	MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
45	Referensi	2,8	0,7	0,6	3,4	4,7
	Kopi	2,0	0,8	1,9	2,1	3,9
50	Referensi	1,7	3,0	2,4	4,3	3,1
	Kopi	2,7	2,6	2,5	2,7	4,0
55	Referensi	1,0	2,1	0,8	2,1	3,1
	Kopi	1,3	1,8	0,6	1,3	2,1
60	Referensi	2,6	1,3	1,2	3,5	3,1
	Kopi	2,7	0,6	2,5	2,6	5,0

b. Gas Nitrogen

Jenis Kopi		% RSD				
		MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Kopi	Referensi	3,1	1,0	2,2	4,0	1,1
silosanen	Kopi	3,5	3,5	2,7	7,0	1,2
Kopi	Referensi	2,6	1,5	2,3	5,0	2,5
panti	Kopi	2,3	0,2	1,4	1,7	3,7

c. Udara Kering

Jenis Kopi		% RSD				
		MQ-135	MQ-2	MQ-3	MQ-6	MQ-7
Kopi	Referensi	1,6	1,2	1,0	1,2	2,1
silosanen	Kopi	0,8	1,3	2,5	1,7	2,9
Kopi	Referensi	4,0	0,3	3,7	0,9	1,6
panti	Kopi	5,1	0,2	4,2	7,1	1,9